

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  
\_\_\_\_\_ Г.Н.Чистяков  
подпись      инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019г.

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
(код и наименование специальности)

Электроснабжение бокса ТО Белазов «Разрез «Черногорский»  
(наименование темы)

Руководитель _____ подпись,      дата	<u>доцент каф. ЭЭ,к.э.н</u> должность, ученая степень	<u>А.В.Коловский</u> инициалы , фамилия
Выпускник _____ подпись      дата		<u>Д.А.Носырев</u> инициалы , фамилия
Нормоконтролер _____ подпись, дата		<u>И.А.Кычакова</u> инициалы, фамилия

Абакан 2019

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Электроснабжение бокса ТО Бедазов» содержит 54 страницы текстового документа, 7 рисунков, 15 таблицы, 25 использованных источников, 3 листа графического материала.

Проектирование системы электроснабжения любого объекта – это не простой и ответственный процесс, выполнение которого должно быть технически верно и качественно.

Объект проектирования – система электроснабжения бокса ТО Бедазов участка ГТЦ, на территории предприятия ООО «СУЭК–Хакасия» – «Разрез Черногорский». Основной целью данной бакалаврской работы является схема электроснабжения, которая будет обеспечивать электрической энергией надлежащего качества и соответствовать дальнейшему росту энергопотребления.

В процессе проектирования были рассчитаны электрические нагрузки бокса. После чего была спроектирована схема электроснабжения. Для схемы были выбраны и рассчитаны автоматические выключатели и сечения проводов.

В результате проверки коммутационно-защитных аппаратов было выявлено, что выбор коммутационно-защитных аппаратов сделан верно.

## ABSTRACT

Graduation qualification work on the topic «Power supply of the work shop for the inspection of Belez» contains 54 pages of a text document, 7 figures, 15 tables, 25 used sources, 3 sheets of graphic material.

Designing the power supply system of any object is not a simple and responsible process, the implementation of which should be technically correct and of high quality.

The object of study is the workshop for technical inspection of BelAZ. The main purpose of this bachelor's work is the power supply scheme, which will provide the electric power of proper quality and correspond to the further growth of energy consumption.

The main task is to develop a power supply scheme that will meet the modern requirements of efficiency, reliability and safety of working personnel and the environment.

During the design process, the electrical loads of the box were calculated. Then the power supply circuit was designed. Circuit breakers and wire cross-sections were selected and calculated for the circuit.

As a result of checking the switching protection devices, it was revealed that the choice of switching protection devices was made correctly.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 Теоретическая часть	8
1.1 Нормативные требования к электроснабжению промышленных предприятий и цехов.....	8
1.2 Характеристика объекта электроснабжения.....	10
1.3 Анализ сети 6 кВ ГТЦ и предварительный выбор источника питания стоящегося бокса.....	10
1.4 Обзор методик расчета электрических нагрузок.....	11
2 Аналитическая часть.....	13
2.1 Светотехнический расчет системы освещения.....	13
2.2 Разбиение электроприемников на группы и расчет нагрузок по силовым пунктам.....	20
2.3 Электротехнический расчет системы освещения.....	25
2.4 Расчет нагрузки по ВРУ.....	32
3 Практическая часть. Проектирование электроснабжения.....	33
3.1 Выбор трансформаторной подстанции 6/0,4 и проектирование схемы внешнего электроснабжения бокса ТО Белазов.....	33
3.2 Выбор коммутационных аппаратов.....	34
3.3 Выбор кабельно-проводниковой продукции.....	37
3.4 Выбор силовых пунктов и прочих электрических устройств.....	38
3.5 Проверка по допустимым потерям напряжения в силовой и осветительных сетях.....	39
3.6 Расчет токов короткого замыкания. Проверка оборудования.....	41
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	51
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	52

## ВВЕДЕНИЕ

Передача, распределение и потребление электроэнергии на промышленных предприятиях должны осуществляться с высокими показателями экономии, надежности и требуемым качеством электроэнергии.

В цеховых электрических сетях используется в качестве проводника кабельные линии для подключения электрической аппаратуры, поэтому выбор источника питания определяется из-за качества и особенности работы электрооборудования. При этом влияние, подключаемого цеха, не должно оказывать негативного воздействия на технико-экономические показатели всей системы электроснабжения.

При проектировании системы электроснабжения промышленного объекта, имеются определенные факторы которые оказывают влияние на выбор и внедрение новых силовых трансформаторов и другого современного оборудования, качество электроэнергии, определение компенсации реактивной мощности, внедрение автоматизации учета расхода электроэнергии, рассматриваемых с единых позиций, что обращает внимание проектировщиков на выбор одного из рассматриваемых технических решений, которые могут быть рассмотрены только в процессе творческой работы.

Цель данной бакалаврской работы – спроектировать систему электроснабжения строящегося бокса ТО Белазов участка ГТЦ, на территории предприятия ООО «СУЭК–Хакасия» – «Разрез Черногорский». Данная система электроснабжения должна соответствовать самым современным требованиям к системам, таким как надежность, экономичность, безопасность для человека и окружающей среды.

## **1 Теоретическая часть.**

### **1.1 Нормативные требования к электроснабжению промышленных предприятий и цехов**

Система электроснабжения производственных площадок должно соответствовать следующим критериям:

- отсутствие перегрузок;
- обеспечение бесперебойного производственного процесса;
- безопасность.

При учете, выше упомянутых факторов на этапе проектирования системы, повышаются возможности расширения производства, применение новых технологий, внедрения инновационного оборудования.

При проектировании необходимо помнить, что различные производственные помещения имеют несколько классов опасности. Бывают помещения со взрыво- и пожароопасными зонами, с химически активной или органической средой. Выделяют также сухие, влажные, сырые, жаркие, пыльные помещения. Рекомендации по степени защиты электрооборудования в зависимости от среды приводятся в Правилах устройства электроустановок (ПУЭ). При учете, выше упомянутых факторов на этапе проектирования системы, повышаются возможности расширения

К основным элементам электроснабжения относятся:

- источник питания;
- линии электропередачи от источника питания к предприятию;
- ГПП предприятия;
- распределительные сети;
- приемники (потребители электроэнергии).

На промышленных предприятиях источник питания представляет собой

электрическую станцию центральной системы электроснабжения или собственную станцию предприятия (ГПП). Собственная ГПП необходима при большом потреблении энергии, при наличии специальных требований к надежности системы электроснабжения, при удалённости предприятия от энергосистем.

Нормативные требования к источникам питания:

- в промышленных организациях с электроприемниками I и II категории должно быть два и более независимых взаимно резервируемых источника питания;
- для электроприемников особой I категории должен быть предусмотрен третий независимый источник питания;
- питание энергоемких предприятий от сетей энергосистемы следует осуществлять напряжением 110 или 220 кВ;
- распределительная сеть промышленных предприятий должна работать на напряжении 10 кВ, в некоторых случаях 6 кВ, энергоемких 110 кВ.

Требования к электроснабжению различных типов объектов обширны и регулируются общим числом нормативных актов. В части электроснабжения промышленных предприятий можно выделить следующие документы:

- Правила устройства электроустановок (ПУЭ) — группа нормативных документов, которая не является документом в области стандартизации.
- НТП ЭПП-94. Нормы технологического проектирования. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий.
- СН 357-77. Инструкция по проектированию силового и осветительного электрооборудования промышленных предприятий.
- СНиП 3.05.06-85. Электротехнические устройства.
- ГОСТ 30852.0-2002 (МЭК 60079-0:1998). Межгосударственный стандарт. Электрооборудование взрывозащищенное. Часть 0. Общие требования НТП ЭПП 94. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий.

## **1.2 Характеристика объекта электроснабжения**

Цех по техническому осмотру карьерных самосвалов относится к вспомогательному цеху. Он оборудован электроприемниками суммарной мощность – кВт.

Размеры полезной площади цеха  $A \times B \times H = 49,2 \times 27,5 \times 15$ . Площадь цеха составляет 1353 м<sup>2</sup>. Расстояние от цеха до трансформаторной подстанции составляет  $L = 35$  м. Общее количество электроприемников цеха 35 штук, из них 19 трехфазных. По режиму работы электроприемники разделяются на две группы: работающие в длительном режиме и повторно-кратковременном. Цех работает в 2 смены.

Электроприемники относятся к 3 категории электроснабжения, перерыв в электроснабжении которых не приводит к значительному ущербу предприятия, массовому браку продукции, расстройству сложного технологического процесса, массовому недоотпуску продукции, простоям рабочих мест, механизмов и промышленного транспорта.

Среда в цехе нормальная, помещение сухое, температура не превышает +30°С, наличие вредных веществ, находящихся в воздухе соответствует нормам ПДК, отсутствует технологическая пыль, газы и пары, способные нарушить нормальную работу оборудования.

По пожароопасности помещение цеха относится к классу П-Па – не пожароопасное; по взрывоопасности к классу В-Па – не взрывоопасное. По степени доступности – общедоступное.

## **1.3 Анализ сети 6 кВ ГТЦ и предварительный выбор источника питания бокса**

На территории разреза внутренние распределительные сети выполнены



воздушной линией напряжением 6 кВ. Для подключения потребителей на территории расставлены трансформаторные подстанции различной мощности напряжением 6/0,4 кВ.

Вблизи строящегося бокса ТО Белазов имеются две трансформаторные подстанции ТП-4, ТП-5 мощностью 250 и 630 кВА, расположенные на одинаковом расстоянии от цеха. К ТП-4 подключены стояночный бокс и здание столовой, к ТП-5 подключены диспетчерская ГТЦ и ремонтный бокс. Так как по основным показателям подстанции являются равнозначными, но ТП-5 имеет наименьшую загрузку, а, следовательно, и больший запас по мощности, поэтому в ее выбираем в качестве источника питания.

