

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО  
«Сибирский федеральный университет»  
институт

«Электроэнергетика»

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ А.В.Коловский

подпись                      инициалы, фамилия

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

код – наименование направления

Электроснабжение главного корпуса АО «Русал Саянал»

тема

Руководитель \_\_\_\_\_  
подпись, дата

доцент, к.т.н.  
должность, ученая степень

Е.В. Платонова  
инициалы, фамилия

Выпускник \_\_\_\_\_  
подпись, дата

К.П. Черенцов  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер \_\_\_\_\_  
подпись, дата

И. А. Кычакова  
инициалы, фамилия

Абакан 2022  
Федеральное государственное автономное

образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт –  
филиал ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»  
институт

«Электроэнергетика»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ А.В.Коловский

подпись                      инициалы, фамилия

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**  
**в форме бакалаврской работы**

Студенту \_\_\_\_\_ Черенцову Константину Петровичу \_\_\_\_\_  
(фамилия, имя, отчество)

Группа ЗХЭн 17-01 (З-17)

Специальность 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
(код) (наименование)

Тема выпускной квалификационной работы Электроснабжение  
главного корпуса АО «Русал Саянал»

Утверждена приказом по институту № 212 от 26.04.2022

\_\_\_\_\_  
Руководитель ВКР Платонова Е.В. доцент кафедры  
«Электроэнергетика»

(инициалы, фамилия, должность и место работы)

Исходные данные для ВКР план главного корпуса АО «Русал Саянал»  
ведомость электрических нагрузок, план расположения электроприемников.

Перечень разделов выпускной квалификационной работы:

- 1 Особенности электроснабжения промышленных объектов
  - 1.1 Характеристика объекта проектирования
  - 1.2 Выбор напряжения и рода тока источников питания цеховой электрической сети
  - 1.3 Выбор числа и мощности трансформаторов, типа подстанции
  - 1.4 Расчет потерь мощности в трансформаторе
  - 1.5 Расчёт и выбор сетей напряжением выше 1 кВ
  - 1.6 Расчёт и выбор сетей напряжением ниже 1 кВ
  - 1.7 Расчет токов трехфазного и однофазного короткого замыкания на напряжение до 1 кВ
  - 1.8 Выбор электрооборудования и проверка его на действие токов короткого замыкания
  - 1.9 Светотехнический расчет системы освещения
  - 1.10 Мощность осветительной нагрузки корпуса

Перечень обязательных листов графической части

1. План расположения оборудования
2. Однолинейная схема электроснабжения цеха
3. Однолинейная схема электроснабжения завода

Руководитель ВКР \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ / Е.В. Платонова

(подпись, инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ / К.П. Черенцов

(подпись, инициалы и фамилия студента)

«15» \_\_\_\_\_ мая \_\_\_\_\_ 2022 г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Электроснабжение главного корпуса АО «Русал Саянал» содержит 63 страниц текстового документа, 25 использованных источников, 4 листа графического материала, приложений нет.

**ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ, СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ И СВЕТОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОСВЕЩЕНИЯ, РАСЧЕТ НАГРУЗОК, СИЛОВЫХ ЩИТЫ, ЭЛЕКТРОПРОВОДКА ЗДАНИЯ, КАБЕЛЬНЫЕ ЛИНИИ, ТОК КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ, ИСПЫТАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА ДОПУСТИМЫЕ ПОТЕРИ НАПРЯЖЕНИЯ, ОТКЛЮЧАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ, ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ К ТОКАМ ОДНОФАЗНОГО КЗ.**

Объект электроснабжения – главный корпус предприятия АО «Русал Саянал».

Предмет исследования – методы и технологии проектирования систем электроснабжения производственных объектов.

Цель ВКР – проектирование системы электроснабжения силовых, осветительных и других электроприемников в соответствии с нормативной документацией.

Работа содержит особенности электроснабжения промышленного предприятия по выпуску алюминиевой продукции. Рассматривается общая характеристика здания и потребителей электроэнергии, с их параметрами, в том числе электрическими, такими как коэффициент мощности, номинальное напряжение, установленная мощность электроприемника, количество фаз. Содержит предлагаемый проект системы электроснабжения силовых, осветительных и других электроприемников главного корпуса АО ««Русал Саянал»», выбор коммутационных аппаратов, кабельно-проводниковой продукции, силовых щитов.

С целью проверки отклонения напряжения на соответствие современным нормам производится проверка спроектированной сети электроснабжения главного корпуса АО «Русал Саянал» по допустимым потерям напряжения.

Немаловажным является и тот момент, как расчет токов короткого замыкания, а также проверка оборудования на устойчивость и чувствительность к токам КЗ. Все необходимые проверки подтвердили правильность сделанных расчетов, связанных с проектированием системы электроснабжения главного корпуса АО «Русал Саянал».

Значимость настоящей ВКР определяется возможностью применения полученных решений на практике, внедрении проекта электроснабжения силовых, осветительных и других электроприемников.



## THE ABSTRACT

The final qualifying work on the topic “Power supply of the main building of JSC Rusal Sayanal” contains 63 pages of a text document, 25 sources used, 4 sheets of graphic material, no applications. Features of the power supply of industrial facilities, the power supply system, electrical and light -technical calculation of lighting, the calculation of loads, power panels, electrical wiring, cable lines, short circuit current, transformer testing acceptable voltage loss, disconnecting ability, sensitivity of automatic circuit breakers to single -phase short -circuit currents.

The power supply facility is the main building of the Rusal Sayanal JSC enterprise.

The subject of the study is the methods and technologies for designing power supply systems for production facilities.

The purpose of the WRC is the design of the power supply system for power, lighting and other electrical receivers in accordance with the regulatory documentation.

The work contains the features of the power supply of an industrial enterprise for the production of aluminum products. The general characteristics of the building and consumers of electricity are considered, with their parameters, including electrical ones, such as power factor, rated voltage, installed power of the electrical receiver, number of phases.

It contains the proposed design of the power supply system for power, lighting and other electrical receivers of the main building of Rusal Sayanal JSC, the choice of switching devices, cable and wire products, power shields.

In order to check the voltage deviation for compliance with modern standards, the designed power supply network of the main building of Rusal Sayanal JSC is checked for permissible voltage losses.

Another important point is the calculation of short-circuit currents, as well as checking equipment for stability and sensitivity to short-circuit currents.

All necessary checks confirmed the correctness of the calculations made related to the design of the power supply system of the main building of Rusal Sayanal JSC. The significance of this WRC is determined by the possibility of applying the solutions obtained in practice, implementing a project for the power supply of power, lighting and other electrical receivers.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	8
1 Особенности электроснабжения промышленных объектов.....	10
1.1 Характеристика объекта проектирования .....	10
1.2 Выбор напряжения и рода тока источников питания цеховой электрической сети .....	25
1.3 Выбор числа и мощности трансформаторов, типа подстанции.....	26
1.4 Расчет потерь мощности в трансформаторе.....	26
1.5 Расчёт и выбор сетей напряжением выше 1 кВ .....	28
1.6 Расчёт и выбор сетей напряжением ниже 1 кВ.....	30
1.7 Расчет токов трехфазного и однофазного короткого замыкания на напряжение до 1 кВ.....	37
1.8 Выбор электрооборудования и проверка его на действие токов короткого замыкания.....	47
1.9 Светотехнический расчет системы освещения.....	51
1.10 Мощность осветительной нагрузки корпуса.....	59
Заключение .....	60
Список используемых источников .....	61

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в России наблюдается тенденция развития инновационных технологий в области электроэнергетики. Основной задачей энергосистемы является обеспечения потребителя не только качественной электроэнергией, но и необходимой надежностью электроснабжения.

Проектирование электроснабжения больших предприятий, это большой и трудоёмкий процесс. Который включает в себе множество особенностей связанных с тщательным продумыванием всех аспектов проектирования. Электроснабжение должно включать в себя правильные расчеты всех электропотребителей, а также их систем питания. Для столь большого предприятия, имевшего особенность в виде постоянной бесперебойной подаче энергии, нужно иметь самодостаточную электростанцию. Надежность источников энергии такой электростанции должны быть обеспечены наилучшими системами защиты и иметь лучшие показатели в бесперебойной подаче энергии.

Поэтому, актуальность выбранной темы является очевидной, также как очевидна важность электроэнергетики в хозяйственной жизни нашей страны.

Объект электроснабжения – промплощадка АО «Русал Саянал»

г. Саяногорск, Промплощадка, 1 к1.

Предмет исследования – методы и технологии проектирования систем электроснабжения предприятия по выпуску алюминия.

Цель ВКР – разработка проекта системы электроснабжения главного корпуса АО «Русал Саянал»

Задачами бакалаврской работы являются:

- рассмотреть особенности электроснабжения производственного объекта;
- дать характеристику объекта проектирования;
- произвести светотехнический и электротехнический расчет системы освещения;

– разбить электроприемники на группы и произвести расчет нагрузок силовых пунктов;

– спроектировать силовые сети предприятия, осуществив выбор коммутационных аппаратов, кабельно-проводниковой продукции, силовых щитов;

– рассчитать токи короткого замыкания, проверить оборудование, а также произвести проверку по допустимым потерям напряжения.

## **1 Особенности электроснабжения промышленных объектов**

АО «Русал Саянал» - завод по выплавке алюминия. По объёму производства предприятие занимает 3-е место в России после Братского алюминиевого завода и Красноярского алюминиевого завода. Потребителями продукции АО «РУСАЛ САЯНАЛ» являются предприятия автомобильной, строительной, электротехнической промышленности и др.

Организация по выпуску алюминия нуждается в непрерывной подаче электроэнергии. Электроснабжение таких предприятий разрабатывается с наибольшей точностью, чтобы избежать непредвиденных ситуаций. Основная их задача - обеспечение бесперебойного и качественного снабжения организации электроэнергией с наименьшими затратами трудовых и материальных ресурсов. Персонал предприятий электрических сетей специализируется: по эксплуатации и ремонту средств релейной защиты, автоматики, телемеханики и электрических измерений; обслуживанию и ремонту диспетчерского технологического оборудования; проведению высоковольтных испытаний оборудования; эксплуатации и ремонту кабельных и воздушных линий. Ремонтные, реконструктивные и наладочные работы, а также работы по ликвидации возникающих повреждений выполняются, как правило, силами основных специализированных бригад.

### **1.1 Характеристика объекта проектирования**

Объект проектирования – главный корпус АО «Русал Саянал» г. Саяногорск, Промплощадка, 1 к1, включает в себя свыше множество помещений различного назначения (таблица 1). Потребители на предприятии АО «Русал Саянал» относятся ко II категории по надежности электроснабжения согласно ПУЭ.

Общая площадь завода составляет 16704 м<sup>2</sup>. Предприятие находится в

составе другого предприятия под названием АО «РУСАЛ САЯНОГОРСК» и их общая площадь оставляет около 10 км<sup>2</sup>.

Перечень цехов и их площадь предоставлена в таблице 1. Все цеха расположены в главном корпусе завода. План главного корпуса предоставлен на рисунке 1.

Электроприемники завода разнообразны и относятся к различным их типам. Они рассчитаны на переменный ток, напряжение питания 380/220 В и частоту питающей сети 50 Гц. В цехе имеются трехфазные и однофазные электроприемники.

По режиму работы электроприемники разделяются на две группы: работающие в длительном режиме (ПВ = 100%) и повторно-кратковременном (ПВ<100%). Все электроприемники по стабильности расположения имеют стационарное расположение и по площади участка распределены практически равномерно.

Таблица 1 – Помещения предприятия в соответствии с планом

№	Наименование помещения	S, м <sup>2</sup>
1	Плавильное отделение	2592
2	Прокатное отделение	3600
3	Участок конверинга	1620
4	Отделение резки	1080
5	Участок упаковки готовой продукции	720
6	Склад готовой продукции	1440
7	Административный комплекс	768
8	Ремонтные помещения	1628
9	Помещения вспомогательных служб	1643
10	Техническое помещени	1613



Суммарная установленная мощность электроприемников завода составляет 54861,5 кВт. Основными потребителями электроэнергии данного объекта являются асинхронные двигатели металлорежущих станков (токарных, сверлильных, фрезерных и др.), вентиляторов; печи сопротивления, сварочное оборудование, сети освещения. Общее количество электроприемников – более 1300 шт. Диапазон мощностей потребителей от 0,55 до 1800 кВт. Питание к электроприемникам осуществляется через шкафы А В и С. Все электроприемники сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Электроприемники шита А В и С

Наименование участка	Номер трансформатора по плану	Установленная мощность Трансформатора
1	2	3
Шит 10 кв -А-		
Стан С1 Черновой	10	2000/700
	11	2000/700
	12	2000/400
Стан С2 Универсальный	5	2000/400
	6	2000/700
	7	2000/700
Стан С3.1 чистой	3	2000/400
	4	2000/700
Стан С3.2 чистой	1	2000/400
	2	2000/700
Шлифовка волков	8	2000/400
Производства азота		
Серверная		
Станция зарядки батарей		
Установка керосина		
Пожаротушение СО2		
Станция водоочистки	9	2000/400
Стан В1 Заготовительный	13	2000/400
	14	1600/600X2
	15	3200/600X2
	16	3000/700
	17	3000/700

Продолжение таблицы 2

1	2	3
Шит 10 кв -В-		
Печи отжига	2	2000/400
	4	2000/400
Печи отжига фольги	1	2000/400
	3	2000/400
	5	2000/400
Шит 10 кв -С-		
Резка №2	1	2000/400
Склад лаков и красок, растворителя		
Лаборатории конвертинга	2	2000/400
Сжигание паров растворителя		
Весы		
Машина конвертинга Е1 и Е2		
Система отсоса обрезков		
Машина сдвоенная для сухого каширования	3	2000/400
Станок резки пленки		
Машина кареток		
Станок чистой резки	4	2000/400
Станок резки алюминия		
Станок обрезки кромок		
Машины конвертинга Е3 и Е5		
Охлаждение машины В2		
РМЦ	5	2000/400
Склад валков		
Склад упаковки и отгрузки		

Схема электроснабжения главного корпуса АО «Русал Саянал» предоставлена на рисунке 2. На ней указаны наименования цехов и электроприемников, а также номера трансформаторов их питающих.