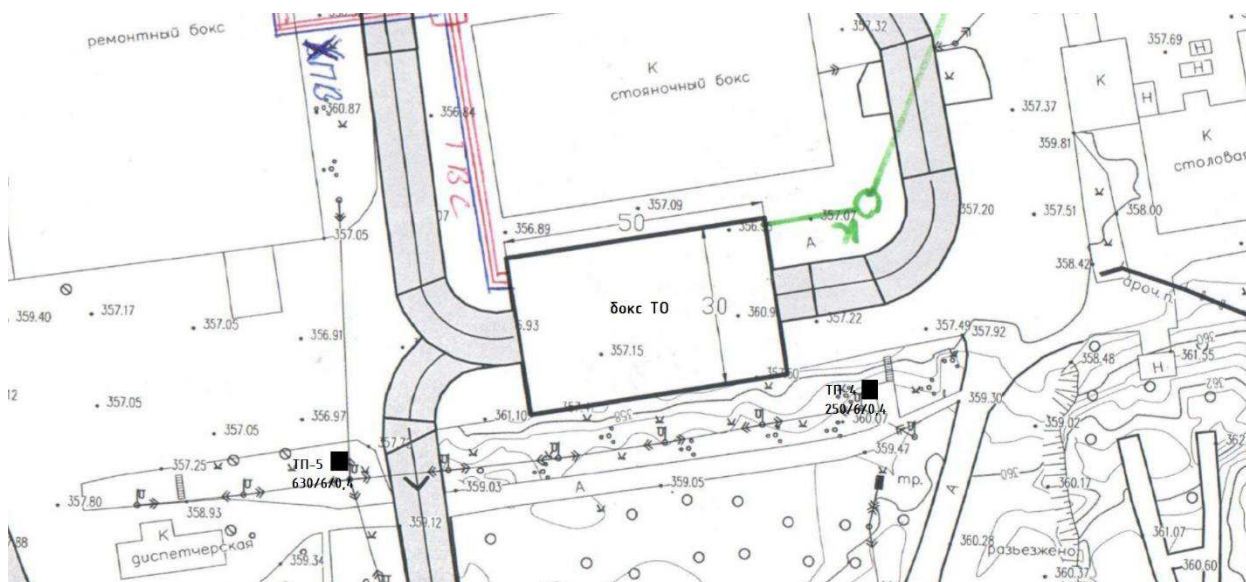


Рисунок 1.1 – Схема расположения объектов на территории

#### 1.4 Обзор методик расчета электрических нагрузок.

Теория расчета электрических нагрузок, основы которой сформировалась в 1930е годы, ставила целью определить набор формул, дающих однозначное решение при заданных электроприемниках и графиках электрических нагрузок. В целом практика показала ограниченность подхода «снизу вверх», опирающегося на исходные данные по отдельным электроприемникам и их

группам. Эта теория сохраняет значение при расчете режимов работы небольшого числа электроприемников с известными данными, при сложении ограниченного числа графиков, при расчетах для 2УР.

Теория расчета электрических нагрузок все в большей степени придерживается неформализованных методов, в частности, комплексного метода расчета электрических нагрузок, элементы которого вошли в «Указания по расчету электрических нагрузок систем электроснабжения» (РТМ 36.18.32.0289). Далее рассмотрим эти методы.

Метод коэффициента спроса прост и широко распространен. Основа метода заключается в использовании одинакового коэффициента спроса для электроприемников одной группы (работающих в одном режиме) не зависимо от числа и мощности отдельных приемников. Математический смысл метода показан в выражении  $P_p = P_{max} = K_C \cdot P_y$ ;  $Q_{max} = P_{max} \cdot tg\varphi$ . Максимальная активная мощность приемника будет равна произведению коэффициента спроса на установленную мощность, а реактивная произведением максимальной активной мощности на тангенс приемника.

Метод «Максимальная мощность» в реальных условиях продолжительная работа потребителя не означает постоянство нагрузки в точке ее присоединения на более высоком уровне системы электроснабжения. Как статистическая величина Луд, определяемая для какого-то ранее выделенного объекта по электропотреблению  $A$  и объему  $L$ , есть некоторое усреднение на известном, чаще месячном или годовом, интервале.

Метод удельных плотностей нагрузок близок к предыдущему. Задается удельная мощность (плотность нагрузки)  $y$  и определяется площадь здания сооружения или участка, отделения, цеха (например, для машиностроительных и металлообрабатывающих цехов  $y = 0,12...0,25$  кВт/м<sup>2</sup>; для кислородноконвертерных цехов  $y = 0,16...0,32$  кВт/м<sup>2</sup>). Нагрузка, превышающая 0,4 кВт/м<sup>2</sup>, возможна для некоторых участков, в частности, для тех, где имеются единичные электроприемники единичной мощности 1,0...30,0 МВт.

Метод технологического графика опирается на график работы агрегата,

линии или группы машин. Например, график работы дуговой сталеплавильной печи конкретизируется: указывается время расплавления (27...50 мин), время окисления (20...80 мин), число плавов, технологическая увязка с работой других сталеплавильных агрегатов. График позволяет определить общий расход электроэнергии за плавку, среднюю за цикл (с учетом времени до начала следующей плавки), и максимальную нагрузку для расчета питающей сети.

Метод упорядоченных диаграмм применялся для всех уровней наружки системы электроснабжения и на всех стадиях проектировании, но трансформировался в расчет нагрузок по коэффициенту расчетной активной мощности. При наличии данных о числе электроприемников, их мощности, режимах работы его рекомендуют применять для расчета элементов системы электроснабжения 2УР, 3УР (провод, кабель, шинопровод, низковольтная аппаратура), питающих силовую нагрузку напряжением до 1 кВ (упрощенно для эффективного числа приемников всего цеха, т.е. для сети напряжением 6 – 10 кВ 4УР). Различие метода упорядоченных диаграмм и расчета по коэффициенту расчетной активной мощности заключается в замене коэффициента максимума, всегда понимаемого однозначно как отношение  $P_{\max}/P_{\text{ср}}$ , коэффициентом расчетной активной мощности  $A_p$ .

## **2 Аналитическая часть.**

### **2.1 Светотехнический расчет системы освещения.**

Основное требование при выборе расположения светильников заключается в доступности при их обслуживании. Кроме того, размещение светильников определяется условие экономичности. Важное значение имеет отношение расстояния между светильниками или рядами светильников к расчетной высоте  $\lambda=L/h$ , уменьшение его приводит к удорожанию осветительной установки и усложнению ее обслуживания, а чрезмерное увеличение приводит к резкой неравномерности освещения и к возрастанию расходов энергии.

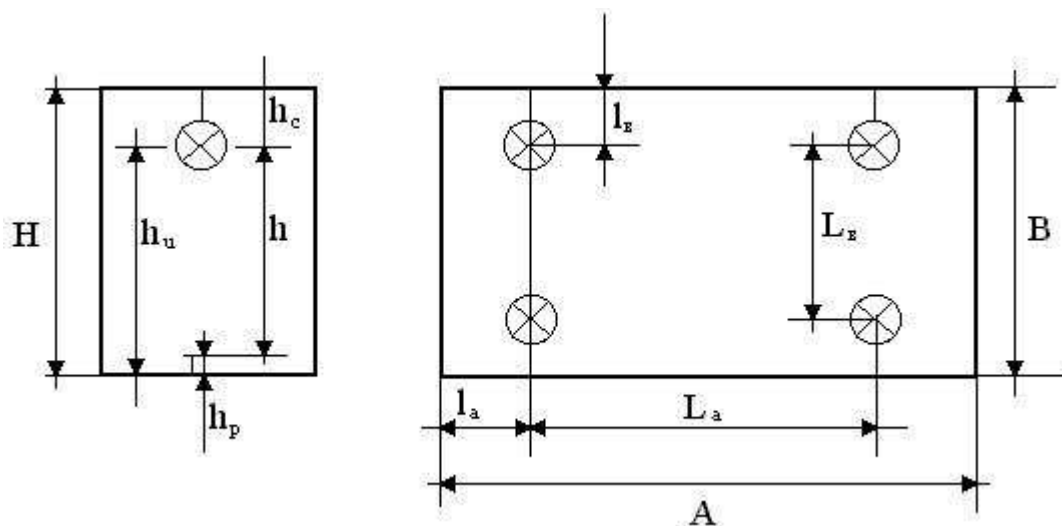


Рисунок 2.1 – Размещение светильников в цехе

Где:  $h_c$  – высота подвески светильников, м;  $h_p$  – высота рабочей поверхности, м;  $h_u$  – высота подвеса светильников над полом, м;  $h$  – расчетная высота, м;  $H$  – высота здания, м;  $l_a$  – расстояние от стенки до светильников в поперечной оси, м;  $l_b$  – расстояние от стенки до светильников в продольной оси, м;  $L_a$  – расстояние между светильниками в продольной оси, м;  $L_b$  – расстояние между светильниками в поперечной оси, м;  $A$  – длина помещения, м;  $B$  – ширина помещения, м

Для рабочего, а также эвакуационного освещения применим светодиодные светильники.

Размеры помещения цеха без учета стен  $A \times B \times H = 49,2 \times 27,5 \times 15$  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 (расчётная высота):

$$h = H - h_c - h_p, \quad (2.1)$$

$$h = 15 - 1,2 - 0,8 = 13 \text{ м.}$$

$\lambda_3 = L / h$  – расстояние между светильниками к расчётной высоте. Принимаем  $\lambda_3 = 1$  для светодиодных светильников.

$$L_A = \lambda_3 \cdot h, \quad (2.2)$$

$$L_A = 1 \cdot 13 = 13 \text{ м.}$$

Количество светильников в ряду:

$$n = \frac{A}{L_A}, \quad (2.3)$$

$$n = \frac{A}{L_A} = \frac{49,2}{13} = 3,7 = 4.$$

Определим расстояние от стены до светильника:

$$l_A = \frac{A - L_A(n-1)}{2}, \quad (2.4)$$

$$l_A = \frac{A - L_A(n-1)}{2} = \frac{49,2 - 13(4-1)}{2} = 5 \text{ м.}$$

Принимаем число рядов  $m = 3$ , тогда расстояние между рядами будет равно:

$$L_B = \frac{B}{m}, \quad (2.5)$$

$$L_B = \frac{27,5}{3} = 9,1 = 9 \text{ м.}$$

Расстояние от крайнего ряда до стены:

$$l_B = \frac{B - L_B(m-1)}{2}, \quad (2.6)$$

$$l_B = \frac{27,5 - 9(3-1)}{2} = 4,75 \text{ м.}$$

Вычисляем общее количество светильников в цеху:

$$N = n \cdot m, \quad (2.7)$$

$$N = 4 \cdot 3 = 12.$$

Проверим выполнение условия:

$$L_A/L_B < 1,5, \quad (5.8)$$

$$13/9 = 1,44 < 1,5.$$

где 1,5 – это рекомендованное число, за которое не должно выходить отношение  $L_A/L_B$ .

Расчет освещения выполним методом коэффициента использования светового потока. При расчете по этому методу световой поток ламп в каждом светильнике, необходимый для создания заданной минимальной освещенности, определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_n K_{\text{зап}} \cdot F \cdot Z}{N \cdot \eta}, \quad (2.8)$$

где  $E_n$  – номинальная освещенность, Лк;

$K_{\text{зап}}$  – коэффициент запаса;

$F$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>;

$Z$  – отношение средней освещенности к минимальной;

$N$  – число светильников;

$\eta$  – коэффициент использования светового потока источника света.

Для определения коэффициента использования найдем индекс помещения  $i$  и предположительно оценим коэффициенты отражения поверхностей помещения: потолка –  $P_{\text{п}} = 50\%$ ,  $P_{\text{с}} = 30\%$ ,  $P_{\text{р}} = 10\%$ .

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A+B)} = \frac{49,2 \cdot 27,5}{13 \cdot (49,2+27,5)} = 1,48.$$

Для цеховых помещений определяем коэффициенты отражения потолка, стен и пола по [10, стр.126, табл. 5-1] –  $P_{\text{п}} = 50\%$ ,  $P_{\text{с}} = 30\%$ ,  $P_{\text{р}} = 10\%$ .

Используя найденные значения коэффициентов отражения поверхностей и вычисленный индекс помещения по [10. стр. 134, табл. 5-9] определяем  $\eta$  – коэффициент использования светового потока источника света.

Определим норму освещенности по табл. 4-4 [10. стр.104]. Для части цеха в котором производятся основные работы принимаем норму освещенности  $E_{\text{н}} = 200$  лк.

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

$$\Phi = \frac{E_{\text{н}} \cdot K_{\text{зап}} \cdot A \cdot B \cdot z}{\eta \cdot N} = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 49,2 \cdot 27,5 \cdot 1,15}{0,72 \cdot 12} = 54026 \text{ лм.}$$

где  $z = 1,15$  – коэффициент минимальной освещенности,

$K_{\text{зап}} = 1,5$  – коэффициент запаса.

По  $\Phi$  подбираем светодиодный светильник мощностью 480 Вт со световым потоком  $\Phi_{\text{л}} = 55200$  (лм).

По значению  $\Phi$  светодиодный светильник так, чтобы ее поток отличался от расчетного значения  $\Phi$  на  $[-10 \div +20\%]$ .

$$\Delta\Phi_{\%} = \frac{\Phi_{л} - \Phi}{\Phi} \cdot 100\% = \frac{55200 - 54026}{54026} \cdot 100\% = 2,17\%.$$

Отклонение фактического светового потока составляет 2,17 %. Исходя из выше сказанного, принимаем выбранный тип и количество светильников.

Фактический световой поток, создаваемый принятым количеством светильников:

$$\Phi_{\phi} = N \cdot N_{л} \cdot \Phi_{л}, \quad (2.9)$$

Где  $N_{л}$  – число ламп в светильнике

$N$  – количество светильников

$\Phi_{л}$  – световой поток лампы

$$\Phi_{\phi} = 12 \cdot 1 \cdot 55200 = 662400 \text{ (лм)}.$$

Аварийное освещение необходимо в производственных помещениях с постоянно работающими в них людьми, где выход в темноте опасен из-за препятствий, возникших по пути эвакуации из цеха. У становим около выходов аккумуляторные светильники СБА-1093С 120 LED в количестве 8 штук.

Расчет мощности освещения производим методом коэффициента спроса.

Расчетную активную мощность осветительной нагрузки определяем по формуле:

$$P_{\text{расч.о}} = N \cdot P_{\text{ном}} \cdot K_{с} \cdot K_{\text{пот}}, \quad (2.10)$$

где  $N$  – количество ламп;

$P_{\text{ном}}$  – номинальная мощность лампы, (кВт);



$K_c$  – коэффициент спроса осветительной нагрузки;

$K_{пот}$  – коэффициент потерь в пускорегулирующей аппаратуре.

Для зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов  $K_c$  принимается равным 0,95. Для светодиодных светильников принимается:

$$- K_{пот} = 1,12;$$

$$- \cos \varphi_{лэд} = 0,98 \text{ (} \operatorname{tg} \varphi_{лэд} = 0,2 \text{)}.$$

$$P_{расч.о} = 12 \cdot 0,48 \cdot 0,95 \cdot 1,12 = 6,12 \text{ (кВт)}.$$

Расчетная реактивная мощность осветительной нагрузки:

$$Q_{расч.о} = P_{расч.о} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{лэд} = 6,12 \cdot 0,2 = 1,23 \text{ (кВАр)}.$$

Полная мощность осветительной нагрузки:

$$S_{расч.о} = \sqrt{P_{расч.о}^2 + Q_{расч.о}^2} = \sqrt{6,12^2 + 1,23^2} = 7,53 \text{ (кВА)}.$$

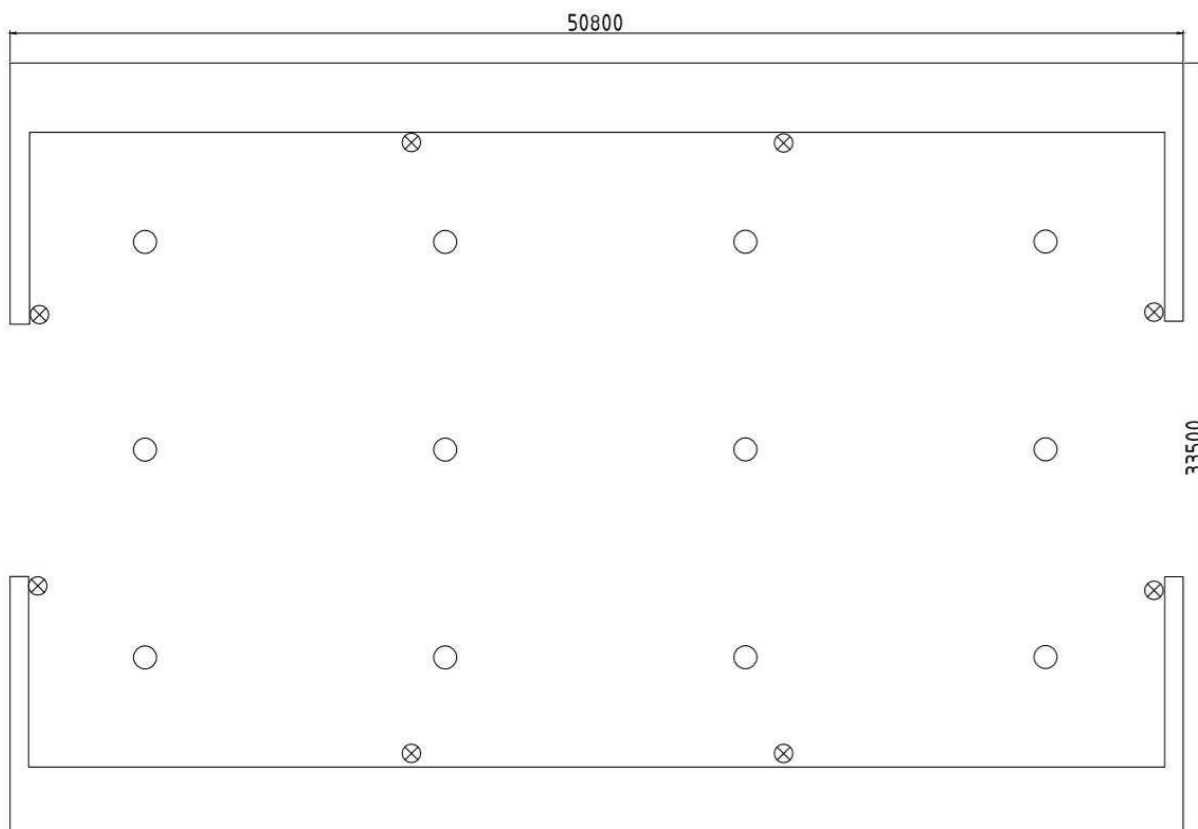


Рисунок 2.2 – Расположение светильников

## 2.2 Разбиение электроприемников на группы и расчет нагрузок по силовым пунктам.

Таблица 2.1 – Ведомость электрических нагрузок цеха

№ ЭП на ген. плане	Наименование ЭП	Р <sub>пасп.</sub> , (кВт)
1	Винтовой компрессор ВК50-15	37
2	Центробежный радиальный вентилятор ВЦ5-50-8	18,5
3-6	Тепловентилятор КЭВ-180Т5,6W3	0,63
7	Станция масло раздачи МЗУ01-01	13
8-19	Тепловая завеса КЭВ-230П7020W	2,1
Итого:		96,2

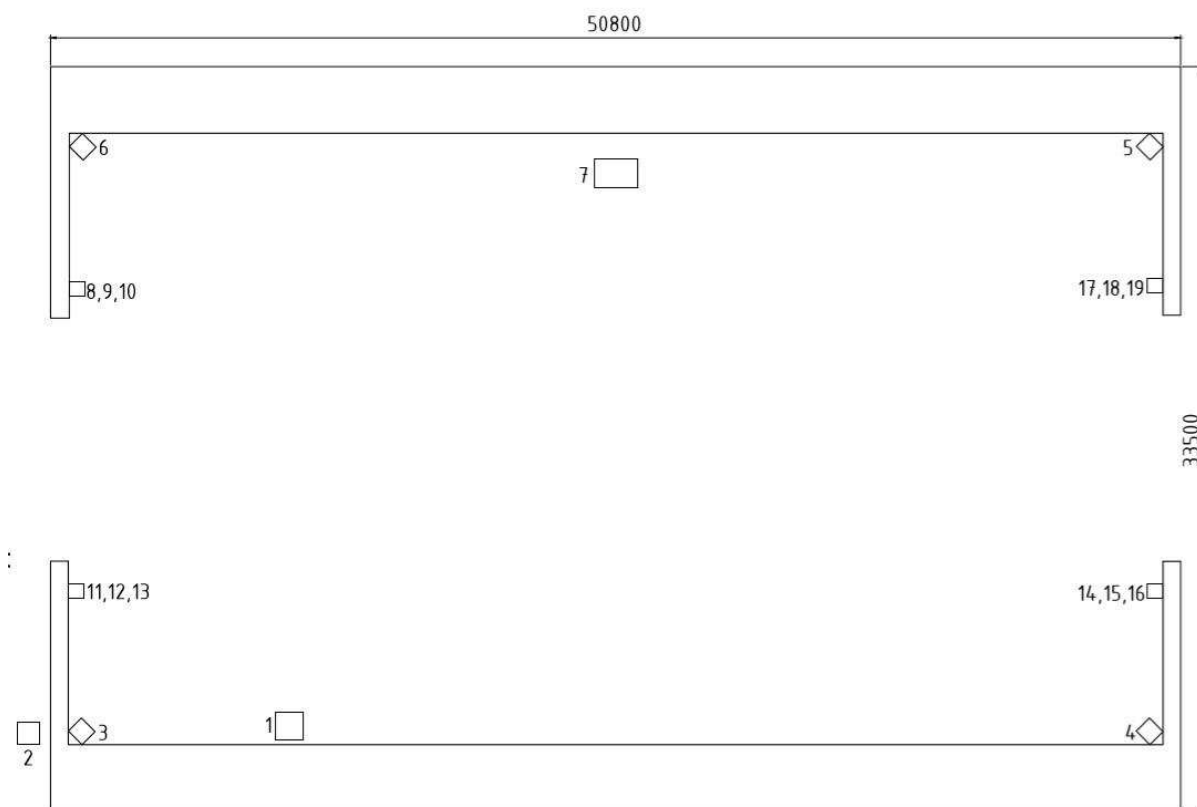


Рисунок 2.3 – План расположения оборудования в цехе.

Таблица 2.2 – Параметры электроприемников

№ ЭП на ген. плане	Наименование ЭП	Количество	$P_{\text{пасп}}$ , (кВт)	$\eta$ , %	ПВ, %	$P_{\text{ном}}$ , (кВт)
1	Винтовой компрессор ВК50-15	1	37	91	100	40,66
2	Центробежный радиальный вентилятор ВЦ5-50-8	1	18,5	90	100	20,55
3-6	Тепловентилятор КЭВ-180Т5,6W3	4	0,63	70	100	0,9
7	Станция масло раздачи МЗУ01-01	1	13	90	100	14,44
8-19	Тепловая завеса КЭВ-230П7020W	12	2,1	81	100	2,6

Номинальная мощность электроприемника рассчитывается по формуле (2.11)

$$P_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{пасп}}}{\eta} \quad (2.11)$$

Формирование первичных групп электроприемников является одной из

задач при проектировании цехового электроснабжения. В таблице 3.1 представлено формирование первичных групп.

Основную часть электроприемников данного цеха составляют силовые общепромышленные установки.