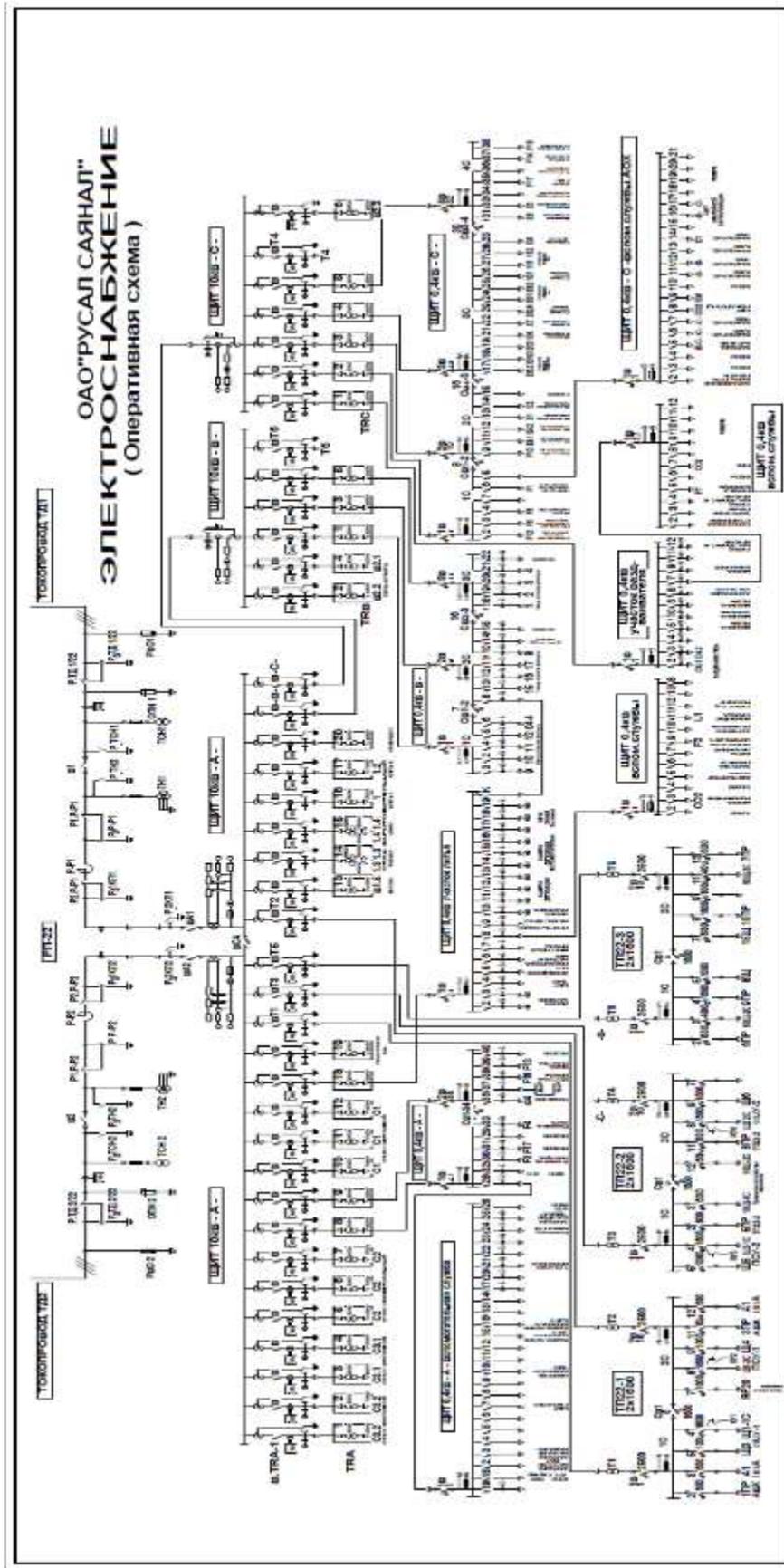


Рисунок 2 – План электроснабжения главного корпуса АО «Русал Саянал»

Для того что более наглядно показать метод расчета электроснабжения каждого цеха входящего в состав главного корпуса АО «Русал Саянал», было принято решение подробно разобрать проектирование одного цеха. Все остальные цеха будут рассчитаны аналогично. Все показатели главного корпуса будут сведены в таблицы. Из предоставленных цехов, был выбран ремонтно-механический цех, в состав которого входят все типовые электроприемники.

Электроприёмники ремонтно-механического цеха относятся к третьей категории по надёжности электроснабжения согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ). Перечень электроприемников механического цеха с указанием их номинальной мощности и технических показателей представлен в таблице 3.

Все электроприемники по стабильности расположения имеют стационарное расположение и по площади участка распределены практически равномерно.

Установленная мощность ( $P_{уст}$ ) указана для одного электроприемника. Расположение основного оборудования показано на рисунке 3.

Распределение электроэнергии внутри цеха осуществляется через силовые шкафы. Питание к электроприёмникам напряжением  $U=0,4$  кВ выполнено кабелями. Проводники проложены по полкам, по лоткам и частично в полу, в стальных трубах. Здание цеха выполнено из железобетонных плит, габариты цеха (48 x 28) м. Высота помещения  $h=9$  м.

Все нормально не находящиеся под напряжением части электрооборудования, но могущие оказаться под ним, заземлены (занулены) на внутренний контур заземления, размерами выполненный из стальной полосы (40x4) мм, проложенным на высоте  $h=0,5$  м от уровня чистого пола.

Среда в помещении нормальная. По степени опасности поражения электрическим током цех относится к помещениям с повышенной опасностью.

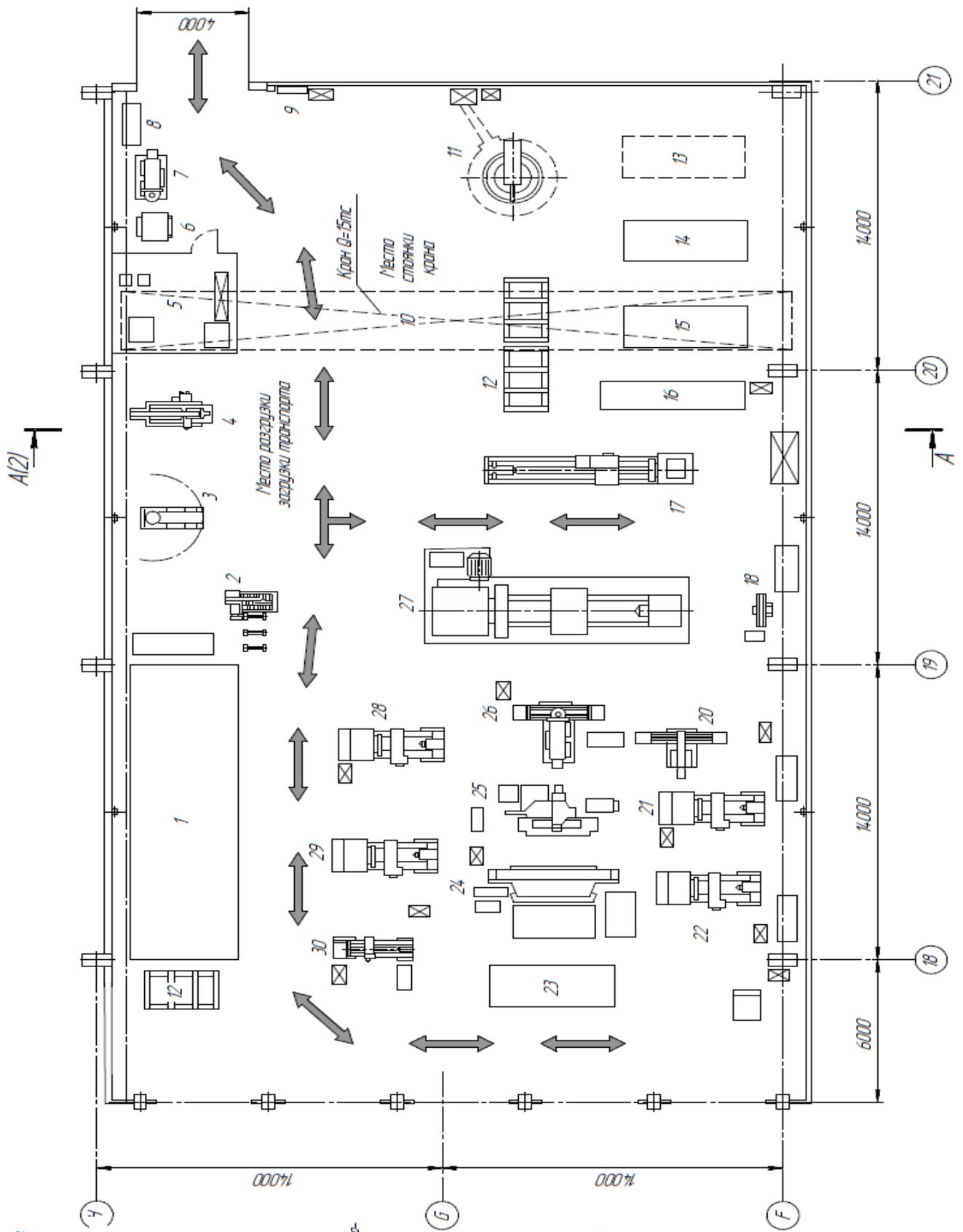


Рисунок 3 – Расположение основного оборудования цеха

Таблица 3 - Исходные данные для расчета электрических нагрузок

Наименование электроприемников	Номер по плану	$P_{нi}$ , кВт	$n_i$ , шт.	$k_u$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$
1	3	4	5	6	7	8
Пила маятниковая	2	5,50	1	0,10	0,50	1,73
Кран подвесной ПВ = 40%	10	$\frac{5,50}{3,48}$				
Радиально-сверлильный станок	3	4,50	1	0,14	0,50	1,73
Поперечно-сверлильный станок	4	5,50				
Электропечь	6	70,00	1	0,75	0,95	0,33
Пресс 300 тонн	7	7,50	1	0,25	0,65	1,17
Токарно-винторезный станок	17,21,22	3,60	5	0,14	0,50	1,73
Токарно-винторезный станок постоянной установки	12-13	5,50	2			
Сварочный пост ПВ 40%	5	$\frac{S=56}{22,40}$	1	0,80	0,80	0,75
Универсально-фрезерный станок	20	1,10	1	0,12	0,50	1,73
Универсально-заточной станок	18	0,55	1			
Универсально-круглошлифовальный станок	24	0,55	1			
Плоскошлифовальный станок	25	3,00	1			
Вертикально-фрезерный станок	26	1,00	1			
Электропечь шахтная	11	40,00	1	0,80	0,95	0,33

Рассчитываем суммарную номинальную активную мощность электроприемников шкафа СП1  $\sum P_{нСП1}$ , кВт, по формуле

$$\sum P_{нi} = \sum (P_{нi} \cdot n_i),$$

где  $P_{нi}$  – активная номинальная мощность одного электроприемника, кВт;

$n_i$  – число электроприемников, шт.

$$\begin{aligned} \sum P_{нСП1} &= (5,5 \cdot 1 + 3,48 \cdot 1) + (4,5 \cdot 1 + 5,5 \cdot 1) + 70 \cdot 1 + 7,5 \cdot 1 = \\ &= 8,98 + 10 + 70 + 7,5 = 96,48 \text{ кВт.} \end{aligned}$$

Определяем суммарную активную сменную мощность электроприемников  $\Sigma P_{CMi}$ , кВт, по формуле

$$\Sigma P_{CMi} = \Sigma (P_{Hi} \cdot K_{иi}),$$

где  $K_{иi}$  – коэффициент использования одного электроприемника, принимаем по

$$\begin{aligned} \Sigma P_{CM СП1} &= (1,1 \cdot 0,1 + 10 \cdot 0,14) + (70 \cdot 0,75 + 7,5 \cdot 0,25) = \\ &= 0,9 + 1,4 + 52,5 + 1,8 = 56,6 \text{ кВт.} \end{aligned}$$

Определяем групповой коэффициент использования  $K_{и}$

$$K_{и} = \frac{\Sigma P_{CM i}}{\Sigma P_{Hi}}.$$

$$K_{и} = \frac{56,6}{98,5} = 0,59 > 0,2.$$

Находим показатель силовой сборки  $m$

$$m = \frac{P_{н.маx}}{P_{н.мин}},$$

где  $P_{н.маx}$  ( $P_{н.мин}$ ) – активная номинальная максимальная (минимальная)

мощность электроприемника в подгруппе, кВт.

$$m = \frac{70}{4,5} = 15,5.$$

Т.к.  $K_{и} > 0,2$ ;  $m \geq 3$ ,  $n \geq 4$  шт.,  $P \neq \text{const}$ , то согласно методике справочника

эффективное число электроприемников  $n_{э}$ , шт., определяется по формуле

$$n_{э} = \frac{2 \cdot \Sigma P_{н СП1}}{P_{н.маx}},$$

$$n_{э} = \frac{2 \cdot 96,48}{70} = 3 \text{ шт.}$$

По справочнику [3, таблица 2.13] определяем коэффициент максимума  $K_m = 1,46$ .

Определяем максимальную мощность электроприемников  $P_{mi}$ , кВт

$$P_{mi} = K_m \cdot \Sigma P_{CMi}.$$

$$P_{m\text{СП1}} = 1,46 \cdot 56,6 = 82,74 \text{ кВт.}$$

Определяем суммарную сменную реактивную мощность  $\Sigma Q_{\text{СМi}}$ , кВАр

$$\Sigma Q_{\text{СМi}} = \sum_{i=1}^2 (\Sigma P_{\text{СМi}} \cdot \text{tg}\varphi_i),$$

где  $\text{tg}\varphi_i$  – коэффициент реактивной мощности, соответствующий коэффициенту активной мощности.

$$\Sigma Q_{\text{СМ СП1}} = 0,55 \cdot 0,59 + 0,35 \cdot 0,65 + 0,63 \cdot 0,65 + 0,77 \cdot 0,59 + 52,50 \cdot 0,54 + 1,88 \cdot 0,59 = 30,87 \text{ кВАр.}$$

Рассчитываем максимальную реактивную мощность узла питания  $\Sigma Q_{mi}$ , кВАр

$$Q_{mi} = K \cdot \Sigma Q_{\text{СМi}},$$

Если  $n_{\text{Э}} > n = 10$  шт., то  $K = 1$ .

$$Q_{m\text{СП1}} = 1,1 \cdot 30,87 = 33,96 \text{ кВАр.}$$

Рассчитываем полную мощность узла питания  $S_{mi}$ , кВА

$$S_m = \sqrt{P_{mi}^2 + Q_{mi}^2},$$

$$S_{m\text{СП1}} = \sqrt{82,63^2 + 33,96^2} = 89,44 \text{ кВА.}$$

Рассчитываем максимальный ток узла питания  $I_{mi}$ , А

$$I_{mi} = \frac{S_{mi}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}},$$

$$I_{m\text{СП1}} = \frac{89,44}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 135,89 \text{ А.}$$

Рассчитаем коэффициенты активной ( $\cos\varphi$ ) и реактивной ( $\text{tg}\varphi$ ) мощности по формулам

$$\cos\varphi = \frac{P_{m\text{СП1}}}{S_{m\text{СП1}}},$$

$$\cos\varphi_{\text{СП1}} = \frac{82,63}{86,53} = 0,95,$$

$$\text{tg}\varphi = \frac{Q_{m\text{СП1}}}{P_{m\text{СП1}}},$$

$$\text{tg}\varphi_{\text{СП1}} = \frac{25,71}{82,63} = 0,32.$$

Аналогично данному узлу питания рассчитываем нагрузки других шкафов, все параметры сводим в таблице 4. Общие нагрузки главного

корпуса сводим в таблицу 5. Номера трансформаторов указаны на рисунке 2. Итак, в результате расчета электрических нагрузок ремонтно-механического цеха была получена максимальная полная мощность цеха  $S_{mц} = 254,89$  кВА. По максимальному току цеха  $I_m = 387,26$  А будем принимать к установке питающие сети и защитную аппаратуру с низкой стороны трансформатора. В результате расчета электрических нагрузок главного корпуса была получена максимальная полная мощность  $S_{mц} = 61750,35$  кВА, по которой будем выбирать число и мощность силовых трансформаторов.