Таблица 2.3 – Технические данные электроприемников

Общепромышленные установки	<p>Винтовой компрессор ВК50-15:  <math>P_{ном}=40,66</math> кВт; <math>K_{и}=0,7</math>; <math>\cos \varphi = 0,8</math>; <math>f=50</math> Гц; <math>PВ=100\%</math>; <math>U_{н}=380</math> В; потребитель трехфазного переменного тока; II категория надежности.</p> <p>Станция масло раздачи МЗУ01-01:  <math>P_{ном}=14,44</math> кВт; <math>K_{и}=0,65</math>; <math>\cos \varphi = 0,75</math>; <math>f=50</math> Гц; <math>PВ=100\%</math>; <math>U_{н}=380</math> В; потребитель трехфазного переменного тока; II категория надежности.</p> <p>Центробежный радиальный вентилятор ВЦ5-50-8:  <math>P_{ном}=20,55</math> кВт; <math>K_{и}=0,7</math>; <math>\cos \varphi = 0,78</math>; <math>f=50</math> Гц; <math>PВ=100\%</math>; <math>U_{н}=380</math> В; потребитель трехфазного переменного тока; II категория надежности.</p> <p>Тепловентилятор КЭВ-180Т5,6W3:  <math>P_{ном}=0,9</math> кВт; <math>K_{и}=0,7</math>; <math>\cos \varphi = 0,78</math>; <math>f=50</math> Гц; <math>PВ=100\%</math>; <math>U_{н}=380</math> В; потребитель однофазного переменного тока; II категория надежности.</p>
	<p>Тепловая завеса КЭВ-230П7020W:  <math>P_{ном}=2,6</math> кВт; <math>K_{и}=0,7</math>; <math>\cos \varphi = 0,78</math>; <math>f=50</math> Гц; <math>PВ=100\%</math>; <math>U_{н}=380</math> В; потребитель трехфазного переменного тока; II категория надежности.</p>

Силовые общепромышленные ЭУ: компрессорные, вентиляционные, насосные и т.п. Потребители этой группы создают нагрузку равномерную и симметричную по всем трем фазам. Мощность их колеблется в широких пределах от единиц до сотен кВт. Коэффициент мощности достаточно стабилен в пределах 0,75-0,85. По надежности электроснабжения их следует отнести к электроприемникам 3-й категории.

По исходным данным определяется номинальная активная мощность приемника электроэнергии.

Расчетная нагрузка 1УР принимается равной номинальной нагрузке:

$$P_{p1} = P_{\text{ном}} \cdot \sqrt{\text{ПВ}}, \quad (2.12)$$

$P_{p1} = P_{\text{ном}}$ , при условии, что ПВ=100%.

Реактивная мощность электроустановки определяется по выражению:

$$Q_{p1} = P_{p1} \cdot \text{tg}, \quad (2.13)$$

Где  $P_{p1}$  – активная мощность электроприемника;

$\text{tg}$  – тангенс электроприемника.

Полная мощность находится по выражению:

$$S_{p1} = \sqrt{P_{p1}^2 + Q_{p1}^2}, \quad (2.14)$$

Где  $P_{p1}$  – активная мощность электроприемника;

$Q_{p1}$  – реактивная электроприемника.

Расчетный ток:

$$I_{p1} = \frac{S_{p1}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot n}, \quad (2.15)$$

где  $n$  – количество кабельных линий;

$S_{p1}$  – полная мощность электроприемника;

$U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение.

Пусковой ток:

$$I_{\text{п}} = K_{\text{п}} \cdot I_{p1}, \quad (2.16)$$

где  $K_{п}$  – кратность пускового тока;

$I_{р1}$  – расчетный ток.

Произведем расчет для винтового компрессора №1:

$$P_{расчI} = 40,66 \text{ (кВт)};$$

$$Q_{расчI} = 40,66 \cdot 1,02 = 41,47 \text{ (кВАр)};$$

$$S_{расчI} = \sqrt{40,66^2 + 41,47^2} = 58,08 \text{ (кВА)};$$

$$I_{расчI} = \frac{58,08 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 88,35 \text{ (А)};$$

$$I_{пускI} = 5 \cdot 88,35 = 265,04 \text{ (А)}.$$

Таблица 2.4 – Расчетные данные по электроприемникам

№ по плану	Наименование электроприемников	$R_{ном}$ , кВт	$P_{р1}$ , кВт	$Q_{р1}$ , кВАр	$S_{Iр}$ ,кВ А	$I_{р1}$ , А	$K_{п}$	$I_{п}$ , А
1	Винтовой компрессор ВК50-15	40,66	40,66	41,47	58,08	88,35	5	441,75
2	Центробежный радиальный вентилятор ВЦ5-50-8	20,55	20,55	20,96	29,35	44,65	5	223,26
3-6	Тепловентилятор КЭВ-180Т5,6W3	0,9	0,9	0,72	1,15	1,75	5	8,77
7	Станция масло раздачи МЗУ01-01	14,44	14,44	16,89	22,22	31,81	5	169,04
8-19	Тепловая завеса КЭВ-230П7020W	2,6	2,6	2,08	3,33	5,06	5	25,32
Однофазная розеточная группа	Розетки	0,9	0,9	0,8	1,2	1,82		
Трансформатор 220/12 В	ЯТП-250 Вт 220/12 В	0,75	0,75	0,56	0,93	1,42		

Таблица 2.5 – Формирование первичных групп электроприемников

Исходные данные				Расчетные величины					Расчетная мощность			I <sub>p</sub>		
по заданию технологов			по справочным данным		K <sub>u</sub> P <sub>n</sub>	K <sub>u</sub> P <sub>нт</sub> гφ	np <sub>n</sub> <sup>2</sup>	n <sub>э</sub>	K <sub>p</sub>	P <sub>p</sub>	Q <sub>p</sub>		S <sub>p</sub>	
Наименование ЭП	шт. *n	Номинальная (установленная) мощность, кВт*		K <sub>u</sub>										cosφ/tgφ
		p <sub>n</sub>	P <sub>n</sub> =np <sub>n</sub>											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ЩР-1														
Тепловентилятор КЭВ-180Т5,6W3	2	0,9	1,8	0,7	0,78/0,8	1,26	1	2						
Тепловая завеса КЭВ-230П7020W	6	2,6	15,6	0,7	0,78/0,8	10,92	9	41						
ИТОГО (3х фазная)	8	2,6	17,45	0,7	0,78/0,8	12,18	10	54	13	1	12,18	9,77	15,62	23,75
ЩР-2														
Тепловентилятор КЭВ-180Т5,6W3	1	0,9	0,9	0,7	0,78/0,8	0,63	1	1						
Тепловая завеса КЭВ-230П7020W	3	2,6	7,8	0,7	0,78/0,8	5,46	4	20						
Станция масло раздачи МЗУ01-01	1	14,44	14,44	0,7	0,75/0,88	9,39	8	209						
Трансформатор 220/12 В	4	0,75	3	0,1	0,8/0,75	0,3	0,23	2						
Однофазная розеточная группа	7	0,9	6,3	0,5	0,78/0,8	3,15	2,53	6						
ИТОГО (3х фазная)	16	14,44	32,44	0,58	0,77/0,83	18,93	16	3336	4	1,12	21,20	17,65	27,59	41,96

### 2.3 Электротехнический расчет системы освещения

Для светильников общего освещения применяется напряжение 220 В. Электроснабжение рабочего и аварийного освещения выполняется самостоятельными линиями от шин низкого напряжения подстанции. При этом электроэнергия от подстанции передаётся питающими линиями на групповые осветительные щитки. Питание источников света осуществляется от групповых щитков групповыми линиями.

Распределение светильников по фазам по длине групповой линии выполняется для снижения потерь мощности и напряжения в проводе, уменьше-

ния стробоскопического эффекта и снижения ущерба при исчезновении напряжения в одной из фаз. Нагрузку можно считать равномерной, если моменты нагрузок отличаются незначительно.

$$M = \sum P_i \cdot l_i, \quad (2.17)$$

где:  $P_i$  – мощность лампы, кВт;

$l_i$  – расстояние от источника питания до лампы, м.

$$\sum M_a \approx \sum M_b \approx \sum M_c. \quad (2.18)$$

Такое размещение позволяет выравнять нагрузку по фазам.

У источника света должен поддерживаться необходимый уровень напряжения.

Потери напряжения, %:

$$\Delta U = \frac{M_{\max}}{K_c \cdot s}, \quad (2.19)$$

где  $K_c = 44$  для сети 380/220 В;

$s$  – сечение проводника.

$$s = \frac{M_i}{\Delta U_{\text{доп}} \cdot K_c}, \quad (2.20)$$

где  $\Delta U_{\text{доп}}$  – допустимые потери напряжения,  $\Delta U_{\text{доп}} = 2,5\%$ .

Расчетная нагрузка:

$$P_{\text{р.о.}} = P_{\text{уст}} \cdot K_c \cdot K_{\text{ПРА}}, \quad (2.21)$$

где  $P_{\text{уст}}$  – установленная мощность ламп;



$K_c$  - коэффициент спроса;

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

Максимальный расчетный ток в трехфазной сети:

$$I_{po} = \frac{P_{po}}{\sqrt{3} \cdot U_l \cdot \cos\varphi}, \quad (2.22)$$

где  $P_{po}$  – расчетная нагрузка;

$U_l$  – напряжение на лампах, В;

$\cos\varphi$  – коэффициент мощности ламп.

По расчетному току выбираются осветительный щиток типа ЩО, автомат на вводе и на отходящих линиях.

Вследствие того, что сети освещения являются протяжёнными и с малыми сечениями, откуда большое сопротивление, следовательно малый ток к.з., поэтому коммутационную аппаратуру на стойкость не проверяется.

Проведем распределение по фазам.

Получим 4 линии трехфазной нагрузки.

Будем использовать четырехпроводные кабели ВВГ<sub>нг</sub> от ЩО светодиодных светильников.

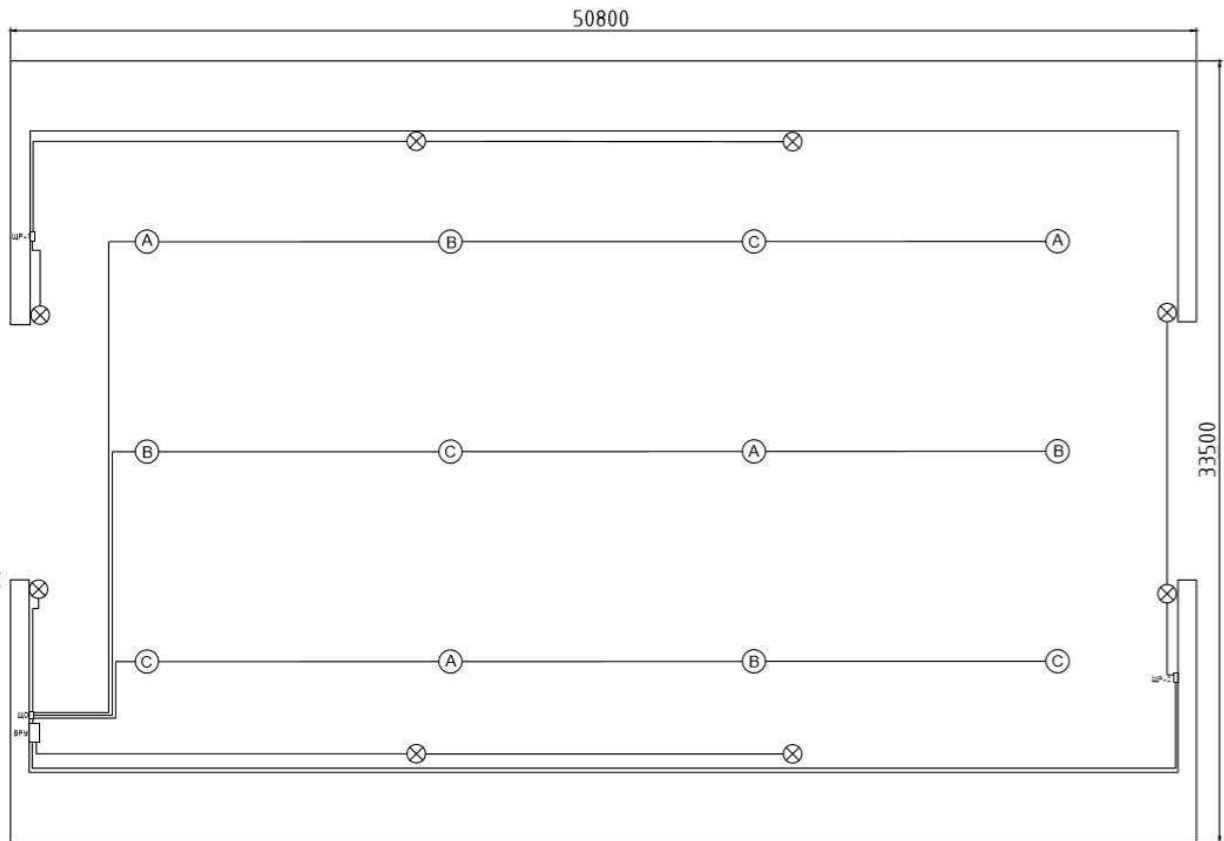


Рисунок 2.4 – Схема питания светильников от щита освещения.

Щит освещения выбираем на 4 присоединения.

Мощность светильника:  $P = 480 \text{ Вт} = 0,48 \text{ кВт}$

Определим моменты нагрузок:

$P$  – мощность светильника;  $l_0$  – расстояние от щита до ряда светильника;

$l_{\text{пр}}$  – расстояние между светильниками.

1 ряд:

Расстояние от щита до ряда с учетом подвеса шкафа равно 36,9 м

$$M_A = P \cdot l_0 + P \cdot (l_0 + 3l_{\text{пр}}) = 0,48 \cdot 36,9 + 0,48 \cdot (36,9 + 3 \cdot 12) \\ = 52,7 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

$$M_B = P \cdot (l_0 + l_{\text{пр}}) = 23,47 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

$$M_C = P \cdot (l_0 + 2l_{\text{пр}}) = 29,23 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

2 ряд:

Расстояние от щита до ряда с учетом подвеса шкафа равно 28 м

$$M_A = P \cdot (l_0 + 2l_{\text{пр}}) = 24,96 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

$$M_B = P \cdot l_0 + P \cdot (l_0 + 3l_{\text{пр}}) = 44,16 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

$$M_C = P \cdot (l_0 + l_{\text{пр}}) = 19,2 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

3 ряд:

Расстояние от щита до ряда с учетом подвеса шкафа равно 19,1 м

$$M_A = P \cdot (l_0 + l_{\text{пр}}) = 14,93 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

$$M_B = P \cdot (l_0 + 2l_{\text{пр}}) = 20,69 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

$$M_C = P \cdot l_0 + P \cdot (l_0 + 3l_{\text{пр}}) = 35,62 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

Суммарные моменты по фазам:

$$\sum M_A = 52,7 + 24,96 + 14,93 = 92,59 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$\sum M_B = 23,47 + 44,16 + 20,69 = 88,32 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

$$\sum M_C = 29,23 + 19,2 + 35,62 = 77,05 \text{ кВт} \cdot \text{м}.$$

Нагрузка практически выровнена по фазам.

Рассчитаем моменты в линиях:

1 линия:

$$l_0 = 36,9 \text{ м,}$$

$$M_1 = 4 \cdot 0,48 \cdot \left( 36,9 + \frac{12 \cdot (4 - 1)}{2} \right) = 105,41 \text{ кВт} \cdot \text{м.}$$

2 линия:

$$l_0 = 28 \text{ м,}$$

$$M_2 = 4 \cdot 0,48 \cdot \left( 28 + \frac{12 \cdot (4 - 1)}{2} \right) = 88,32 \text{ кВт} \cdot \text{м.}$$

3 линия:

$$l_0 = 19,1 \text{ м,}$$

$$M_3 = 4 \cdot 0,48 \cdot \left( 19,1 + \frac{12 \cdot (4 - 1)}{2} \right) = 71,23 \text{ кВт} \cdot \text{м.}$$

Определим сечение проводников линий:

$$s_1 = \frac{52,7}{72 \cdot 2,5} = 0,3 \text{ мм}^2,$$

$$s_2 = \frac{44,16}{72 \cdot 2,5} = 0,25 \text{ мм}^2,$$

$$s_3 = \frac{35,62}{72 \cdot 2,5} = 0,2 \text{ мм}^2,$$

Выбираем для питания рядов провод марки ВВГнг 5х1,5 с  $I_{\text{доп}}=19 \text{ А}$ .

$$P_{\text{po}} = 2 \cdot 0,48 \cdot 1,1 = 1 \text{ кВт.}$$

По формуле (16.6) находим расчетный ток:

$$I_{po} = \frac{1}{0,22 \cdot 0,98} = 4,64 \text{ А.}$$

Расчетный ток не превышает допустимый ток кабеля  $I_{доп} = 19 \text{ А}$ .

Определяем потери, исходя из того, что принимаем сечение  $1,5 \text{ мм}^2$ :

$$\Delta U_1 = \frac{52,7}{72 \cdot 1,5} = 0,49 \%,$$

$$\Delta U_2 = \frac{44,16}{72 \cdot 1,5} = 0,4 \%,$$

$$\Delta U_3 = \frac{35,62}{72 \cdot 1,5} = 0,33 \%,$$

Определим сечение кабеля от щита освещения (ЩО) до ВРУ.

$$P_{po} = 12 \cdot 0,48 \cdot 1,12 = 6,12 \text{ кВт.}$$

$$I_{max} = \frac{6,12}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,98} = 9,5 \text{ А.}$$

Выбираем медный провод марки ВВГ<sub>нг</sub> 5х2,5 с сечением основной жилы  $s = 2,5 \text{ мм}^2$  и допустимым током  $25 \text{ А}$ .

Для защиты ЩО выбираем ВА 47-63 с номинальным током  $16 \text{ А}$ .

Таблица 2.6 – Расчет рабочего освещения.

Ламп в ряду	От ЩО до ряда	l	$M_A$	$M_B$	$M_C$	$\sum M$	S	$S_{cc}$	$I_{доп}$	$\Delta U_{\phi 1}$	$P_p$	$I_p$
		м	кВт*м	кВт*м	кВт*м	кВт*м	мм <sup>2</sup>	мм <sup>2</sup>	А	%	кВт	А
4	1	16,53	52,7	23,47	29,23	105,4	2,85	2,5	24	2,85	2	5,36
4	2	10,75	24,96	44,16	19,2	88,32	2,39	2,5	24	2,39	2	5,36
4	3	10,75	14,93	20,69	35,62	71,23	1,93	2,5	24	1,93	2	5,36
Сумма моментов			92,59	88,32	77,05							

## 2.4 Расчет нагрузки по ВРУ.

Правильное определение электрических нагрузок является решающим фактором для выбора количества и мощности трансформаторных подстанций, сечений кабелей, защитной аппаратуры и электрооборудования.

Таблица 2.7 – Расчет электрических нагрузок (форма Ф636-92).

Исходные данные				Расчетные величины					Расчетная мощность			I <sub>p</sub>		
по заданию технологов			по справочным данным		K <sub>u</sub> P <sub>n</sub>	K <sub>u</sub> P <sub>нт</sub> gφ	np <sub>n</sub> <sup>2</sup>	n <sub>э</sub>	K <sub>p</sub>	P <sub>p</sub>	Q <sub>p</sub>		S <sub>p</sub>	
Наименование ЭП	шт. *n	Номинальная (установленная) мощность, кВт*		K <sub>u</sub>										cosφ/tgφ
	2	p <sub>n</sub>	P <sub>n=np</sub> n	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Винтовой компрессор ВК50-15	1	40,66	40,66	0,7	0,8/0,75	28,46	21	1653						
Центробежный радиальный вентилятор ВЦ5-50-8	1	20,55	20,55	0,7	0,78/0,8	14,39	12	422						
Тепловентилятор КЭВ-180Т5,6W3	4	0,9	3,6	0,7	0,78/0,8	2,52	2	3						
Станция масло раздачи МЗУ01-01	1	14,44	14,44	0,65	0,75/0,88	9,39	8	209						
Тепловая завеса КЭВ-230П7020W	12	2,6	31,2	0,7	0,78/0,8	2184	18	8						
Однофазная розеточная группа	13	0,9	11,7	0,5	0,75/0,88	5,85	5	11						
Трансформатор 220/12 В	8	0,75	6	0,1	0,8/0,75	0,6	0,5	4,5						
ИТОГО (3х фазная)	40	40,66	128,15	0,65	0,78/0,8	83,04	66	66129	6	0,91	75,57	60,42	96,75	147,17

Определим суммарную активную мощность цеха:

$$P_{\Sigma p} = P_{\text{цеха}} + P_{\text{po}} + \Delta P_{0,4} \quad (2.23)$$

$$P_{\text{цеха}} = P_p + P_{\text{po}},$$

$$P_{\text{цеха}} = 75,57 + 6,12 = 81,7 \text{ кВт.}$$

Суммарные потери активной мощности в сети 0,4 кВ составляют 3,4%, тогда:

$$P_{\Sigma \text{цеха}} = 87,7 + 81,7 \cdot 0,034 = 84,48 \text{ кВт.}$$

Определим суммарную реактивную мощность цеха:

$$Q_{\Sigma \text{цеха}} = Q_p + Q_{po}, \quad (2.24)$$

$$Q_{\Sigma \text{цеха}} = 60,42 + 1,23 = 61,65 \text{ кВАр.}$$

Суммарная полная мощность:

$$S_{\text{цеха}} = \sqrt{84,48^2 + 61,65^2} = 104,6 \text{ кВА.}$$

### **3 Практическая часть. Проектирование электроснабжения.**

#### **3.1 Выбор трансформаторной подстанции 6/0,4 и проектирование схемы внешнего электроснабжения бокса по ремонту Белазов.**

Правильный выбор числа и мощности трансформатора на подстанции является одним из основных вопросов рационального построения системы электроснабжения. В нормальных условиях силовые трансформаторы должны обеспечить питание всех электропотребителей объекта.

Так как проектируемый бокс относится к III категории надежности, то подключение производим одной кабельной линией к ближайшей ТП.