Таблица 4 – Расчет электрических нагрузок ремонтно-механического цеха

Наименование	$P_n$ ,	$n$ ,	$k_n$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$\sum P_n$ ,	$\sum P_{cm}$ ,	$\sum Q_{cm}$ ,	$m$	$n_{э}$ ,	$K_M$	$P_m$ ,	$Q_m$ ,	$S_m$ ,	$I_m$ ,
	кВт	шт	( $K_n$ )			кВт	кВАр	шт		кВт		кВАр	кВА	А	
Пила маятниковая	5,50	1,00	0,10	0,50	1,73	5,50	0,55	0,95		-	-	-	-	-	-
Кран подвесной ПВ 40%	<u>3,48</u>	1,00	0,10	0,50	1,73	3,48	0,35	0,60	-	-	-	-	-	-	-
Радиально-сверлильный станок	4,50	1,00	0,14	0,50	1,73	4,50	0,63	1,09	-	-	-	-	-	-	-
Поперечно-сверлильный станок	5,50	1,00	0,14	0,50	1,73	5,50	0,77	1,33	-	-	-	-	-	-	-
Электропечь	70,00	1,00	0,75	0,95	0,33	70,00	52,50	17,33	-	-	-	-	-	-	-
Пресс 300 тонн	7,50	1,00	0,25	0,65	1,17	7,50	1,88	2,19	-	-	-	-	-	-	-
Итого по СП1	-	6,00	1,48	0,95	0,32	96,48	56,67	23,49	20,11	3	1,46	82,74	25,84	86,68	135,03
станок Токарно-винторезный	3,6	5	0,14	0,50	1,73	18,00	2,52	4,36	-	-	-	-	-	-	-
станок постоянной установки Токарно-винторезный	5,5	2	0,14	0,50	1,73	11,00	1,54	2,66	-	-	-	-	-	-	-
пост Сварочный	<u>22,4</u>	1	0,8	0,8	0,75	22,40	17,92	13,44	-	-	-	-	-	-	-
пв 40	<u>22,4</u>								-	-	-	-	-	-	-
станок Универсально-фрезерный	1,1	1	0,12	0,50	1,73	1,10	0,13	0,23	-	-	-	-	-	-	-
станок Универсально-заточной	0,55	1	0,12	0,50	1,73	0,55	0,07	0,11	-	-	-	-	-	-	-
станок Универсально-круглошлифовальный	0,55	1	0,12	0,50	1,73	0,55	0,07	0,11	-	-	-	-	-	-	-
станок Плоскошлифовальный	3	1	0,12	0,50	1,73	3,00	0,36	0,62	-	-	-	-	-	-	-
станок Вертикально-фрезерный	1	1	0,12	0,50	1,73	1,00	0,12	0,21	-	-	-	-	-	-	-
шахтная Электропечь	40	1	0,8	0,95	0,33	40,00	32,00	10,56	-	-	-	-	-	-	-
по СП2 Итого		14,00	2,48	0,92	0,42	97,60	54,72	32,31	72,73	5	1,41	77,16	32,31	83,65	128,69
СП3	-	-	-	0,80	0,75	-	-	-	-	-	-	20,40	8,80	22,22	34,18
СП4	-	-	-	1,00	0,00	-	-	-	-	-	-	39,40	31,52	50,50	77,70
ЩО				0,57	1,44							22,84	28,41	37,73	58,04
Итого по цеху	-	-	-	0,82	0,71	-	-	-	-	-	-	228,30	100,19	249,32	383,57

Таблица 5 – Расчет электрических нагрузок главного корпуса

Наименование	cosφ	tgφ	P <sub>m</sub> ,	Q <sub>m</sub> ,	S <sub>m</sub> ,	I <sub>m</sub> ,
			кВт	кВАр	кВА	А
1	2	3	4	5	6	7
Трансформатор №5						
РМЦ	0,82	0,71	228,30	100,19	249,32	383,57
Склад валков	0,94	0,36	184,00	66,24	195,56	300,86
Склад упаковки и отгрузки	0,86	0,59	317,00	187,03	368,06	566,25
Машины конвертинга E3 и E5	0,87	0,57	766,00	436,62	881,70	1356,46
Охлаждение машины B2	0,82	0,70	155,00	108,50	189,20	291,08
Итого по трансформатору 5			1650,30	898,58	1879,08	2890,90
Трансформатор №4						
Станок резки пленки	0,82	0,70	163,00	113,77	198,78	305,82
Машина кареток	0,81	0,72	486,00	351,86	600,00	923,08
Станок чистой резки	0,79	0,78	164,00	127,28	207,59	319,38
Станок резки алюминия	0,91	0,46	234,00	106,61	257,14	395,60
Станок обрезки кромок	0,83	0,67	763,00	512,74	919,28	1414,27
Итого по трансформатору 4			1810,00	1212,26	2178,46	3351,47
Трансформатор №3						
Машина конвертинга E1 и E2	0,74	0,91	783,00	711,69	1058,11	1627,86
Система отсоса обрезков	0,86	0,59	348,00	206,49	404,65	622,54
Машина сдвоенная для сухого каширования	0,88	0,54	568,00	306,57	645,45	993,01
Итого по трансформатору 3			1699,00	1224,76	2094,43	3222,20
Трансформатор №2						
Лаборатории конвертинга	0,79	0,78	395,00	306,55	500,00	769,23
Сжигание паров растворителя	0,68	1,08	1168,00	1259,40	1717,65	2642,53
Весы	0,78	0,80	140,00	112,32	179,49	276,13
Итого по трансформатору 2			1703,00	1678,27	2390,98	3678,44
Трансформатор №1						
Резка №2	0,83	0,67	1620,00	1088,65	1951,81	3002,78
Склад лаков и красок, растворителя	0,87	0,57	198,00	112,21	227,59	350,13
Итого по трансформатору 1			1818,00	1200,86	2178,80	3352,01
Итого по Шиту С			8680,30	898,58	8726,69	13425,68
Прокатное отделение	0,91	0,46	15035,00	6916,10	16549,43	25460,66
Участок конвертинга	0,86	0,59	12046,00	7107,14	13986,33	21517,44
Отделение резки	0,93	0,40	8986,00	3594,40	9678,22	14889,57
Участок упаковки готовой продукции	0,94	0,36	1660,50	597,78	1764,82	2715,11
Итого по Шиту А			37727,50	18215,42	41894,70	64453,38
Склад готовой продукции	0,82	0,70	1082,00	757,40	1320,75	2031,92
Административный комплекс	0,84	0,65	1030,00	669,50	1228,47	1889,95
Ремонтные помещения	0,86	0,59	1066,00	628,94	1237,71	1904,17
Помещения вспомогательных служб	0,86	0,59	1051,20	620,21	1220,52	1877,73

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7
Техническое помещения	0,87	0,57	1156,00	658,92	1330,61	2047,09
Плавильное отделение	0,98	0,20	2889,00	577,80	2946,21	4532,64
Итого по Шиту В			8274,20	3858,43	7865,16	12100,24
Освещение по заводу	0,56	1,48	179,50	265,66	320,62	493,26
Итого по заводу	0,86	0,60	54861,50	28342,92	61750,35	95000,54

## 1.2 Выбор напряжения и рода тока источников питания цеховой электрической сети

Для выбора рационального напряжения внешнего электроснабжения предприятия предварительно следует рассчитать нестандартное напряжение по формулам, полученным на основе статистических данных [2], таким как формула Стилла, формула Илларионова и др. Выбор желаемого напряжения ЛЭП произведем по формуле Стилла [2]:

$$U = 4,34\sqrt{l + 16P}, \text{ кВ} \quad (2.1)$$

где  $U$  – нестандартное напряжение системы (кВ);  $P$  – активная суммарная мощность электроприемников цеха, передаваемая по одной линии (МВт);  $l$  – длина линии до источника питания (км).

$$U = 4,34 \sqrt{6,3 + 16 \cdot \left(\frac{0,702}{2}\right)} = 16,18 \text{ кВ.}$$

Принимаем значение номинального напряжения, равное 10 кВ. В трансформаторной подстанции установим трансформаторы 10/0,4 (кВ). Род тока источников питания цеховой электрической сети – переменный, частота сети – 50 Гц. Выбираем напряжение для питания цеховой электрической сети – 380 В, так как все оборудование рассчитано на данное напряжение.

### 1.3 Выбор числа и мощности трансформаторов, типа подстанции

При выборе трансформаторов необходимо учитывать полную мощность потребителей и категорию потребителей по надежности электроснабжения.

В результате расчета нагрузок полная максимальная мощность  $S_m=1879,08$  кВА. Т.к. электроприемники объекта относятся к третьей категории по надежности электроснабжения, то согласно ПУЭ [4, п.п. 1.2.17, 1.2.20] принимаем к установке один трехфазный трансформатор типа ТМЗ 2000/10 с высоким напряжением  $U_{ВН}=20$ кВ и с низкой стороны  $U_{НН}=0,4$  кВ. Проверяем выбранный трансформатор по коэффициенту загрузки в нормальном режиме работы  $K_{з.н}$ .

$$K_{з.н} = \frac{S_m}{S_H \cdot n_{тр}},$$

где  $S_H$  – полная номинальная мощность трансформатора, кВА;

$n_{тр}$  – количество трансформаторов, шт.

$$K_{з.н} = \frac{1879,08}{2000 \cdot 1} = 0,93 < K_{з.доп.} = 0,9 - 0,95.$$

Т.к. коэффициент загрузки не превышает значений, требуемых Правилами технической эксплуатации, то трансформатор принимаем к окончательной установке, его технические параметры заносим в таблицу 6.

Таблица 6 – Выбор силового трансформатора

Тип трансформатора	$S_{НОМ}$ , кВА	$U_{ВН}$ , кВ	$U_{НН}$ , кВ	$P_{к.з.}$ , кВт	$U_{к.з.}$ , %	$I_{х.х.}$ , %	$P_{х.х.}$ , кВт	$K_{з.н}$	$K_{з.ав.}$
ТМЗ 2000/10	2000	10	0,4	5,4	5,5	3,0	1,3	0,62	-

### 1.4 Расчет потерь мощности в трансформаторе

Потери активной и реактивной мощности в трансформаторах и автотрансформаторах разделяются на потери в стали и потери в меди (нагрузочные потери). Потери в стали – это потери в проводимостях трансформаторов. Они зависят от приложенного напряжения. Нагрузочные

потери – это потери в сопротивлениях трансформаторов. Они зависят от тока нагрузки. Потери активной мощности в стали трансформаторов – это потери на перемагничивание и вихревые токи, которые определяются потерями холостого хода трансформатора  $\Delta P_{xx}$ , которые приводятся в его паспортных данных. Потери реактивной мощности в стали определяются по току холостого хода трансформатора, значение которого в процентах приводится в его паспортных данных.

Расчет потерь мощности в трансформаторе необходим для более точного выбора питающих сетей  $U_{ВН} = 20$  кВ, а также при расчете стоимости электроэнергии.

Рассчитываем потери активной мощности  $\Delta P$ , кВт, по формуле

$$\Delta P = P_{кз} \cdot k_{з.н.2} + P_{х.х},$$

где  $P_{кз}$  – потери активной мощности при работе трансформатора в режиме короткого замыкания, кВт;

$P_{х.х}$  – потери активной мощности в трансформаторе в режиме холостого хода, кВт.

$$\Delta P = 5,4 \cdot 0,62^2 + 1,3 = 3,4 \text{ кВт.}$$

Определяем потери реактивной мощности  $\Delta Q$ , кВАр, по формуле

$$\Delta Q = 0,01 \cdot (U_{кз} \cdot k_{з.н}^2 + I_{х.х}) \cdot S_{н},$$

где  $U_{кз}$  – напряжение при коротком замыкании в трансформаторе в процентах от номинального;

$I_{х.х}$  – ток холостого хода трансформатора в процентах от номинального.

$$\Delta Q = 0,01 \cdot (5,5 \cdot 0,62^2 + 3,0) \cdot 2000 = 20,4 \text{ кВАр.}$$

Рассчитываем потери полной мощности  $\Delta S$ , кВА

$$\Delta S = \sqrt{4,5^2 + 20,4^2} = 21 \text{ кВА.}$$

Сводим все расчетные параметры в таблице 7.

Таблица 7 – Расчёт потерь мощности в трансформаторе

Тип трансформатора	$S_{НОМ}$ , кВА	$U_{ВН}$ , кВ	$U_{НН}$ , кВ	$\Delta P$ , кВт	$\Delta Q$ , кВАр	$\Delta S$ , кВА
ТМЗ 2000/10	2000	10	0,4	3,4	20,4	21

Таким образом, из расчетов видно, что потери мощности в трансформаторе зависят от коэффициента загрузки в нормальном режиме работы, от полной номинальной мощности трансформатора, от конструктивного исполнения трансформатора.

### 1.5 Расчёт и выбор сетей напряжением выше 1 кВ

В соответствии с ПУЭ [4, пункт 1.3.28] сети промышленных предприятий и сооружений напряжением  $U > 1 \text{ кВ}$  подлежат проверке по экономической плотности тока. В данной проверке учитывается число часов использования максимума нагрузки в год. Предварительно выбранный кабель проверяется по потере напряжения и на термическую стойкость к токам короткого замыкания.

Рассчитываем максимальную активную мощность, проходящую по кабелю  $U = 10 \text{ кВ}$  с учетом потерь мощности в трансформаторе  $P_{m(10)}$ , кВт

$$P_{m(10)} = P_{mЦ} + n_{ТР} \cdot \Delta P,$$

$$P_{m(10)} = 228,30 + 1 \cdot 3,4 = 231,70 \text{ кВт.}$$

Рассчитываем максимальную реактивную мощность, проходящую по кабелю  $U = 10 \text{ кВ}$  с учетом потерь мощности в трансформаторе  $Q_{m(10)}$ , кВАр

$$Q_{m(10)} = Q_{mЦ} + n_{ТР} \cdot \Delta Q,$$

$$Q_{m(10)} = 113,33 + 1 \cdot 20,4 = 120,59 \text{ кВАр.}$$

Определяем максимальную полную мощность в сетях  $U = 10 \text{ кВ}$   $S_{m(10)}$ , кВА

$$S_{m(10)} = \sqrt{231,70^2 + 120,59^2} = 261,20 \text{ кВА.}$$

Рассчитываем максимальный ток в сетях  $U=10\text{кВ}$   $I_{m(10)}$ , А

$$I_{m(10)} = \frac{Sm(10)}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot n_{тр}}$$

$$I_{m(10)} = \frac{261,20}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 1} = 15,08 \text{ А.}$$

Учитывая, что число часов использования максимума нагрузки в год  $T_m = 1000-3000$  часов/год, принимая к прокладке кабель марки ААШв по ПУЭ

Определяем экономическую плотность тока  $j_{ЭК} = 1,6$  А/мм<sup>2</sup>.

Рассчитываем экономически выгодное сечение  $F_{ЭК}$ , мм<sup>2</sup>

$$F_{ЭК} = \frac{I_{m(10)}}{j_{ЭК}}$$

$$F_{ЭК} = \frac{15,08}{1,6} = 9,42 \text{ мм}^2.$$

Принимаем кабель ближайшего стандартного сечения по ПУЭ [4, таблица 1.3.16] ААШв 3х16 с  $I_d = 75\text{А} > I_{m(10)} = 15,08 \text{ А}$ .