Выбор трансформатора производится исходя из расположения ТП по местности. Выбираем ближайший менее нагруженную ТП-5.

Таблица 3.1 – Параметры трансформатора

Тип	Номинальная мощность, кВА	Номинальное напряжение, кВ		Потери, Вт		Ток хх, %	Напряжение кз, %
		ВН	НН	хх	кз		
ТМ	630	6	0,4	1050	7600	1,6	5,5

Определим потери мощности в трансформаторе ТП-5 можно вычислить по выражениям, используя каталожные данные, представленные в таблице 12.1:

$$\Delta P_{\text{тр}} = n \cdot \Delta P_{\text{хх}} + \frac{\Delta P_{\text{кз}}}{n} \cdot \left( \frac{S_p}{S_{\text{ном}}} \right)^2, \quad (3.1)$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = n \cdot \frac{I_{\text{хх}} \cdot S_{\text{ном}}}{100} + \frac{u_{\text{кз}} \cdot S_p^2}{n \cdot 100 \cdot S_{\text{ном}}}, \quad (3.2)$$

где  $n$  – количество трансформаторов;

$\Delta P_{\text{хх}}$  – потери холостого хода, (кВт);

$\Delta P_{\text{кз}}$  – потери короткого замыкания, (кВт);

$I_{\text{хх}}$  – ток холостого хода, %;

$u_{\text{кз}}$  – напряжение короткого замыкания, %.

$$\Delta P_{\text{тр}} = 1,05 + 7,6 \cdot \left( \frac{104,6}{630} \right)^2 = 1,26 \text{ (кВт)};$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = \frac{1,6 \cdot 630}{100} + \frac{5,5 \cdot 104,6^2}{100 \cdot 630} = 11 \text{ (кВАр)}.$$

### 3.2 Выбор коммутационных аппаратов.

Выбор автоматических выключателей для защиты линий, питающих группу электроприёмников, производим по следующим выражениям: Пусковой ток по двигательной нагрузке пяти кратный, следовательно выбираем выключатели категории С



Пиковый ток группы ЭП:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п.нб}} + (I_{\text{р}} - k_{\text{и.нб}} I_{\text{н.нб}}), \quad (3.3)$$

где  $I_{\text{пик}}$  – пиковый ток, А;

$I_{\text{п.нб}}$  – пусковой ток наибольшего по мощности электроприёмника в группе, А;

$I_{\text{н.нб}}$  – номинальный ток наибольшего по мощности электроприёмника в группе, А;

$I_{\text{р}}$  – расчетный ток группы электроприёмников, А;

$k_{\text{и.нб}}$  – коэффициент использования, характерный для наибольшего по мощности электроприемника в группе.

Если в группе до 5 ЭП то в формуле будет отсутствовать  $k_{\text{и.нб}}$ .

Расчетный ток с учетом коэффициента надежности отстройки от перегрузки:

$$I_{\text{расчк}} = I_{\text{расч}} \cdot k_{\text{н}}, \quad (3.4)$$

где  $I_{\text{расч}}$  – расчетный ток группы ЭП,

$k_{\text{н}}$  – коэффициент надежности, примем  $k_{\text{н}} = 1,1$ .

Ток отсечки с учетом коэффициента отстройки отсечки:

$$I_{\text{ок}} = I_{\text{пик}} \cdot k_{\text{отс}}, \quad (3.5)$$

где  $I_{\text{пик}}$  – пиковый ток группы ЭП,

$k_{\text{отс}}$  – отстройки отсечки, примем  $k_{\text{отс}} = 1,2$ .

Далее выбираем АВ. Расчетная кратность тока отсечки:

$$k_{кр} = \frac{I_{ок}}{I_{ном расц}}, \quad (3.6)$$

где  $I_{ном расц}$  - номинальный ток расцепителя АВ, принимается ближайшим к  $I_{расчк}$ .

Окончательным условием при выборе АВ является его проверка:

$$k_{кр} \leq 10. \quad (3.7)$$

Пример: произведем выбор АВ на ЩР-1.

$$I_{расчк} = 23,75 \text{ А},$$

Произведем выбор выключателя на сайте производителя [9]выберем ВА 47-63 с  $I_{ном} = 25 \text{ А}$ .

$$I_{пик} = 45,53 \text{ А},$$

$$I_{ок} = I_{пик} \cdot k_{отс} = 45,53 \cdot 1,2 = 54,63 \text{ А},$$

$$k_{кр} = \frac{I_{ок}}{I_{ном расц}} = \frac{54,63}{25} = 2,2 \text{ А}.$$

Проверим по условию:

$$k_{кр} \leq 10,$$

$$2,2 \leq 10.$$

Дальнейший выбор выключателей аналогичный, сведем выбранные и расчетные данные в таблицы 3.2.

Таблица 3.2 – Выбор автоматических выключателей

№ эл. приёмника	$I_{расч}, А$	$I_{пуск}, А$	$K_H$	$K_{отс}$	$I_{расчК}, А$	Тип автомата, серия	$I_{ном вык}, А$	$I_{ном рас вык}, А$	$I_{ок}$	$K_{кр}$	$K_{кр ном}$
ВРУ	147,17	441,75	1,1	1,2	161,88	ВА 99ML	160	160	632,50	3,95	10
ЩР-1	23,75	25,32	1,1	1,2	26,13	ВА 47-100	25	25	54,63	2,20	10
ЩР-2	41,96	169,04	1,1	1,2	46,16	ВА 47-100	50	50	228,40	4,57	10
Розетки	1,82	1,82	1,1	1,2	2	ВА 47-63	2,5	2,5	2,18	0,87	10
Трс-форматоры	1,42	1,42	1,1	1,2	1,56	ВА 47-63	2	2	1,7	0,85	10
1	88,55	441,75	1,1	1,2	97,4	ВА 47-100	100	100	530,10	5,30	10
2	44,65	223,26	1,1	1,2	49,1	ВА 47-100	50	50	267,91	5,36	10
3	1,75	8,77	1,1	1,2	1,93	ВА 47-63	2,5	2,5	10,52	4,21	10
4	1,75	8,77	1,1	1,2	1,93	ВА 47-63	2,5	2,5	10,52	4,21	10
5	1,75	8,77	1,1	1,2	1,93	ВА 47-63	2,5	2,5	10,52	4,21	10
6	1,75	8,77	1,1	1,2	1,93	ВА 47-63	2,5	2,5	10,52	4,21	10
7	31,81	169,04	1,1	1,2	34,99	ВА 47-100	35	35	202,85	5,80	10
8	5,06	25,32	1,1	1,2	5,56	ВА 47-63	6	6	30,38	5,06	10
9	5,06	25,32	1,1	1,2	5,56	ВА 47-63	6	6	30,38	5,06	10
10	5,06	25,32	1,1	1,2	5,56	ВА 47-63	6	6	30,38	5,06	10
11	5,06	25,32	1,1	1,2	5,56	ВА 47-63	6	6	30,38	5,06	10
12	5,06	25,32	1,1	1,2	5,56	ВА 47-63	6	6	30,38	5,06	10
13	5,06	25,32	1,1	1,2	5,56	ВА 47-63	6	6	30,38	5,06	10
14	5,06	25,32	1,1	1,2	5,56	ВА 47-63	6	6	30,38	5,06	10
15	5,06	25,32	1,1	1,2	5,56	ВА 47-63	6	6	30,38	5,06	10
16	5,06	25,32	1,1	1,2	5,56	ВА 47-63	6	6	30,38	5,06	10
17	5,06	25,32	1,1	1,2	5,56	ВА 47-63	6	6	30,38	5,06	10
18	5,06	25,32	1,1	1,2	5,56	ВА 47-63	6	6	30,38	5,06	10
19	5,06	25,32	1,1	1,2	5,56	ВА 47-63	6	6	30,38	5,06	10

### 3.3 Выбор кабельно-проводниковой продукции.

Для выбора кабельных линий воспользуемся расчетным током по щитам и электроприемникам. Для подключения воспользуемся маркой кабеля ВВГ<sub>нг</sub>, это медный кабель где, изоляционный слой покрывается специальным составом, благодаря ему в процессе горения изоляции выделение дыма практически отсутствует. По статистике, в большинстве случаев продукты горения проводки, а именно едкий дым, который распространяется по всей площади помещения. В силу этого теряется возможность ориентации в пространстве и отравление дыхательных путей человека. Многие производители кабеля стали пользоваться специальным ПВХ с меньшим содержанием примесей, чем значительно уменьшили выделение газа.

Таблица 3.3 Выбор сечений проводов кабельных линий

Трасса		Длин а, м	Способ прокладки	Кабель, провод			I расч, А	I за- щиты , А
начало	конец			Марка	Кол-во и сече- ние жил	I <sub>доп,А</sub>		
РУ НН	ВРУ	38	в земле	ЦСБШН г(А)-LS	4x50	173	147,17	160
ВРУ	ЩР-1	53,6	в конструкциях	ВВГ <sub>нг</sub>	5x2,5	25	23,75	25
ВРУ	ЩР-2	33,6	в конструкциях	ВВГ <sub>нг</sub>	5x10	58	41,96	50
ВРУ	Розетки	44	в конструкциях	ВВГ <sub>нг</sub>	3x2,5	24	1,82	2,5
ВРУ	Транс- форма- торы	44	в конструкциях	ВВГ <sub>нг</sub>	3x1,5	21	1,42	2
ВРУ	1	11,2	в конструкциях	ВВГ <sub>нг</sub>	4x25	104	88,55	100
ВРУ	2	3	в конструкциях	ВВГ <sub>нг</sub>	4x10	58	44,65	50
ВРУ	3	9	в конструкциях	ВВГ <sub>нг</sub>	4x1,5	19	1,75	2,5
ЩР-1	4	11,1	в конструкциях	ВВГ <sub>нг</sub>	4x1,5	19	1,75	2,5
ЩР-1	5	30,6	в конструкциях	ВВГ <sub>нг</sub>	4x1,5	19	1,75	2,5
ЩР-2	Розетки	48	в конструкциях	ВВГ <sub>нг</sub>	3x2,5	24	1,82	2,5
ЩР-2	Транс- форма- торы	48	в конструкциях	ВВГ <sub>нг</sub>	3x1,5	21	1,42	2
ЩР-2	6	11,8	в конструкциях	ВВГ <sub>нг</sub>	4x1,5	19	1,75	2,5
ЩР-2	7	28,8	в конструкциях	ВВГ <sub>нг</sub>	4x4	33	31,81	32
ЩР-2	8	2	в конструкциях	ВВГ <sub>нг</sub>	4x1,5	19	5,06	6
ЩР-2	9	4	в конструкциях	ВВГ <sub>нг</sub>	4x1,5	19	5,06	6
ЩР-2	10	4	в конструкциях	ВВГ <sub>нг</sub>	4x1,5	19	5,06	6
ВРУ	11	4,8	в конструкциях	ВВГ <sub>нг</sub>	4x1,5	19	5,06	6
ВРУ	12	6,8	в конструкциях	ВВГ <sub>нг</sub>	4x1,5	19	5,06	6
ВРУ	13	6,8	в конструкциях	ВВГ <sub>нг</sub>	4x1,5	19	5,06	6
ЩР-1	14	2,5	в конструкциях	ВВГ <sub>нг</sub>	4x1,5	19	5,06	6
ЩР-1	15	4,5	в конструкциях	ВВГ <sub>нг</sub>	4x1,5	19	5,06	6
ЩР-1	16	4,5	в конструкциях	ВВГ <sub>нг</sub>	4x1,5	19	5,06	6
ЩР-1	17	26,9	в конструкциях	ВВГ <sub>нг</sub>	4x1,5	19	5,06	6
ЩР-1	18	24,9	в конструкциях	ВВГ <sub>нг</sub>	4x1,5	19	5,06	6
ЩР-1	19	22,9	в конструкциях	ВВГ <sub>нг</sub>	4x1,5	19	5,06	6

### 3.4 Выбор силовых пунктов и прочих электрических устройств.

Выбор распределительных щитов производим исходя от максимального

количества устанавливаемых автоматических выключателей, лидирующие позиции на рынке имеет компания ЕКФ. Произведем выбор щитов из каталога этого производителя. Для ВРУ выбираем модель щита компании «ВРУ корпус универсальный», щит освещения модели «ЩРН 18М», щит распределительный 1 «ЩРН 36», щит распределительный 2 «ЩРН 24»

### 3.5 Проверка по допустимым потерям напряжения в силовой и осветительной сети.

Расчет потерь напряжения и мощности в цеховой распределительной сети.