По справочнику [7, таблица 4-79] определяем активное ( $r = 1,95$  Ом/км) и реактивное ( $x = 0,113$  Ом/км) сопротивления.

Определяем коэффициент реактивной мощности в сетях  $U = 10$  кВ

$$\text{tg}\varphi = \frac{120,59}{231,70} = 0,52.$$

Проверяем кабель по потерям напряжения  $\Delta U$ , %, которые согласно ГОСТ [8] не должно превышать  $\Delta U_d = 5\%$ .

$$\Delta U = \frac{10^5 \cdot P_m(10) \cdot l \cdot (r + x \cdot \text{tg}\varphi)}{U_n^2 \cdot n_{тр}}$$

$$\Delta U = \frac{10^5 \cdot 231,7 \cdot 0,7 \cdot (1,95 + 0,113 \cdot 0,54)}{10^8 \cdot 1} = 0,32\% < \Delta U_d = 5\%.$$

Итак,  $I_d \geq I_{m(10)}$ ,  $\Delta U \leq \Delta U_d$ , то кабель принимаем к предварительной прокладке. Окончательное решение будет принято после проверки его на действие токов короткого замыкания. Все рассчитанные параметры сводим в таблице 8.

Таблица 8 – Выбор сетей  $U > 1\text{кВ}$

$U_{\text{н}}$ , кВ	$I_{\text{м}(10)}$ , А	$T_{\text{м}}$ , час/год	$j_{\text{эк}}$ , А/мм <sup>2</sup>	$F_{\text{эк}}$ , мм <sup>2</sup>	Марка, сечение кабеля	$I_{\text{д}}$ , А	$r_0$ , Ом/км	$x_0$ , Ом/км	$l$ , км	$\Delta U$ , %
10	15,08	1000- 3000	1,6	9,42	ААШВ 3х16	75	1,950	0,113	0,7	0,3 2

Таким образом, кабель, выбранный по экономической плотности тока имеет хороший запас. Кроме этого, изоляция кабеля греется меньше, что увеличивает срок его эксплуатации.

### 1.6 Расчёт и выбор сетей напряжением ниже 1 кВ

Согласно ПУЭ [4, пункт 1.3.28] шины распределительных устройств любых классов напряжения не проверяются по экономической плотности тока, поэтому выбор осуществляется по току с условием  $I_{\text{д}} \geq I_{\text{м}}$  с проверкой по потерям напряжения и на действие токов короткого замыкания.

По ПУЭ [4, таблица 1.3.31 и пункт 1.3.23] принимаем к предварительной установке шины с размерами 40×4 на напряжения 0,4 кВт, отходящие от распределительного устройства трансформаторной подстанции ТРС 5. Шины расположены плашмя с током

$$I_{\text{д}}' = 480 \cdot 0,95 = 456 \text{ А} > I_{\text{мц}} = 383,57 \text{ А.}$$

По справочнику [7, таблица 4-80] определяем удельное активное  $r = 0,211$  Ом/км и реактивное  $x = 0,145$  Ом/км сопротивления.

Проверяем шины по потерям напряжения  $\Delta U$ , %

$$\Delta U = I_{\text{мц}} \cdot l \cdot (r \cdot \cos\varphi + x \cdot \sin\varphi),$$

$$\Delta U = 383,57 \cdot 0,0005 \cdot (0,211 \cdot 0,82 + 0,145 \cdot 0,56) = 0,048\text{В},$$

$$\Delta U\% = \frac{\Delta U}{U_{\text{н}}} \cdot 100\%,$$

$$\Delta U\% = \frac{0,049}{380} \cdot 100\% = 0,012\% < \Delta U_{\text{доп}} = 2,5\%.$$

Т.к.  $I_{\text{д}}' \geq I_{\text{мц}}$ ,  $\Delta U < 2,5\%$ , то шины принимаем к предварительной прокладке. Окончательное решение будет принято после проверки их на термическую и динамическую стойкость к токам короткого замыкания.

Согласно ПУЭ [4, пункт 1.3.28] проверке по экономической плотности тока не подлежат сети промышленных предприятий напряжением  $U \leq 1\text{кВ}$  при числе часов использования максимума нагрузки предприятий 4000-5000; ответвления к отдельным электроприемникам  $U \leq 1\text{кВ}$ , сети освещения поэтому выбор осуществляется по току с проверкой по потерям напряжения и на установленную защитную аппаратуру.

Рассчитываем ток расцепителя для шкафа СП1  $I_{\text{расц СП1}}$ , А, по формуле

$$I_{\text{расц}} \geq I_{\text{мСП1}} \cdot k_{\text{п}},$$

где  $k_{\text{п}}$  - поправочный коэффициент, принимаем  $k_{\text{п}} = 1,25$ .

$$I_{\text{расц}} \geq 131,48 \cdot 1,25 = 160 \text{ А.}$$

Принимаем по справочнику [9] автоматический выключатель типа

$$\text{ВА } 51\text{-}35 \frac{250}{160}.$$

По ПУЭ [4, таблица 1.3.7] принимаем к прокладке для питания шкафа СП1 два кабеля АВВГ 2(4х35)  $I_{\text{д}}' = 2 \cdot 90 \cdot 0,92 = 166\text{А} \geq I_{\text{м СП1}} = 131,48 \text{ А}.$

Проверяем кабель на установленную защитную аппаратуру

$$I_{\text{д}}' \geq I_3 \cdot k_3,$$

где  $I_3$ - ток защитный, равный току расцепителя, А;

$k_3$  - коэффициент защиты, принимаемый по справочнику [3, таблица 2.10], принимаем  $k_3 = 1$ , т.к. сети не требуют защиты от перегрузки и к установке принят автоматический выключатель с нерегулируемой обратной зависимой от тока характеристикой.

$$I_{\text{д}}' = 166 \text{ А} \geq I_3 \cdot k_3 = (160 \cdot 1) \text{ А.}$$

По справочнику [7, таблица 4-79] определяем  $r=0,625$  Ом/км,  $x=0,0625$ Ом/км. Проверяем кабель по потерям напряжения  $\Delta U$ , %

$$\Delta U = \frac{10^5 \cdot P_{мСП1} \cdot l \cdot (r + x \cdot \operatorname{tg} \varphi)}{U_H^2},$$

$$\Delta U = \frac{10^5 \cdot 82,74 \cdot 0,04 \cdot (0,625 + 0,0625 \cdot 0,32)}{380^2} = 1,29 \% \leq \Delta U_{\text{доп}} = 5\%.$$

Итак,  $I_{д'} \geq I_{мСП1}$ ,  $I_{д'} \geq I_3 \cdot k_3$ ,  $\Delta U_{\text{доп}} \leq 5\%$ , поэтому кабель принимаем к окончательной прокладке. Все остальные кабели для шкафов ремонтно-механического цеха выбираем аналогично, их параметры сводим в таблице 9.

Согласно ПУЭ [4, пункт 1.3.28] ответвление к отдельным электроприёмникам напряжением  $U \leq 1$ кВ не проверяется на экономическую плотность тока, выбор осуществляется по току, с проверкой по потере напряжения и на установленную защитную аппаратуру.

Рассчитываем номинальный ток двигателя  $I_H$ , А по формуле

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_H \cdot \cos \varphi},$$

Таблица 9 – Выбор питающих сетей напряжений меньше 1 кВ

Наименование узла	$S_m$ , кВА	$I_m$ , А	$I_m \cdot 1,25$ , А	Выбранная защита	Выбранная сеть	$I_d'$ , А	$I_d \geq I_3 \cdot k_{защ}$	$r_0$ , Ом/км	$x_0$ , Ом/км	$l$ , км	$P_m$ , кВт	$\cos \varphi$	$\text{tg } \varphi$	$\Delta U$ , %
СП1	86,68	131,48	164,35	ВА51-35 $\frac{250}{160}$	АВВГ 2х4х35	166	$166 \geq 160 \cdot 0,92$	0,8940	0,0637	0,04	82,74	0,95	0,32	1,83
СП2	83,65	128,69	160,86	ВА 51-35 $\frac{250}{160}$	АВВГ 2х4х35	166	$166 \geq 160 \cdot 0,92$	0,8940	0,0637	0,05	77,16	0,92	0,42	2,46
СП3	22,22	34,18	42,73	ВА13-29 $\frac{63}{40}$	АВВГ 4х16	55	$55 \geq 40 \cdot 1$	1,9500	0,7300	0,02	20,40	0,80	0,75	0,56
СП4	50,50	77,70	97,13	ВА 51-31 $\frac{100}{100}$	АВВГ 4х50	101	$101 \geq 100 \cdot 1$	0,6250	0,0625	0,01	39,40	0,78	0,80	0,17

где  $\eta_n$  – коэффициент полезного действия, принимаем по справочнику [9, таблица Д1].

$$I_n = \frac{5,50}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85 \cdot 0,86} = 11,36 \text{ А.}$$

Находим ток расцепителя автоматического выключателя  $I_{расц}$ , А

$$I_{расц} \geq I_n \cdot k_n,$$

где  $k_n$  – поправочный коэффициент, принимаем  $k_n=1,15$ .

$$I_{расц} \geq 19,55 \cdot 1,15 = 13,07 \text{ А.}$$

По справочнику принимаем к установке автоматический выключатель типа ВА 13-29 $\frac{63}{16}$ .

По ПУЭ [4, таблица 1.3.7] принимаем к прокладке кабель АВВГ 4х2,5 с током  $I_{доп}' = 18 \text{ А} \geq I_n = 11,36 \text{ А}$ .

Проверяем кабель на установленную защитную аппаратуру по условию  $I_{д}' = A \geq I_3 \cdot k_3 = (18 \cdot 1) \text{ А}$ .

По справочнику определяем  $r=12,5 \text{ Ом/км}$ ,  $x=0,1 \text{ Ом/км}$ . Проверяем кабель по потерям напряжения

$$\Delta U = \frac{10^5 \cdot P_{н1} \cdot l \cdot (r + x \cdot \operatorname{tg} \varphi)}{U_{н}^2},$$

$$\Delta U = \frac{10^5 \cdot 5,5 \cdot 0,004 \cdot (12,5 + 0,1 \cdot 0,59)}{380^2} = 0,19 \% \leq \Delta U_{доп} = 5\%.$$

Итак,  $I_{д}' \geq I_{н1}$ ,  $I_{д}' \geq I_3 \cdot k_3$ ,  $\Delta U_{доп} \leq 5\%$ , поэтому кабель принимаем к окончательной прокладке. Все остальные кабели выбираем аналогично, их параметры сводим в таблице 10.

Таблица 10 – Выбор распределительных сетей напряжений больше 1 кВ

Наименование эл.приемников	№ по пла ну	$P_n$ , кВт	$\eta$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$I_n$ , А	$I_n \cdot$ 1,15, А	Выбранная защита	Выбранная к.л.	$I_d'$ , А	$I_d \geq I_3 \cdot$ $K_{защ}$	$r_0$ , Ом/к м	$x_0$ , Ом/к м	$l$ , км	$\Delta U$ , %
1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Пила маятниковая	1	5,50	0,855	0,86	0,59	11,36	13,07	ВА13-29 $\frac{63}{16}$	АВВГ4х2,5	18	$18 \geq 16 \cdot 1$	12,5	0,1	0,004	0,19
Кран подвесной ПВ 40%	2	<u>3,48</u>	0,820	0,84	0,65	7,68	8,83	ВА13-29 $\frac{63}{10}$	КГ4х2,5	18	$18 \geq 10 \cdot 1$	12,5	0,1	0,003	0,09
Радиально- сверлильный станок	3	4,50	0,850	0,84	0,65	9,58	11,01	ВА13-29 $\frac{63}{12,5}$	АВВГ4х2,5	18	$18 \geq 12,5 \cdot$ 1	12,5	0,1	0,008	0,31
Поперечно- сверлильный станок	4	5,50	0,855	0,86	0,59	11,36	13,07	ВА13-29 $\frac{63}{16}$	АВВГ4х2,5	18	$18 \geq 16 \cdot 1$	12,5	0,1	0,004	0,19
Электропечь	5	70,00	0,980	0,88	0,54	123,32	141,82	ВА51-35 $\frac{250}{160}$	АВВГ2х4х35	166	$166 \geq 160 \cdot$ 1	0,447	0,06	0,025	0,58
Пресс 300 тонн	6	7,50	0,875	0,86	0,59	15,14	17,41	ВА13-29 $\frac{63}{20}$	АВВГ4х4	25	$25 \geq 20 \cdot 1$	7,81	0,095	0,010	0,41
винторезный -Токарно станок	7-11	3,6	0,875	0,84	1,73	7,66	8,81	ВА13-29 $\frac{63}{10}$	АВВГ4х2,5	18	$18 \geq 10 \cdot 1$	12,5	0,1	0,002	0,06
винторезный-Токарно постоянной станок установки	12- 13	5,5	0,850	0,86	1,73	11,36	13,07	ВА13-29 $\frac{63}{16}$	АВВГ4х2,5	18	$18 \geq 16 \cdot 1$	12,5	0,1	0,002	0,10
Сварочный пост	14	<u>22,4</u>	0,855	0,8	0,75	85,08	97,85	ВА51-31 $\frac{100}{100}$	КГ2х4х25	120	$120 \geq 100 \cdot$ 1	0,894	0,53	0,004	0,08

Продолжение таблицы 10

1	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
-Универсально фрезерный станок	15	1,1	0,500	0,81	0,72	2,75	3,16	BA13-25 $\frac{25}{5}$	ABBГ4x2,5	18	18 $\geq$ 5·1	12,5	0,1	0,007	0,07
заточной -Универсально станок	16	0,55	0,750	0,70	0,99	1,69	1,95	BA13-25 $\frac{25}{3,15}$	ABBГ4x2,5	18	18 $\geq$ 3,15· 1	12,5	0,1	0,004	0,02
-Универсально круглошлифовальный станок	17	0,55	0,705	0,70	0,99	1,69	1,95	BA13-25 $\frac{25}{3,15}$	ABBГ4x2,5	18	18 $\geq$ 3,15· 1	12,5	0,1	0,010	0,05
Плоскошлифовальный станок	18	3	0,705	0,83	0,67	6,70	7,70	BA13-29 $\frac{63}{8}$	ABBГ4x2,5	18	18 $\geq$ 8·1	12,5	0,1	0,013	0,34
-Вертикально фрезерный станок	19	1	0,820	0,81	0,72	2,50	2,88	BA13-25 $\frac{25}{3,15}$	ABBГ4x2,5	18	18 $\geq$ 3,15· 1	12,5	0,1	0,015	0,13
Электropечь шахтная	20	40	0,750	0,89	0,51	69,68	80,13	BA51-31 $\frac{100}{100}$	ABBГ4x35	83	83 $\geq$ 100·1	1,25	0,06	0,020	0,70

## 1.7 Расчет токов трехфазного и однофазного короткого замыкания на напряжение до 1 кВ

### Расчет токов трехфазного к.з. в сети напряжением выше 1 кВ

Рассчитаем ток короткого замыкания с учетом сопротивления внешней сети (системы и питающей линии). К схеме замещения добавляется сопротивление внешней сети, которое необходимо привести к напряжению точки КЗ, т. е. 0,4 кВ. Расчетная схема сети и ее схема замещения представлены на рисунках 4 и 5.