Потребители электрической энергии работают нормально, когда на их зажимы подается напряжение, на которое рассчитаны данный электродвигатель или устройство. При передаче электроэнергии по проводам часть напряжения теряется на сопротивление проводов и в результате в конце линии, т.е. у потребителя, напряжения получается меньшим, чем в начале линии.

Согласно ПУЭ, для силовых сетей отклонение напряжения от нормального должно составлять не более  $\pm 5\%$ .

Потери напряжения относительно номинального напряжения сети для выбранных сечений кабелей:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{расч} \cdot L (r_{уд} \cdot \cos \varphi + x_{уд} \cdot \sin \varphi)}{U_{ном}} \cdot 100\%, \quad (3.8)$$

где:  $r_{уд}, x_{уд}$  - удельное активное и реактивное сопротивление, Ом/м;

$L$  - длина линии, м.

Потери мощности определяются по формулам:

$$\Delta P = 3 \cdot I_{расч}^2 \cdot r_{уд} \cdot L \cdot 10^{-3}, \quad (3.9)$$

$$\Delta W = \Delta P \cdot \tau, \quad (3.10)$$

где  $\tau$  – время потерь, можно найти по формуле:

$$\tau = (0,124 + T_{max} \cdot 10^{-4})^2 \cdot T_{год}, \quad (3.11)$$

где  $T_{год} = 8760$  ч,

$T_{max}$  – в зависимости от количества смен на предприятиях, у нас двух-сменное  $T_{max} = 3500$ ч.

$\tau = 1968$ ч.

Таблица 3.4 – Потери напряжения.

Трасса		Длина, м	Cos $\phi$	Sin $\phi$	Кабель, провод			$I_{расч.}$ , А	$\Delta U$ , В	$\Delta U$ , %	$\Delta P$ , кВт	$\Delta Q$ , кВар	$\Delta W$ , кВт*ч
начало	конец				R0, Ом/км	X0, Ом/км	Сечение жил						
РУ НН	ВРУ	38	0,78	0,62	0,37	0,0625	4x50	147,17	3,17085	0,83443	0,91358	0,15432	1797,92
ВРУ	ЩР-1	53,6	0,78	0,62	7,4	0,116	5x2,5	23,75	12,88526	3,39086	0,67119	0,01052	1320,90
ВРУ	ЩР-2	33,6	0,77	0,63	1,84	0,073	5x10	41,96	3,57205	0,94001	0,32655	0,01296	642,65
ВРУ	Розетки	44	0,78	0,6	7,4	0,116	3x2,5	1,82	0,81025	0,21322	0,00324	0,00005	6,37
ВРУ	Тр-р	44	0,8	0,63	12,3	0,126	3x1,5	1,72	1,30025	0,34217	0,00480	0,00005	9,45
ВРУ	1	11,2	0,8	0,6	0,74	0,0662	4x25	88,55	1,08516	0,28557	0,19496	0,01744	383,68
ВРУ	2	3	0,78	0,62	1,84	0,073	4x10	44,65	0,34348	0,09039	0,03301	0,00131	64,97
ВРУ	3	9	0,78	0,62	12,3	0,126	4x1,5	1,75	0,26385	0,06944	0,00102	0,00001	2,00
ЩР-1	4	11,1	0,78	0,62	12,3	0,126	4x1,5	1,75	0,32542	0,08564	0,00125	0,00001	2,47
ЩР-1	5	30,6	0,78	0,62	12,3	0,126	4x1,5	1,75	0,89710	0,23608	0,00346	0,00004	6,81
ЩР-2	Розетки	48	0,78	0,6	7,4	0,116	3x2,5	1,82	0,88390	0,23261	0,00353	0,00006	6,95
ЩР-2	Тр-р	48	0,8	0,63	12,3	0,126	3x1,5	1,72	1,41845	0,37328	0,00524	0,00005	10,31
ЩР-2	6	11,8	0,78	0,62	12,3	0,126	4x1,5	1,75	0,34594	0,09104	0,00133	0,00001	2,62
ЩР-2	7	28,8	0,75	0,66	4,63	0,095	4x4	31,81	5,60959	1,47621	0,40478	0,00831	796,61
ЩР-2	8	2	0,78	0,62	12,3	0,126	4x1,5	5,06	0,16954	0,04461	0,00189	0,00002	3,72
ЩР-2	9	4	0,78	0,62	12,3	0,126	4x1,5	5,06	0,33907	0,08923	0,00378	0,00004	7,44
ЩР-2	10	4	0,78	0,62	12,3	0,126	4x1,5	5,06	0,33907	0,08923	0,00378	0,00004	7,44

## Окончание таблицы 3.4

ВРУ	11	4,8	0,78	0,62	12,3	0,126	4x1,5	5,06	0,406 89	0,107 08	0,004 53	0,000 05	8,92
ВРУ	12	6,8	0,78	0,62	12,3	0,126	4x1,5	5,06	0,576 42	0,151 69	0,006 42	0,000 07	12,64
ВРУ	13	6,8	0,78	0,62	12,3	0,126	4x1,5	5,06	0,576 42	0,151 69	0,006 42	0,000 07	12,64
ЩР-1	14	2,5	0,78	0,62	12,3	0,126	4x1,5	5,06	0,211 92	0,055 77	0,002 36	0,000 02	4,65
ЩР-1	15	4,5	0,78	0,62	12,3	0,126	4x1,5	5,06	0,381 46	0,100 38	0,004 25	0,000 04	8,37
ЩР-1	16	4,5	0,78	0,62	12,3	0,126	4x1,5	5,06	0,381 46	0,100 38	0,004 25	0,000 04	8,37
ЩР-1	17	26,9	0,78	0,62	12,3	0,126	4x1,5	5,06	2,280 26	0,600 07	0,025 41	0,000 26	50,02
ЩР-1	18	24,9	0,78	0,62	12,3	0,126	4x1,5	5,06	2,110 73	0,555 45	0,023 52	0,000 24	46,30
ЩР-1	19	22,9	0,78	0,62	12,3	0,126	4x1,5	5,06	1,941 19	0,510 84	0,021 64	0,000 22	42,58

### 3.6 Расчет токов короткого замыкания. Проверка оборудования.

Основной причиной нарушения нормального режима работы системы электроснабжения является возникновение в сети или в элементах электрооборудования короткого замыкания, вследствие повреждения изоляции или неправильных действий обслуживающего персонала. Для снижения ущерба, обусловленного выходом из строя электрооборудования при протекании токов КЗ, а также для быстрого восстановления нормального режима работы системы электроснабжения необходимо правильно определять токи КЗ и по ним выбирать электрооборудование, защитную аппаратуру (или же проверить уже выбранную на стойкость к току КЗ).

Расчет токов КЗ может быть выполнен в относительных единицах и в именованных единицах.