Сопротивления кабельной линии (между внешней сетью (системой) и трансформатором):

$$x_L = x_0 \ell_L = 0,099 \cdot 5,5 = 0,54 \text{ Ом.}$$

$$r_L = r_0 \ell_L = 1,91 \cdot 5,5 = 10,51 \text{ Ом.}$$

Т.к. мощность трансформаторов ПС энергосистемы мы считаем не известной, то сопротивление электрической системы можно определить согласно [2]. Для этого задаемся типом выключателя (в частности, вакуумного), который может быть установлен для защиты отходящей линии ПС, от которой питается рассматриваемый объект (цех): ВВЭ-М-10-12,5/630У2. По каталогу [11] определяем ток отключения  $I_{\text{откл}} = 12,5$  кА для этого выключателя. Сопротивление между источником питания и точкой, в которой ток и мощность короткого замыкания не превысят соответствующих параметров выключателя, определяется по формуле [8]:

$$x_c = \frac{U_{\text{ср.ном}}^2}{S_c} = \frac{10,5^2}{227,33} = 0,48 \text{ Ом,}$$

$$\text{где } S_c = \sqrt{3} \cdot I_{\text{ном откл.}} \cdot U_{\text{ср.ном}} = \sqrt{3} \cdot 12,5 \cdot 10,5 = 227,33 \text{ МВА.}$$

Рассчитаем результирующее сопротивление и ток КЗ в точке К1:

$$x_{\Sigma K1} = x_c = 0,48 \text{ Ом.}$$

$$I_{K1} = \frac{U_{cp.ном}}{\sqrt{3} \cdot x_{\Sigma K1}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,48} = 12,5 \text{ кА.}$$

$$i_{уд K1} = \sqrt{2} \cdot k_{уд} \cdot I_{K1}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 12,5 = 33,1 \text{ кА.}$$

где  $k_{уд} = 1,8$  – при к.з. в сетях ВН, где активное сопротивление не оказывает существенного влияния [13].

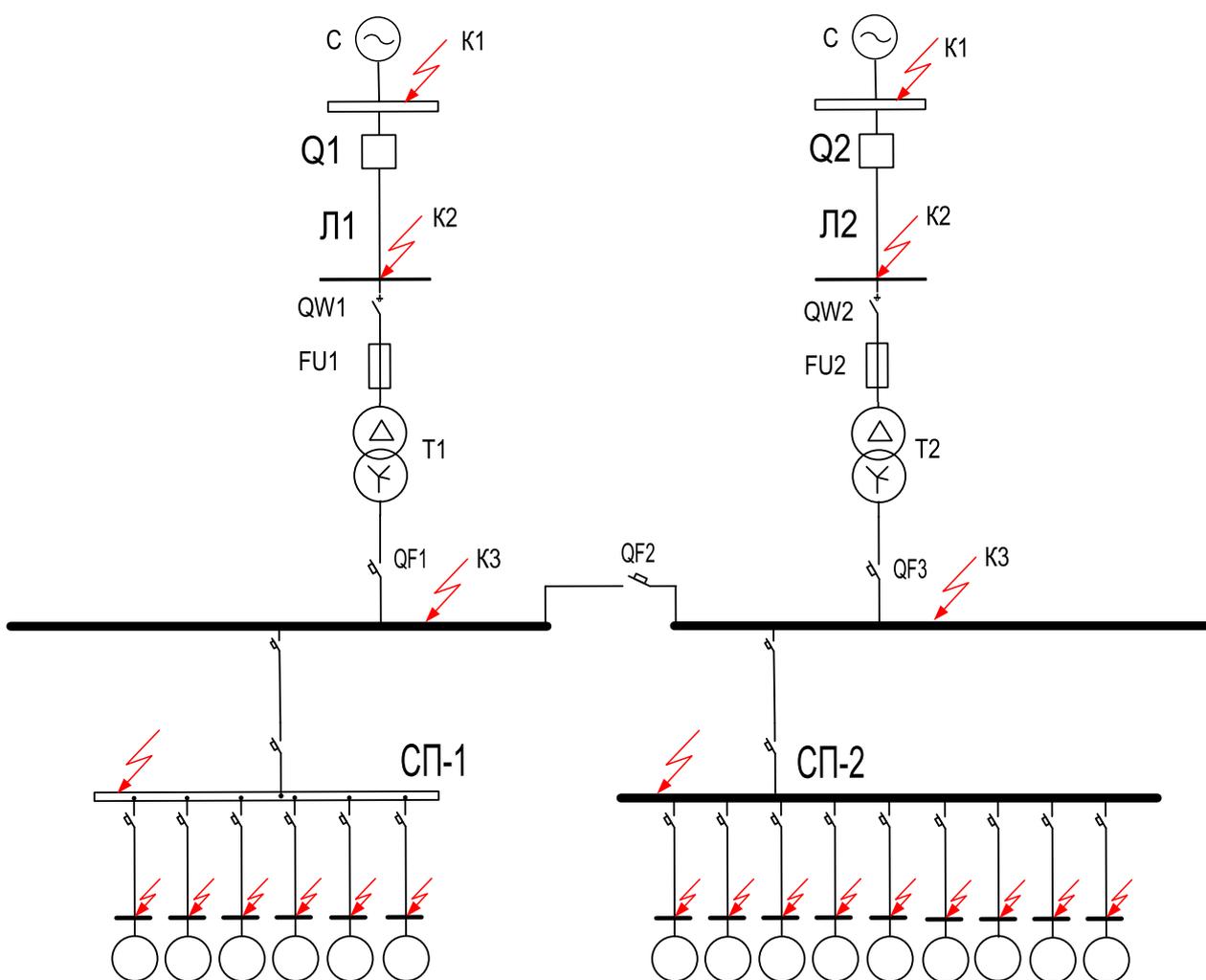


Рисунок 4 – Расчетная схема

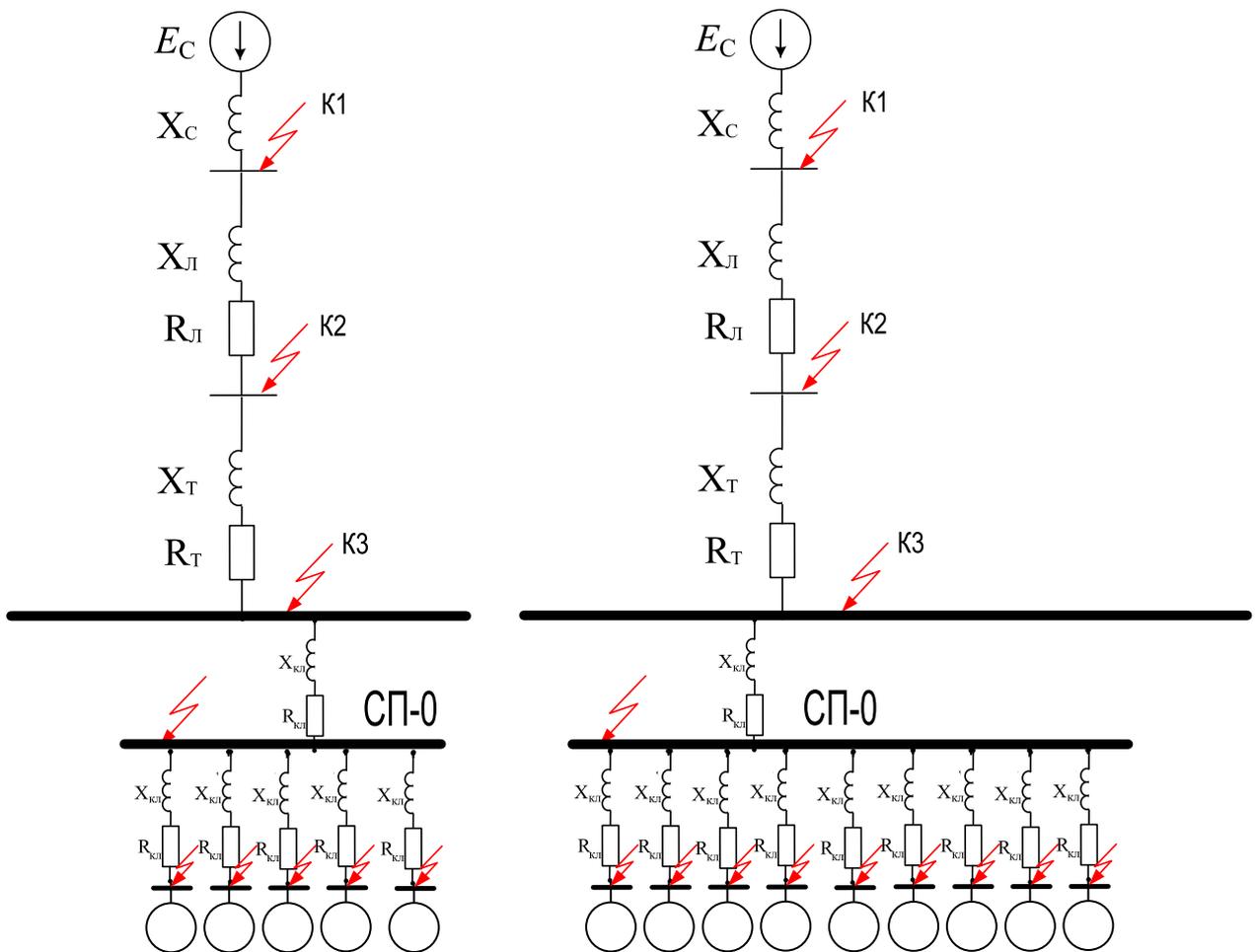


Рисунок 5 – Схема замещения

Рассчитаем результирующее сопротивление и ток К3 в точке К2:

$$x_{\Sigma K2} = x_C + x_L = 0,48 + 0,54 = 1,02 \text{ Ом.}$$

$$r_{\Sigma K2} = r_L = 10,51 \text{ Ом.}$$

$$I_{K2} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\Sigma K2}^2 + r_{\Sigma K2}^2}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{1,02^2 + 10,51^2}} = 0,57 \text{ кА.}$$

$$i_{\text{уд } K2} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_{K2}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 0,57 = 1,45 \text{ кА.}$$

## Расчет токов трехфазного к.з. в сети напряжением ниже 1 кВ

При расчете сопротивлений приведение к одной ступени напряжения производится исходя из существующей шкалы средних номинальных напряжений. Пересчет сопротивлений производится по выражению [8; 12, с. 167]:

$$X_{\text{к}} = X_{\text{ном}} \cdot \left( \frac{U_{\text{ср. к}}}{U_{\text{ср. ном}}} \right)^2, \quad (17.1)$$

где  $X_{\text{к}}$  – сопротивление (Ом), приведенное к ступени напряжения  $U_{\text{ср. к}}$ ;  $X_{\text{ном}}$  – сопротивление (Ом), заданное при напряжении  $U_{\text{ср. ном}}$ ;  $U_{\text{ср. к}}$  – среднее эксплуатационное напряжение ступени короткого замыкания, к которому пересчитываются все сопротивления сети, кВ;  $U_{\text{ср. ном}}$  – среднее эксплуатационное напряжение на ступени номинального напряжения элемента.

Приведенное сопротивление системы:

$$x_{\text{с}} = \frac{U_{\text{ном}}^2}{S_{\text{с}}} \cdot \left( \frac{U_{\text{ср. к}}}{U_{\text{ср. ном}}} \right)^2 = \frac{10000^2}{227,33 \cdot 10^6} \cdot 10^3 \cdot \left( \frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,64 \text{ мОм},$$

где  $S_{\text{с}}$  – мощность системы.

Приведенные сопротивления кабельной линии (между внешней сетью (системой) и трансформатором):

$$x_{\text{л}} = x_{\text{удл}} \ell_{\text{л}} \cdot \left( \frac{U_{\text{ср. к}}}{U_{\text{ср. ном}}} \right)^2 = 0,099 \cdot 5,5 \cdot 10^3 \cdot \left( \frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,79 \text{ мОм}.$$

$$r_{\text{л}} = r_{\text{удл}} \ell_{\text{л}} \cdot \left( \frac{U_{\text{ср. к}}}{U_{\text{ср. ном}}} \right)^2 = 1,91 \cdot 5,5 \cdot 10^3 \cdot \left( \frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 15,25 \text{ мОм}.$$

При напряжении до 1 кВ даже небольшое сопротивление оказывает существенное влияние на ток КЗ. Поэтому в расчетах учитываются все сопротивления короткозамкнутой цепи, как индуктивные, так и активные. Кроме того, учитывают активные сопротивления всех переходных контактов в этой цепи (на шинах, на вводах и вводах аппаратов, разъемные контакты аппаратов и контакт в месте КЗ).

По [12, с. 167] при расчете токов КЗ в сетях рекомендуется учитывать сопротивление следующим образом: 0,02 Ом – для первичных цеховых СП, а также на зажимах аппаратов, питаемых радиальными линиями от щитов подстанций или главных магистралей; 0,025 Ом – для вторичных цеховых СП, а также на зажимах аппаратов, питаемых от первичных СП.

Определяем сопротивление трансформатора:

$$r_{тр} = \frac{\Delta P_{к.з.}}{S_{ном.тр.}} \cdot \frac{U_{ном.}^2}{S_{ном.тр.}} \cdot 10^6; \quad (17.2)$$

$$x_{тр} = \sqrt{\left(\frac{U_{к}}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_{к.з.}}{S_{ном.тр.}}\right)^2} \cdot \frac{U_{ном.}^2}{S_{ном.тр.}} \cdot 10^6. \quad (17.3)$$

$$r_{тр} = \frac{1,97}{100} \cdot \frac{0,4^2}{100} \cdot 10^6 = 31,52 \text{ мОм};$$

$$x_{тр} = \sqrt{\left(\frac{4,5}{100}\right)^2 - \left(\frac{1,97}{100}\right)^2} \cdot \frac{0,4^2}{100} \cdot 10^6 = 64,73 \text{ мОм}.$$

Рассчитаем сопротивление и ток КЗ в точке КЗ на вводе низшего напряжения цеховой подстанции:

$$x_{\Sigma K3} = x_C + x_{Л} + x_{mp} = 0,64 + 0,79 + 64,73 = 66,16 \text{ мОм.}$$

Суммарное активное сопротивление, кроме сопротивлений элементов системы электроснабжения высшего напряжения и трансформатора, должно учитывать переходные сопротивления контактов. Для этой цели в расчет вводим добавочное сопротивление, которое на шинах подстанции составляет 15 мОм:

$$r_{\Sigma K3} = r_{mp} + r_{Л} + r_{доб} = 31,52 + 15,25 + 15 = 61,77 \text{ мОм.}$$

$$\frac{x_{\Sigma K3}}{r_{\Sigma K3}} < 0,5, \text{ следовательно, } K_{y\delta} = 1,0 \text{ [12, с. 143].}$$

$$I_{K3} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\Sigma K3}^2 + r_{\Sigma K3}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{66,16^2 + 61,77^2}} = 2,55 \text{ кА.}$$

$$i_{y\delta K3} = \sqrt{2} \cdot k_{y\delta} \cdot I_{K3}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 2,55 = 3,61 \text{ кА.}$$

Рассчитаем ток КЗ в точке К4.

$$x_{\Sigma K4} = x_{\Sigma K3} + x_{\text{КЛ СП-1}} \cdot l = 66,16 + 0,073 \cdot 74 = 71,562 \text{ мОм,}$$

$$r_{\Sigma K4} = r_{\Sigma K3} + r_{\text{КЛ СП-1}} \cdot l + r_{\text{доб перв}} = 61,77 + 3,1 \cdot 74 + 5 = 296,17 \text{ мОм.}$$

$$\frac{x_{\Sigma K4}}{r_{\Sigma K4}} < 0,5, \text{ следовательно } K_{y\delta} = 1,0 \text{ [12, с. 168].}$$

$$I_{K4} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\Sigma K4}^2 + r_{\Sigma K4}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{71,562^2 + 296,17^2}} = 0,758 \text{ кА,}$$

$$i_{y\delta K4} = \sqrt{2} \cdot k_{y\delta} \cdot I_{K4}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1,0 \cdot 0,758 = 1,072 \text{ кА.}$$

Рассчитаем ток КЗ в точке К5.

$$x_{\Sigma K5} = x_{\Sigma K4} + x_{\text{КЛ уд}} \cdot l = 71,562 + 0,073 \cdot 3 = 71,781 \text{ мОм,}$$

$$r_{\Sigma K5} = r_{\Sigma K4} + r_{\text{КЛуд}} \cdot l + r_{\text{доб втор}} = 296,17 + 3,1 \cdot 3 + 5 = 310,47 \text{ мОм},$$

$$\frac{x_{\Sigma K5}}{r_{\Sigma K5}} < 0,5, \text{ следовательно } K_{y\delta} = 1 [12, \text{ с. 168}],$$

$$I_{K5} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{x_{\Sigma K5}^2 + r_{\Sigma K5}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{71,781^2 + 310,47^2}} = 0,725 \text{ кА},$$

$$i_{\text{уд К5}} = \sqrt{2} \cdot k_{\text{уд}} \cdot I_{K5}^{(3)} = \sqrt{2} \cdot 1 \cdot 0,725 = 1,025 \text{ кА}.$$

Для остальных точек расчет аналогичен (таблица 11).

Расчет токов трехфазного КЗ для точек КЗ, непосредственно расположенных на шинах электроприемников, необходим для того, чтобы проверить автоматы на отключающую способность, т.е. смогут ли автоматы, установленные внутри СП, среагировать на токи КЗ, возникшие непосредственно у электроприемников.

Таблица 11 – Расчет токов короткого замыкания

Точка КЗ	Кабель между СП и электроприемником №:		Ri, мОм	Xi, мОм	L, м	r <sub>0</sub> , Ом/км	x <sub>0</sub> , Ом/км	Rкл, мОм	Xкл, мОм	Rдоб., мОм	R, мОм	X, мОм	Z, мОм	Iкз, кА	Ky	iуд, кА	
1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
К4	СП-1	-	Шины НН	61,77	66,16	74	3,1	0,073	229,400	5,402	20	296,170	71,562	304,693	0,758	1	1,072
			КТП														
К5	СП-1	-	1	296,17	71,562	3	3,1	0,073	9,300	0,219	25	310,470	71,781	318,660	0,725	1	1,025
К6	СП-1	-	2	296,17	71,562	3	3,1	0,073	9,300	0,219	25	310,470	71,781	318,660	0,725	1	1,025
К7	СП-1	-	3	296,17	71,562	6	3,1	0,073	18,600	0,438	25	319,770	72,000	327,776	0,705	1	0,997
К8	СП-1	-	4	296,17	71,562	8	5,17	0,09	41,360	0,720	25	342,530	72,282	350,074	0,660	1	0,933
К9	СП-1	-	5	296,17	71,562	9	5,17	0,09	46,530	0,810	25	347,700	72,372	355,152	0,650	1	0,919
К10	СП-1	-	6	296,17	71,562	9	7,74	0,095	69,660	0,855	25	370,830	72,417	377,835	0,611	1	0,864
К11	СП-1	-	7	296,17	71,562	13	7,74	0,095	100,620	1,235	25	401,790	72,797	408,331	0,566	1	0,800
К12	СП-2	-	Шины НН	61,77	66,16	16	1,24	0,0662	19,840	1,059	20	86,610	67,219	109,634	2,106	1	2,978
			КТП														
К13	СП-2	-	19	86,61	67,2192	16	1,94	0,0675	31,040	1,080	25	122,650	68,299	140,384	1,645	1	2,326
К14	СП-2	-	23	86,61	67,2192	13	3,1	0,073	40,300	0,949	25	131,910	68,168	148,483	1,555	1	2,199
К15	СП-2	-	24	86,61	67,2192	11	3,1	0,073	34,100	0,803	25	125,710	68,022	142,934	1,616	1	2,285
К16	СП-2	-	29	86,61	67,2192	7	1,24	0,0662	8,680	0,463	25	100,290	67,683	120,992	1,909	1	2,700
К17	СП-2	-	30	86,61	67,2192	7	1,24	0,0662	8,680	0,463	25	100,290	67,683	120,992	1,909	1	2,700

## Расчет токов однофазного к.з. в сети напряжением ниже 1000 В

Для правильного выбора релейной защиты и автоматики в системе электроснабжения наряду с токами трехфазных КЗ необходимо знать токи несимметричных КЗ – однофазных КЗ, для проверки чувствительности автоматов НН к таким КЗ.

Для расчета  $I_{КЗ}^{(1)}$  по [7] рекомендуется следующая упрощенная формула:

$$I_{КЗ}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_T}{3} + Z_{II}}, \quad (17.4)$$

где  $U_{\phi}$  – фазное напряжение сети;  $Z_T/3$  – сопротивление силового трансформатора при однофазном замыкании на корпус;  $Z_{II}$  – полное сопротивление петли прямого и обратного провода линии или кабеля.

Полное сопротивление петли «фазный - нулевой провод»:

$$Z_n = \sqrt{(R_{\phi} + R_d + R_n + R_{TT} + R_A)^2 + (X' + X'' + X_C + X_{TT} + X_A)^2}, \quad (17.5)$$

где  $R_{\phi}$ ,  $R_n$  – суммарные активные сопротивления фазного и нулевого проводов всех участков рассчитываемой цепочки (ТП - ЭП - ТП).

$R_d$  - сопротивление дуги в точке КЗ принимается равным 0,03 Ом;

$R_{TT}$ ,  $X_{TT}$  – активное и индуктивное сопротивление трансформатора тока:

$R_{TT} = 0,00015$  Ом;  $X_{TT} = 0,00021$  Ом;

$R_A$ ,  $X_A$  - активное и индуктивное сопротивление автоматических выключателей (см. ниже);

$X_C$  - сопротивление питающей системы, принимается равным ранее рассчитанному приведенному сопротивлению системы  $x_C$ ;  $X'$  - внешнее индуктивное сопротивление петли фаза-нуль, принимается равным 0,6 Ом/км;  $X$  - внутреннее индуктивное сопротивление проводов зануления (учитывается только для проводов, выполненных из стали).

При расчете однофазных токов короткого замыкания будем учитывать сопротивление автоматических выключателей, которые включают в себя

сопротивления катушек максимального тока автомата и переходное сопротивление контактов определенное по [13, таблица 1.9.3, с. 61] значение в мОм. Выполним расчет тока однофазного короткого замыкания для СП-1:

Определяем полное сопротивление выбранного трансформатора:

$$Z_T = 487 \text{ мОм} = 0,487 \text{ Ом (при мощности 160 кВА)}.$$

Полное сопротивление петли «фазный – нулевой провод»:

$$Z_n = \sqrt{(11 \cdot 1,24 + 30 + 11 \cdot 1,24 + 0,15 + 2,05)^2 + (0,6 \cdot 11 + 0,64 + 0,21 + 1,2)^2} = 60,106 \text{ мОм}.$$

Определим ток однофазного КЗ в конце линии, питающей СП-1.

$$I_{КЗ}^{(1)} = \frac{U_\phi}{Z_T / 3 + Z_n} = \frac{400 / \sqrt{3}}{0,487 / 3 + 0,060106} = 1038,2 \text{ А}.$$

Расчет однофазных коротких замыканий на шинах каждого СП производится аналогичным образом. Для отдельных электроприемников расчет однофазного короткого замыкания делается с учетом сопротивлений на СП. Расчеты сведем в таблицу 12.

Таблица 12 – Расчет токов однофазного к.з.

Номер СП или ЭП	Сопротивление трансформатора однофазному к.з., Z <sub>T</sub> , мОм	Длина провода или кабеля, м	Сопротивления фазного, нулевого провода, Ом/км	Сопротивление дуги R <sub>д</sub> , мОм	Сопротивление первичной обмотки ТТ, R <sub>гт</sub> , мОм	Активное сопротивление автомата, мОм	Внешнее индуктивное сопротивление петли	Сопротивление питающей системы, мОм	Индуктивное сопротивление первичной обмотки ТТ, X <sub>гт</sub> , мОм	Индуктивное сопротивление автомата, мОм	Результатирующее активное сопротивление цепи фаза-нуль, мОм	Результатирующее реактивное сопротивление цепи фаза-нуль, мОм	Результатирующее полное сопротивление цепи фаза-нуль, мОм	Ток однофазного к.з., А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
СП-1	487	74	3,1	30	0,15	2,05	0,6	0,64	0,21	1,2	491	46,45	493,192	306,75
1	487	3	3,1	30		6	0,6			6,8	54,6	8,6	55,273	733,28
2	487	3	3,1	30		6	0,6			6,8	54,6	8,6	55,273	733,28
3	487	6	3,1	30		6	0,6			6,8	73,2	10,4	73,935	692,26
4	487	8	5,17	30		6	0,6			15	118,72	19,8	120,36	607,69
5	487	9	5,17	30		6	0,6			15	129,06	20,4	130,662	591,66
СП-2	487	16	1,24	30	0,15	2,05	0,6	0,64	0,21	1,2	71,88	11,65	72,818	694,59
19	487	16	1,94	30		6	0,6			3,4	98,08	13	98,938	644
23	487	13	3,1	30		6	0,6			6,8	116,6	14,6	117,511	612,28
24	487	11	3,1	30		6	0,6			6,8	104,2	13,4	105,058	633,19
29	487	7	1,24	30		7	0,6			2,05	54,36	6,25	54,718	734,58
30	487	7	1,24	30		7	0,6			2,05	54,36	6,25	54,718	734,58
8	487	13	1,94	30		6	0,6			2,8	86,44	10,6	87,088	666
9	487	10	1,94	30		6	0,6			3,4	74,8	9,4	75,388	689,26
11	487	18	0,62	30		15	0,6			1,4	67,32	12,2	68,417	703,91
12	487	4	0,62	30		15	0,6			1,4	49,96	3,8	50,104	745,52

### 1.8 Выбор электрооборудования и проверка его на действие токов короткого замыкания

Токи короткого замыкания вызывают нагрев токоведущих частей, значительно превышающий нормальный. Чрезмерное повышение температуры может привести к выжиганию изоляции, разрушению контактов и даже их расплавлению, несмотря на кратковременность процесса короткого замыкания. Проверка аппаратов на термическую стойкость производится по

току термической стойкости  $I_{тер}$ , заданному заводом – изготовителем и расчетному времени термической стойкости по каталогу  $t_{тер}$ . Аппарат термически стоек, если тепловой импульс  $V_k$ ,  $кА^2с$ , не превышает произведения квадратичного значения тока термической стойкости  $I_T$ ,  $кА$ , на время термической стойкости  $t_T$ ,  $с$ , т. е.

$$V_k < I_T^2 \cdot t_T.$$

Выбранные шины или кабель термически стойки, если минимальное сечение меньше принятого, т.е.  $F_{min} < F_{пр}$ .

При коротком замыкании по токоведущим частям проходят токи переходного режима, вызывая сложные усилия в шинных конструкциях и аппаратах электроустановок. Эти усилия изменяются во времени по значению, направлению и имеют колебательный характер. Электродинамические усилия в токоведущих частях выключателей, разъединителей и других аппаратов трудно поддаются расчету, поэтому заводы-изготовители указывают предельный сквозной ток короткого замыкания (амплитудное значение)  $i_{пр.скв.}$  ( $i_{дин}$ ), который не должен быть меньше найденного при расчете ударного тока при трехфазном коротком замыкании (КЗ). Таким образом, проверка производится по условию  $i_{пр.скв.}$  ( $i_{дин}$ )  $> i_y$ .

Согласно ПУЭ [4, пункт 1.4.3] аппараты и проводники, защищенные предохранителями, на действие токов короткого замыкания не проверяются, поэтому выключатель нагрузки принимаем к окончательной установке.

Для подключения катушек измерительных приборов, реле релейной защиты, автоматики, сигнализации и счетчиков принимаем к установке измерительные трансформаторы по справочнику [12, таблица 5-9] тока ТПЛ-10, проходной с литой изоляцией с первичным током  $I_n = 200 А$ , со вторичным током  $I_{н2} = 5 А$  с классом точности 0,5 и допустимой нагрузкой в классе точности  $r_{ном0,5} = 0,4 Ом$ . Термическая стойкость составляет  $I_T^2 \cdot t = (200 \cdot 45)^2 \cdot 4 = 324 кА^2с$ , динамическая стойкость  $i_{дин} = 250 \cdot 200 = 50 кА > 8,79 кА$ .

Для подключения катушек измерительных приборов принимаем по

справочнику [12, таблица 5-13] трансформатор напряжения однофазный с естественным масляным охлаждением типа НОМ-10 с первичным напряжением  $U_{н1}=10\text{кВ}$  с номинальным напряжением вторичной обмотки  $U_{н2}=100\text{В}$ , номинальной мощностью в классе точности 0,5  $S_{н0,5}=75\text{ВА}$ .

В соответствии с ПУЭ [4, пункт 1.4.3] трансформатор напряжения не проверяется на действие токов КЗ, так как защищён предохранителем типа ПКТН – 10 – УЗ.

Проверим шины на термическую стойкость. Данная проверка осуществляется по условию  $F_{\min} < F_{\text{пр}}$ . Рассчитываем тепловой импульс тока к.з. в точке К-2  $B_{к\text{к-2}}$ , А

$$B_{к\text{к-2}} = I_{п.0\text{к-2}}^2 \cdot (t_з + t_в + T_a),$$

где  $t_з$  - время срабатывания релейной защиты, с;

$t_в$  - время отключения выключателя, с;

$T_a$  - время затухания апериодической составляющей тока КЗ, определяемое по формуле

$$T_a = \frac{X_{к-2}}{314 \cdot r_{к-2}},$$

$$T_a = \frac{20,70}{314 \cdot 5,77} = 0,011 \text{ с},$$

$$B_{к\text{к-2}} = 10720^2 \cdot (0 + 0,04 + 0,011) = 5860838 \text{ А}^2 \cdot \text{с}.$$

Рассчитываем минимальное сечение шины  $F_{\min}$ ,  $\text{мм}^2$

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{B_{к\text{к-2}}}}{G_T},$$

где  $G_T$  – коэффициент, зависящий от допустимой температуры при КЗ и материала проводника; принимаем для алюминиевых шин  $G_T = 88$ .

$$F_{\min} = \frac{\sqrt{5860838}}{88} = 27,51 \text{ мм}^2 < F_{\text{пр}} = 40 \cdot 5 = 200 \text{ мм}^2.$$

Т.к. принятое сечение больше минимального, то шина проходит по термической стойкости. Проверим шины с размерами 40×4 на динамическое действие токов КЗ. Данная проверка шин осуществляется исходя из условия,

что расчётное напряжение в материале шин от изгиба меньше допустимого

$$\sigma_{\text{расч}} < \sigma_{\text{доп.Ал}} = 75 \text{ МПа.}$$

Находим усилие, действующее на шинную конструкцию при трёхфазном замыкании  $F^{(3)}$ , Н

$$F^{(3)} = \sqrt{3} \cdot \left(\frac{l}{a}\right) \cdot i_{\text{ук2}}^2 \cdot 10^{-7},$$

где  $l$  – расстояние между изоляторами шинной конструкции, м, принимаем

$$l = 0,9 \text{ м;}$$

$a$  – расстояние между фазами, м, принимаем  $a = 0,06$  м, т.к.  $S_{\text{н}} = 2000 \text{ кВА}$ .

$$F^{(3)} = \sqrt{3} \cdot \left(\frac{0,9}{0,06}\right) \cdot 21220^2 \cdot 10^{-7} = 1169,88 \text{ Н.}$$

Находим изгибающий момент  $M$ , Н·м

$$M = \frac{F^{(3)} \cdot l}{10},$$

$$M = \frac{1169,88 \cdot 0,9}{10} = 105,3 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Определяем момент сопротивления сечения  $W$ ,  $\text{см}^3$ , при расположении шин плашмя по формуле

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6},$$

где  $b$  и  $h$  – размеры поперечного сечения шины, см.

$$W = \frac{0,4 \cdot 4^2}{6} = 1,06 \text{ см}^3.$$

Рассчитываем напряжение в материале шин от изгиба  $\sigma_{\text{расч}}$ , МПа

$$\sigma_{\text{расч}} = \frac{M}{W},$$

$$\sigma_{\text{расч}} = \frac{105,3}{1,06} = 99,32 \text{ МПа} > \sigma_{\text{доп.Ал}} = 75 \text{ МПа.}$$

Т.к. расчетные параметры больше допустимых, то принимаем к установке шины с размерами 50х6.

$$W = \frac{0,5 \cdot 5^2}{6} = 3 \text{ см}^3.$$

Рассчитываем напряжение в материале шин от изгиба  $\sigma_{\text{расч}}$ , МПа

$$\sigma_{\text{расч}} = \frac{M}{W},$$

$$\sigma_{\text{расч}} = \frac{105,3}{3} = 35,1 \text{ МПа} < \sigma_{\text{доп. Al}} = 75 \text{ МПа}.$$

Т.к. расчетные параметры меньше допустимых, то шины принимаем к окончательной установке.

### 1.9 Светотехнический расчет системы освещения

Для рабочего освещения применим лампы типа ДСП и лампы накаливания, в помещениях не предназначенных для длительного пребывания людей, для аварийного – лампы накаливания.

Размеры помещения  $A \times B \times H = 48 \times 28 \times 9$  м.

Высота расчётной поверхности  $h_p = 0,8$  м, расстояние от перекрытия до светильника  $h_c = 1,2$  м.

Расстояние от светильников до рабочей поверхности

$$h = H - h_c - h_p,$$

(5.1)

$$h = 9 - 1,2 - 0,8 = 7 \text{ м}.$$

Определив  $h$  и задавшись значением  $\lambda_{\text{э}}$  вычислим расстояние  $L$ .

$$L = \lambda_{\text{э}} \cdot h,$$

$$L = 1 \cdot 7 = 7 \text{ м}.$$

Находим число рядов  $m$ , и количество светильников в ряду  $n$  по следующим выражениям:

$$m = \frac{B - 2 \cdot l_B}{L} + 1$$

$$n = \frac{A - 2 \cdot l_A}{L} + 1.$$

$$m = \frac{B - 2 \cdot l_B}{L} + 1 = \frac{20 - 2 \cdot 3,5}{7} + 1 = 2,86 = 3$$

$$n = \frac{A-2 \cdot l_A}{L} + 1 = \frac{24-2 \cdot 3,5}{7} + 1 = 3,43 = 3.$$

Полученные результаты округляем до ближайшего целого числа, после чего пересчитываем реальные расстояния:

$$L_B = \frac{B-2 \cdot l_B}{m-1}$$

$$L_A = \frac{A-2 \cdot l}{n-1}$$

(5.6)

$$L_B = \frac{20-2 \cdot 3,5}{3-1} = 6,5 \text{ м}$$

$$L_A = \frac{24-2 \cdot 3,5}{3-1} = 8,5 \text{ м.}$$

Определяем общее число светильников:

$$N = n \cdot m,$$

(5.8)

$$N = 3 \cdot 3 = 9.$$

Произведем аналогичный расчет по остальным помещениям ремонтно-механического корпуса, результаты занесем в таблицу 11.

Расположение светильников в корпусе показано на рисунке 6.

Таблица 13 – Данные о расположении светильников в помещениях корпуса

Помещение	A	B	H	L	n	m	$l_A$	$l_B$	$L_A$	$L_B$	$L_A/L_B$	N
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Станочное отделение 1	24	20	9	7	3	3	3,5	3,5	8,7	6,5	1,31	9
Станочное отделение 2	28	18	9	7	4	3	3,5	3,5	7	5,5	1,27	12
Сварочное отделение	8	8	9	6,3	2	2	2	2	4	4	1	4
Коридор	6	4	9	3,5	2	2	1,8	1,05	2,5	1,9	1,32	4
Склад	8	8	9	7	2	2	2,1	2,1	3,8	3,8	1	4
Вентиляционная	8	4	9	6,3	2	1	2	2	4	-	-	2
Инструментальная	6	4	9	6,3	1	1	3	2	-	-	-	1
Бытовка 1	8	4	9	6,3	2	1	2	2	4	-	-	2
Бытовка 2	6	4	9	6,3	2	1	2	3	-	-	-	1
Бытовка 3	8	6	9	6,3	1	1	3	2	4	-	-	2
Административное помещение	8	6	9	6,3	2	1	2	3	4	-	-	2

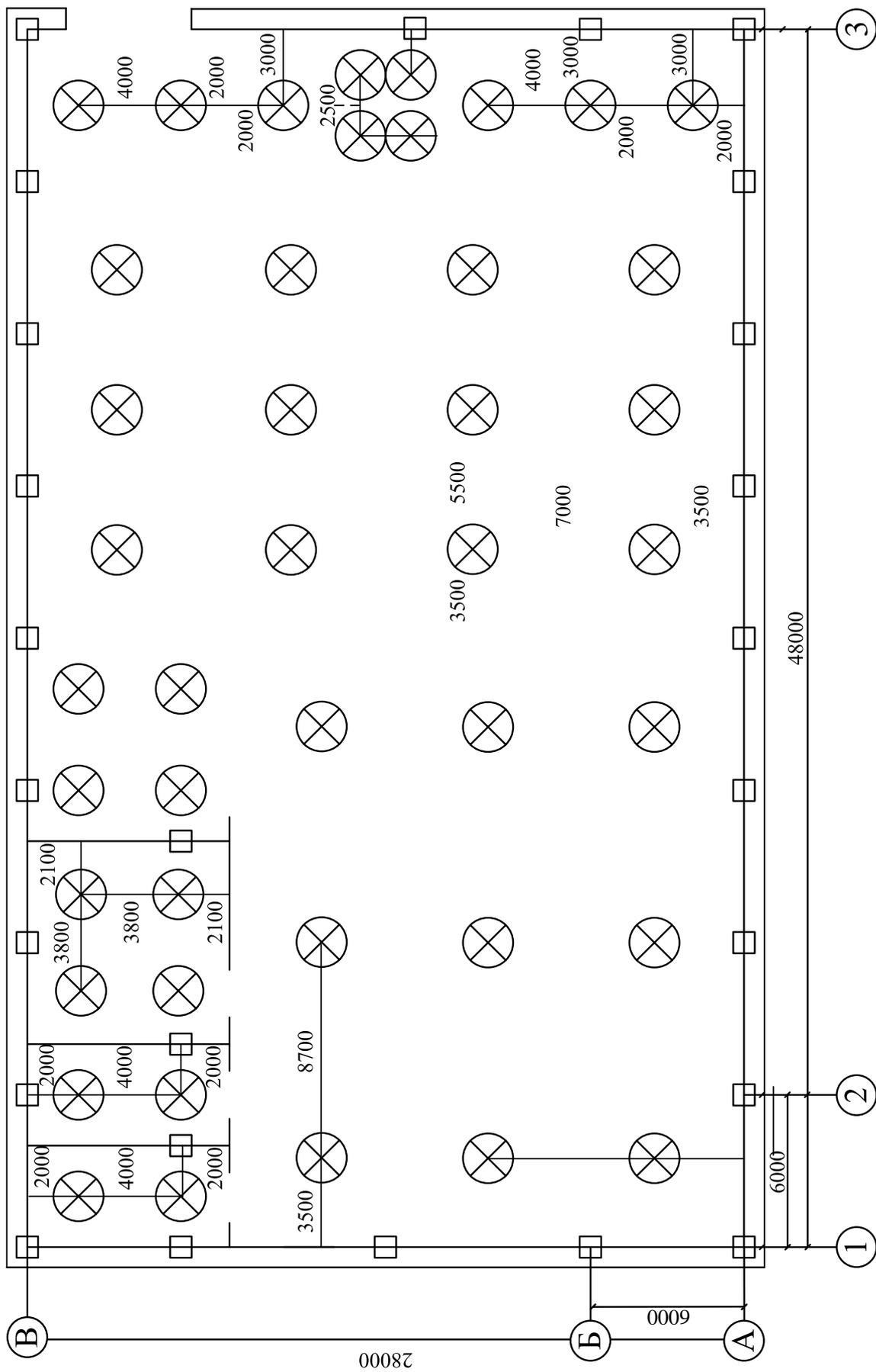


Рисунок 6 – Расположение ламп в корпусе

$$\Phi = \frac{E_H K_{\text{зап}} \cdot F \cdot Z}{N \cdot \eta}$$

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A+B)} = 1,56$$

$$i = \frac{24 \cdot 20}{7 \cdot (24+20)} = 1,56$$

Для определяем коэффициенты отражения потолка, стен и пола по  $P_{\text{п}} = 50\%$ ,  $P_{\text{с}} = 30\%$ ,  $P_{\text{р}} = 10\%$ .

Световой поток от одного светильника, необходимый для создания нормы освещенности:

$$\Phi = \frac{E_H \cdot K_{\text{зап}} \cdot A \cdot B \cdot z}{\eta \cdot N} = \frac{400 \cdot 1,4 \cdot 24 \cdot 20 \cdot 1,15}{0,78 \cdot 9} = 44034 \text{ лм.}$$

Отклонение фактического светового потока от расчетного должно находиться в пределах для ламп РСП18 (-10 ÷ +20%).

$$\Delta\Phi_{\%} = \frac{\Phi_{\text{л}} - \Phi}{\Phi} \cdot 100\% = \frac{41000 - 44034}{44034} \cdot 100\% = -6,89\%.$$

Отклонение фактического светового потока составляет -6,89%.

Фактический световой поток, создаваемый принятым количеством светильников:

$$\Phi_{\text{ф}} = N * N_{\text{л}} * \Phi_{\text{л}},$$

$$\Phi_{\text{ф}} = 9 * 1 * 41000 = 369000 \text{ (лм)}.$$

Производим аналогичный расчет по всем остальным помещениям ремонтно-механического корпуса, полученные результаты заносим в таблицу

Таблица 14 – Расчет рабочего освещения

Помещение	$E_n$	$K_{зап}$	$i$	$Z$	$\eta$	$\Phi_{л}$	$\Delta\Phi\%$	Тип лампы	Мощность, Вт
Станочное отделение 1	400	1,4	1,56	1,15	0,78	41000	-6,89%	ДСП400(10)-3	400
Станочное отделение 2	400	1,4	1,57	1,15	0,78	40600	17,08%	ДСП 400(6)-3	400
Сварочное отделение	400	1,4	0,57	1,15	0,48	23500	9,47%	ДСП 200(6)-4	400
Коридор	400	1,4	0,34	1,15	0,6	6300	-2,17%	ДСП 125(15)	125
Склад	150	1,4	0,57	1,15	0,55	8400	19,6%	Г220-230-500	500
Вентиляционная	150	1,4	0,38	1,15	0,44	8400	-4,35%	Г220-230-500	500
Инструментальная	150	1,4	0,34	1,15	0,41	13100	-7,33%	Г220-230-750	700
Бытовка 1	400	1,4	0,38	1,15	0,44	23500	0,35%	ДСП200(6)-4	200
Бытовка 3	400	1,4	0,49	1,15	0,4	40600	5,07%	ДСП400(6)-3	200
Бытовка 2	400	1,4	0,34	1,15	0,41	40600	7,70%	ДСП400(6)-3	400
Административное помещение	400	1,4	0,49	1,15	0,4	40600	5,07%	ДСП400(6)-3	400

Аварийное освещение необходимо в производственных помещениях с постоянно работающими в них людьми, где выход в темноте опасен из-за продолжения работы оборудования.

Расчет аварийного освещения производим по аналогии с расчетом рабочего освещения.

Для аварийного освещения применяются энергосберегающие лампы.

Произведем аналогичный расчет по остальным помещениям ремонтно-механического корпуса, результаты занесем в таблицу 15.

Размещение светильников аварийного освещения представлено на рисунке 7.

Таблица 15 – Данные о расположении светильников аварийного освещения в помещениях корпуса

Помещение	A	B	H	$\lambda_3$	L	n	m	$l_A$	$l_B$	$L_A$	$L_B$	$L_A/L_B$	N
Станочное отделение 1	24	20	9	1,4	9,8	3	3	3	3	9	7	1,29	9
Станочное отделение 2	28	18	9	1,4	9,8	3	2	4,5	4,5	9,5	9	1,06	6
Сварочное отделение	8	8	9	1,4	9,8	1	1	4	4	-	-	-	1
Коридор	6	4	9	1,4	9,8	1	1	3	2	-	-	-	1
Склад	8	8	9	1,4	9,8	1	1	4	4	-	-	-	1
Вентиляционная	8	4	9	1,4	9,8	1	1	4	2	-	-	-	1
Инструментальная	6	4	9	1,4	9,8	1	1	3	2	-	-	-	1
Бытовка 1	8	4	9	1,4	9,8	1	1	4	2	-	-	-	1
Бытовка 3	8	6	9	1,4	9,8	1	1	4	3	-	-	-	1
Бытовка 2	6	4	9	1,4	9,8	1	1	3	2	-	-	-	1
Административное помещение	8	6	9	1,4	9,8	1	1	4	3	-	-	-	1

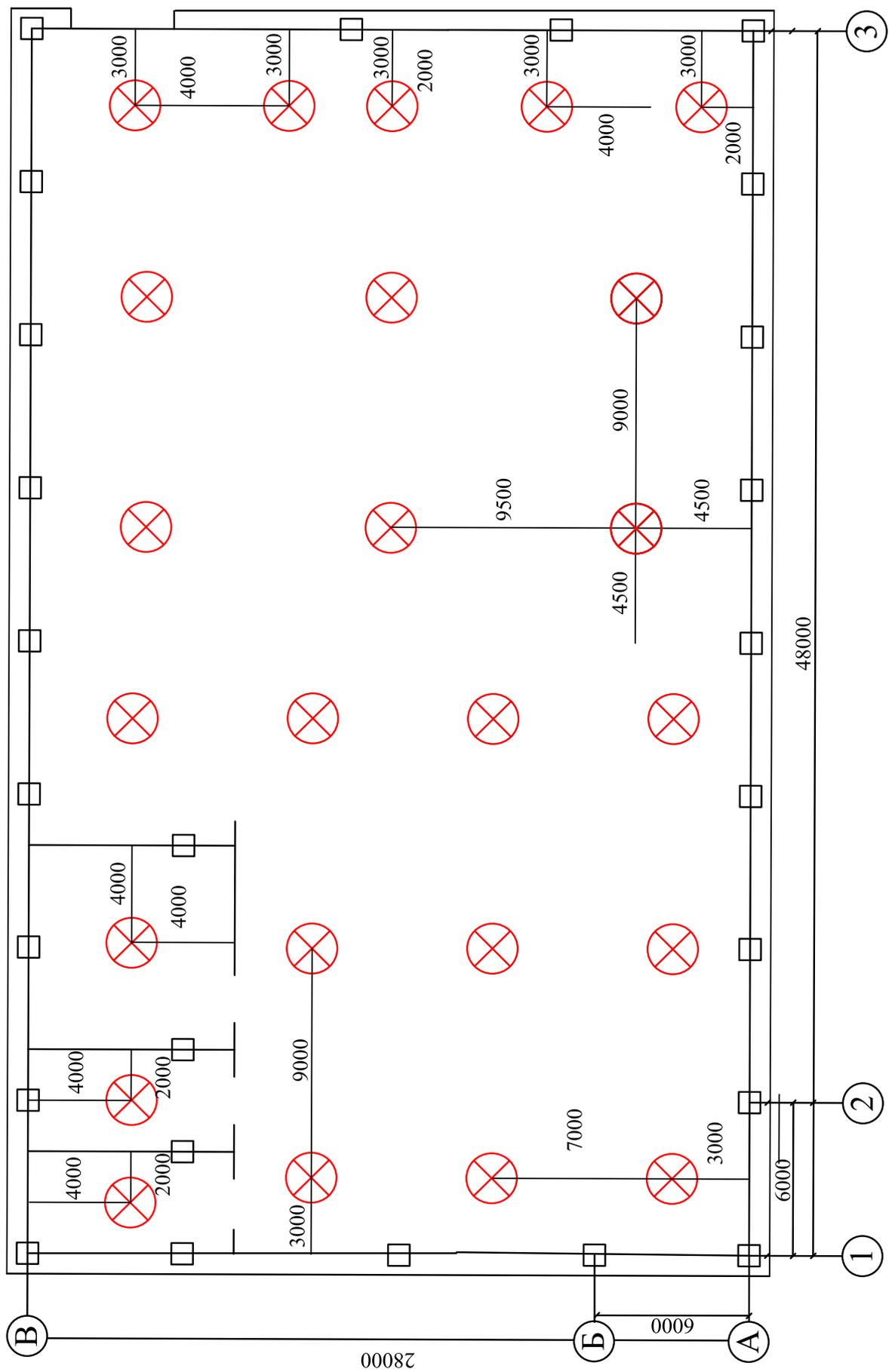


Рисунок 7 – Расположение ламп аварийного освещения

Индекс помещения:

$$i = \frac{A * B}{h * (A + B)} = \frac{24 * 20}{7 * (24 + 20)} = 1,6.$$

Тогда коэффициент использования светового потока:

$$\eta = 0,53.$$

Коэффициенты отражения поверхностей помещения: потолка  $\rho_{\text{п}} = 50\%$ ; стен  $\rho_{\text{с}} = 30\%$ ; пола  $\rho_{\text{р}} = 10\%$ .

Аварийная норма освещенности для корпуса принимается:

$$E_{\text{э}} = 0,05 * E_{\text{н}} = 0,05 * 400 = 20 \text{ (лк)}.$$

Световой поток от одного светильника, необходимый для создания нормы освещенности:

$$\Phi = \frac{20 * 1,4 * 24 * 20 * 1,15}{9 * 0,53} = 3240 \text{ (лм)}.$$

По  $\Phi$  подбираем лампу накаливания Б215-225-200 мощностью 200 Вт со световым потоком  $\Phi_{\text{л}} = 3150 \text{ (лм)}$ .

Отклонение светового потока:

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_{\text{л}} - \Phi}{\Phi} * 100\% = \frac{3150 - 3240}{3240} * 100\% = -2,8\%.$$

Различие между  $\Phi_{\text{л}}$  и  $\Phi$   $-2,8\%$ , что допустимо.

Производим аналогичный расчет по всем остальным помещениям, полученные результаты заносим в таблицу 16.

Таблица 16. – Расчет аварийного освещения

Помещение	$E_{\text{н}}$	$K_{\text{зап}}$	$i$	$Z$	$\eta$	$\Phi_{\text{л}}$	$\Delta\Phi\%$	Тип лампы	Мощность, Вт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Станочное отделение 1	20	1,4	1,56	1,15	0,53	3150	-2,79%	Б215-225-200	200
Станочное отделение 2	20	1,4	1,57	1,15	0,53	4850	-4,97%	Г220-230-300	300
Сварочное отделение	20	1,4	0,57	1,15	0,29	8300	16,80%	Г230-240-500	500
Коридор	20	1,4	0,34	1,15	0,24	3150	-2,17%	Г230-240-200	200
Склад	7,5	1,4	0,57	1,15	0,29	2950	10,70%	Г215-225-200	200

Вентиляционная	7,5	1,4	0,38	1,15	0,24	1500	-6,83%	БК215-225-100	100
----------------	-----	-----	------	------	------	------	--------	---------------	-----

Продолжение таблицы 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Инструментальная	7,5	1,4	0,34	1,15	0,23	1380	9,52%	Б215-225-100	100
Бытовка 1	20	1,4	0,38	1,15	0,24	4850	12,97%	Г215-225-300	300
Бытовка 3	20	1,4	0,49	1,15	0,29	4850	-9,00%	Г215-225-300	300
Бытовка 2	20	1,4	0,34	1,15	0,23	3150	-6,25%	Г230-240-200	200
Административное помещение	20	1,4	0,49	1,15	0,29	4850	-9,00%	Г215-225-300	700

### 1.10 Мощность осветительной нагрузки корпуса

Расчет мощности освещения производим методом коэффициента спроса.

Рассчитываем активную и реактивную и полную мощность для каждого помещения, результаты заносим в таблицу 17.

Таблица 17 – Мощность освещения корпуса

Наименование помещения	N	$P_{ном}$ , кВт	$K_c$	$K_{пра}$	$P_{осв}$ , кВт	$tg\varphi$	$Q_{осв}$ , квар	$S_{осв}$ , кВА
Станочное отделение 1	9	400	0,85	1,1	5,89	1,44	8,48	10,33
Станочное отделение 2	12	400	0,85	1,1	7,85	1,44	11,31	13,77
Сварочное отделение	4	200	0,85	1,1	1,49	1,44	2,16	2,62
Коридор	4	125	0,85	1,1	0,47	1,44	0,67	0,82
Склад	4	500	0,85	1	1,70	0	-	1,70
Вентиляционная	2	500	0,85	1	0,85	0	-	0,85
Инструментальная	1	400	0,85	1	0,59	0	-	0,60
Бытовка 1	2	200	0,85	1,1	0,75	1,44	1,08	1,31
Бытовка 2	2	400	0,85	1,1	1,30	1,44	1,88	2,29
Бытовка 3	1	400	0,85	1,1	0,65	1,44	0,95	1,15
Административное помещение	2	400	0,85	1,1	1,30	1,44	1,88	2,29
Итого					22,84		28,41	37,73

Мощность получилась маленькая, достаточно будет одного ЩО с

несколькими присоединениями.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом бакалаврской работы является система электроснабжения главного корпуса АО «Русал Саянал».

Данная работа содержит особенности электроснабжения объектов торговли, в том числе спортивных магазинов больших площадей и рассматривается общая характеристика здания и потребителей электроэнергии, с их параметрами, в том числе электрическими, такими как коэффициент мощности, номинальное напряжение, установленная мощность электроприемника, количество фаз.

В ходе выполнения работы был произведен светотехнический расчет системы освещения, ее электротехнический расчет, а также разбиение электроприемников на группы и расчет нагрузок силовых пунктов.

Основная часть содержит предлагаемый проект системы электроснабжения силовых, осветительных и других электроприемников в соответствии с новыми требованиями нормативной документации главного корпуса АО «Русал Саянал» выбор коммутационных аппаратов, кабельно-проводниковой продукции, силовых щитов.

С целью проверки отклонения напряжения на соответствие современным нормам производится проверка спроектированной сети электроснабжения магазина по допустимым потерям напряжения.

Немаловажным является и тот момент, как расчет токов короткого замыкания, а также проверка оборудования на устойчивость и чувствительность к токам КЗ. Все необходимые проверки подтвердили правильность сделанных расчетов, связанных с проектированием системы электроснабжения главного корпуса АО «Русал Саянал».

Значимость настоящей ВКР определяется возможностью применения полученных решений на практике, внедрении проекта электроснабжения силовых, осветительных и других электроприемников в соответствии с новыми требованиями нормативной документации на данном объекте и на объектах, близких по своей структуре и отраслевой принадлежности.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений ; дата введ. 01.07.2014. – М. : ООО "ВНИСИ", 2014. – 57 с. <https://docs.cntd.ru/document/1200105707>
2. Дипломное проектирование по специальности 140211.65 «Электроснабжение»: учеб. пособие / Л. Л. Латушкина, А. Д. Макаревич, А. С. Торопов, А. Н. Туликов ; Сиб. федер. ун-т, ХТИ – филиал СФУ. – Абакан : Ред.-изд. сектор ХТИ – филиала СФУ, 2012. – 232 с.
3. Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: Учебное пособие / Э.А. Киреева. - М.: КноРус, 2013. - 368 с.
4. Коробов, Г.В. Электроснабжение. Курсовое проектирование: Учебное пособие / Г.В. Коробов, В.В. Картавцев, Н.А. Черемисинова. - СПб.: Лань, 2011. - 192 с.
5. Козловская, В. Б. Электрическое освещение : справочник / В. Б. Козловская, В. Н. Радкевич, В. Н. Сацукевич. – Минск : Техноперспектива, 2007. – 253 с.
6. Конюхова, Е.А. Электроснабжение объектов: Учебное пособие для среднего профессионального образования / Е.А. Конюхова. - М.: ИЦ Академия, 2013. – 320 с.
7. Кудрин, Б.И. Электроснабжение: Учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / Б.И. Кудрин. - М.: ИЦ Академия, 2012. - 352 с.
8. Мукаев, А. И. Управление энергосбережением и повышение энергетической эффективности в организациях и учреждениях бюджетной сферы : Практическое пособие / А.И. Мукаев – Фаменское: ИПК ТЭК, 2011. – 212 с.
9. НТП ЭПП-94. Нормы технологического проектирования. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий. М.: АО ОТК ЗВНИ ПКИ Тяжпромэлектропроект, 1994 (1-я редакция). – 78 с.

<http://gostrf.com/normativ/1/4294847/4294847066.htm>

10. Пособие к «Указаниям по расчету электрических нагрузок». - М.: Всероссийский научно-исследовательский, проектно-конструкторский институт Тяжпромэлектропроект, 1993 (2-я редакция). – 86 с.

11. Правила устройства электроустановок. - 7-е издание. - СПб.: Издательство ДЕАН, 2013. – 701 с.

12. РД 153-34.0-20.527-98 Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования; дата введ. 23.03.1998. – М.: Издательство МЭИ, 2013. – 131 с.

13. РТМ 36.18.32.4-92. Указания по расчету электрических нагрузок; дата введ. 01.01.1993. – М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 2007. – 27 с.  
[https://ohranatruda.ru/ot\\_biblio/norma/250011/](https://ohranatruda.ru/ot_biblio/norma/250011/)

14. СП 256.1325800.2016 Проектирование и монтаж электроустановок жилых и общественных зданий; дата введ. 01.01.2004. – М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 2011. – 65 с. <https://docs.cntd.ru/document/1200139957>

15. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*; дата введ. 08.05.2017. – М.: НИИСФ РААСН, 2016. – 116 с. <https://docs.cntd.ru/document/456054197>

16. СП 76.13330.2016 Электротехнические устройства. Актуализированная редакция СНиП 3.05.06-85.

<https://docs.cntd.ru/document/456050591>

17. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: В 2 т. т. 2. Электрооборудование / Под общ. ред. А. А. Федорова. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 602 с.

18. Справочник электрика / Под ред. Э. А. Киреевой и С. А. Цырука. – М.: Колос, 2007. – 464 с.

19. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение: Учебное пособие / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. - М.: РадиоСофт, 2013. – 328 с.

20. Филатов, И.В. Электроснабжение осветительных установок: учебное пособие / И. В. Филатов, Е. В. Гурнина. Издательство московского

государственного открытого университета. – М. 2009. – 321 с.

21. Хромченко, Г. Е. Проектирование кабельных сетей и проводок / Г. Е. Хромченко, П.И. Анастасиев, Е.З. Бранзбург, А.В. Коляда. - М.: Энергия, 2010. – 397 с.

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

23. Электротехнический справочник : в 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В. Г. Герасимова и др. (гл. ред. А. И. Попов). – 12-е изд., стер. – М. : Издательство МЭИ, 2012. – 966 с.

24. Электротехнический справочник : в 4 т. Т. 4. Использование электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В. Г. Герасимова и др. (гл. ред. А. И. Попов). – 11-е изд., стер. – М. : Издательство МЭИ, 2014. – 704 с.

25. Электротехнический справочник: в 3-х т. Т. 2. Электротехнические устройства/Под. общ. ред. Проф. МЭИ В. Г. Герасимова, П. Г. Грудинского, Л. А. Жукова и др. – 8-е изд., испр. и доп. – М.: Энергоиздат, 2011. – 658 с.: ил.

26. Прайс ЗАО «Электрум» [Электронный ресурс] режим доступа:  
<http://zao-elektrum.ru>.

27. Прайс ЗАО «Электрум» [Электронный ресурс] режим доступа:  
<http://www.bemz-1.ru>.

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО  
«Сибирский федеральный университет»  
институт

«Электроэнергетика»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

Коловский А.В.  
подпись      инициалы, фамилия

« 28 » июля 20\_\_ г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
код – наименование направления

Электроснабжение главного корпуса АО «Русал Саянал»

тема

Руководитель Е.В. Платонова доцент, к.т.н.  
подпись, дата      должность, ученая степень

Е.В. Платонова  
инициалы, фамилия

Выпускник 28.06.22  
подпись, дата

К.П. Черенцов  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер И.А. Кычакова  
подпись, дата

И.А. Кычакова  
инициалы, фамилия

Абакан 2022