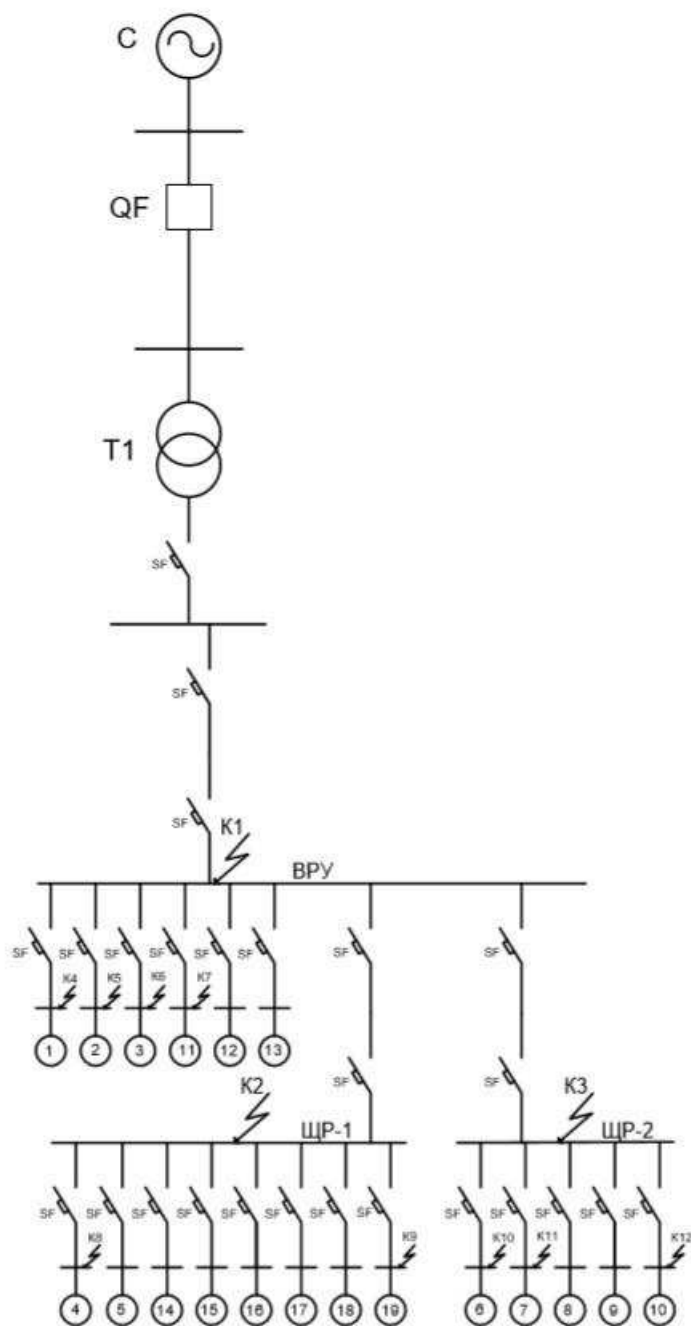


Рисунок 3.1 – Расчетная схема



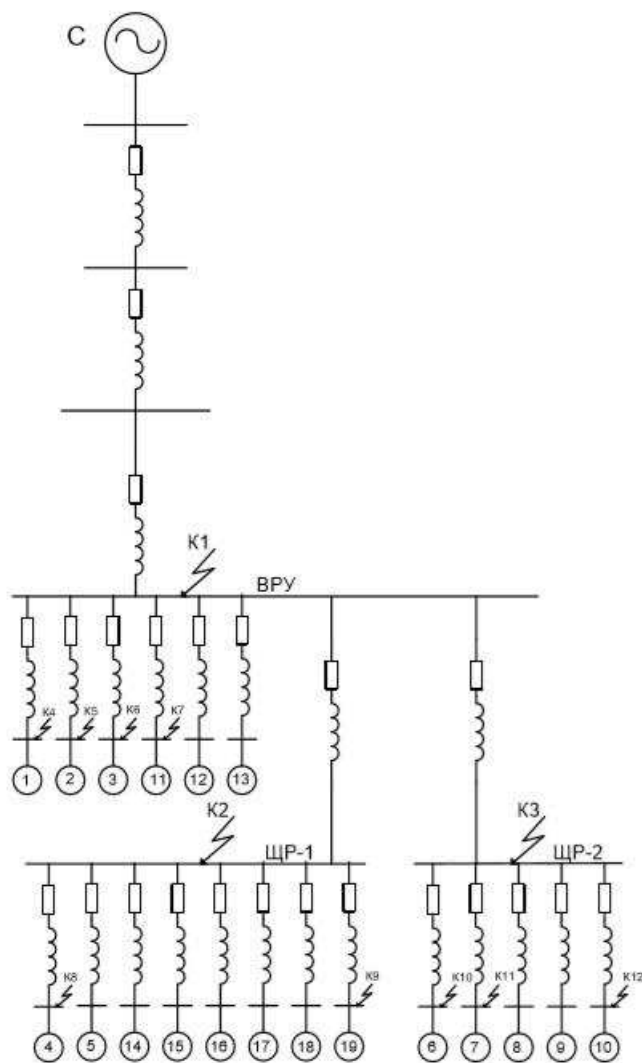


Рисунок 3.2 – Схема замещения

Трехфазные КЗ;

Точка К1

Сопротивление трансформатора:

$$R_T = \Delta P_{KЗ} \cdot \left( \frac{U_{HH}}{S_{НОМ.Т}} \right)^2 \cdot 10^6 = 7,6 \cdot \left( \frac{0,4}{630} \right)^2 \cdot 10^6 = 3,06 \text{ (МОм)}, \quad (3.12)$$

$$Z_T = U_{KЗ} \cdot \frac{U_{HH}^2}{S_{НОМ.Т}} \cdot 10^4 = 5,5 \cdot \frac{0,4^2}{630} \cdot 10^4 = 13,97 \text{ (МОм)}, \quad (3.13)$$

Где  $\Delta P_{\text{кз}}$  – потери мощности короткого замыкания трансформатора;  
 $U_{\text{нн}}$  – напряжение на шинах низкой стороны;  
 $S_{\text{ном.т}}$  – номинальная мощность трансформатора;  
 $U_{\text{кз}}$  – напряжение короткого замыкания.

$$X_{\text{T}} = \sqrt{Z_{\text{T}}^2 - R_{\text{T}}^2} = \sqrt{13,97^2 - 3,06^2} = 13,63 (\text{МОм}). \quad (3.14)$$

Сопротивление КЛ К1:

$$R_1 = r_{\text{кл}} \cdot l = 0,37 \cdot 38 = 14,06 (\text{МОм});$$

$$X_1 = X_{\text{кл}} \cdot l = 0,0625 \cdot 38 = 2,38 (\text{МОм}).$$

Где  $r_{\text{кл}}, X_{\text{кл}}$  – активные и индуктивные сопротивления кабельных линий;  
 $l$  – длина кабельных линий.

Суммарное активное и реактивное сопротивление, кроме сопротивлений элементов системы электроснабжения высшего напряжения и цехового трансформатора, должно учитывать переходные сопротивления контактов. Для этого в расчет вводим добавочное сопротивление автоматического выключателя, которое составляет  $R_{\text{расц}} = 0,74$ ,  $X_{\text{расц}} = 0,55$ ,  $R_{\text{к.с}} = 0,65$  (МОм) эти значения для каждого автоматического выключателя выбираем из таблицы [3, П2.7 с. 546].

$$R_{\text{доп1}} = R_{\text{расц}} + R_{\text{к.с}} = 0,74 + 0,65 = 1,39 (\text{МОм}) \quad (3.15)$$

$$X_{\Sigma 1} = X_1 + X_{\text{T}} + X_{\text{расц}} = 2,38 + 13,63 + 0,55 = 16,56 (\text{МОм}). \quad (3.16)$$

$$R_{\Sigma 1} = R_1 + R_{\text{T}} + R_{\text{доп1}} \cdot 2 = 14,06 + 3,06 + 2,78 = 19,9 (\text{МОм}). \quad (3.17)$$

Ток К3:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_{HH} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{19,9^2 + 16,56^2}} = 8,92 \text{ (кА)}. \quad (3.18)$$

Точка К2:

Сопротивление КЛ К2:

$$R_2 = r_{KL} \cdot l = 7,4 \cdot 53,6 = 396,64 \text{ (МОм)};$$

$$X_2 = X_{KL} \cdot l = 0,116 \cdot 53,6 = 6,22 \text{ (МОм)}.$$

$$R_{доп2} = R_{расц} + R_{к.с} = 5 + 5 = 10 \text{ (МОм)}$$

$$X_{\Sigma 2} = X_{\Sigma 1} + X_2 + X_{расц} = 16,56 + 6,22 + 10 = 32,78 \text{ (МОм)}.$$

$$R_{\Sigma 2} = R_{\Sigma 1} + R_2 + R_{доп2} \cdot 2 = 19,9 + 396,64 + 20 = 436,54 \text{ (МОм)}.$$

Ток К3:

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_{HH} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{436,54^2 + 32,78^2}} = 0,53 \text{ (кА)}.$$

Точка К3:

Сопротивление КЛ К3:

$$R_3 = r_{KL} \cdot l = 1,84 \cdot 30,4 = 55,94 \text{ (МОм)};$$

$$X_3 = X_{KL} \cdot l = 0,073 \cdot 30,4 = 2,22 \text{ (МОм)}.$$

$$R_{\text{доп3}} = R_{\text{расц}} + R_{\text{к.с}} = 5,5 + 1,3 = 6,8 \text{ (МОм)}$$

$$X_{\Sigma 3} = X_{\Sigma 1} + X_3 + X_{\text{расц}} = 16,56 + 2,22 + 2,7 = 24,48 \text{ (МОм)}.$$

$$R_{\Sigma 3} = R_{\Sigma 1} + R_3 + R_{\text{доп3}} \cdot 2 = 19,9 + 55,94 + 13,6 = 89,44 \text{ (МОм)}.$$

Ток КЗ:

$$I_{\text{к1}}^{(3)} = \frac{U_{\text{нн}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{89,44^2 + 24,48^2}} = 2,49 \text{ (кА)}.$$

Продолжим расчет трёхфазного короткого замыкания по точкам К4-К12 аналогичным способом и сведём значения в таблицу....

Таблица 3.5– Расчет трехфазного КЗ

№ ЭП	Rдоп,МОм	Xрасц,МОм	Rсум,МОм	Xсум,МОм	L,м	I <sub>к</sub> <sup>(3)</sup> ,кА
1	2,05	0,83	30,24	18,13	11,2	6,55
2	6,8	2,7	32,22	19,48	3	6,13
3	310	530	440,60	547,69	9	0,33
4	310	530	883,07	564,18	11,1	0,22
6	310	530	544,58	555,97	11,8	0,30
7	10	10	232,78	37,22	28,8	0,98
10	56	80	194,64	104,98	4	1,04
11	56	80	134,94	97,16	4,8	1,39
19	56	80	774,21	115,67	22,9	0,30

Однофазные КЗ:

При расчете однофазного КЗ составляются три схемы замещения - прямой, обратной и нулевой последовательностей.

Ток однофазного короткого замыкания  $I_{\text{к1}}^{(1)}$  определяется по формуле:

$$I_{\text{к1}}^{(1)} = \frac{U_{\text{нн}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}^{(1)}} \quad (3.19)$$

$$Z_{\Sigma}^{(1)} = \frac{1}{3} \sqrt{(2R_{1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 \cdot (2X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2} \quad (3.20)$$

Где  $R_{1\Sigma}, X_{1\Sigma}$  – суммарные сопротивления прямой последовательности;  
 $R_{0\Sigma}, X_{0\Sigma}$  – суммарные сопротивления нулевой последовательности.

Сопротивление прямой и нулевой последовательности трансформатора, при соединении обмоток  $\Delta/Y$  равны друг другу. А сопротивление нулевой последовательности кабельных линий возьмём из таблицы [3 П2.4].

Точка К1:

Определим сопротивление нулевой последовательности для кабельной линии.

$$R_{0к\lambda 1} = r_0 \cdot l = 1,48 \cdot 38 = 56,24 \text{ (мОм)};$$

$$X_{0к\lambda 1} = X_0 \cdot l = 0,25 \cdot 38 = 9,5 \text{ (мОм)}.$$

$$X_{\Sigma 01} = X_{0к\lambda} + X_{0тр} + X_{расц} = 9,5 + 13,7 + 0,55 = 23,75 \text{ (мОм)}.$$

$$R_{\Sigma 01} = R_{0к\lambda} + R_{0тр} + R_{доп1} \cdot 2 = 56,24 + 3,06 + 2,78 = 62,08 \text{ (мОм)}.$$

Определим  $Z_{\Sigma 1}^{(1)}$  по формуле (3.20)

$$Z_{\Sigma 1}^{(1)} = \frac{1}{3} \sqrt{(2 \cdot 19,9 + 62,08)^2 + (2 \cdot 16,56 + 23,75)^2} = 38,9 \text{ (мОм)}$$

$$I_{к1}^{(1)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 38,9} = 5,93 \text{ (кА)}$$

Точка К2:

Определим сопротивление нулевой последовательности для кабельной линии.

$$R_{0\text{кл}2} = r_0 \cdot l = 29,6 \cdot 53,6 = 1586,6 \text{ (мОм)};$$

$$X_{0\text{кл}2} = X_0 \cdot l = 0,464 \cdot 53,6 = 24,87 \text{ (мОм)}.$$

$$X_{\Sigma 02} = X_{\Sigma 01} + X_{0\text{кл}2} + X_{\text{расц}} = 23,75 + 24,87 + 10 = 59,62 \text{ (мОм)}.$$

(17.20)

$$R_{\Sigma 02} = R_{\Sigma 01} + R_{0\text{кл}2} + R_{\text{доп}2} \cdot 2 = 62,08 + 1586,6 + 20 = 1668,7 \text{ (мОм)}.$$

Определим  $Z_{\Sigma 2}^{(1)}$ .

$$\begin{aligned} Z_{\Sigma 2}^{(1)} &= \frac{1}{3} \sqrt{(2 \cdot 436,54 + 1668,7)^2 + (2 \cdot 32,78 + 59,62)^2} \\ &= 848,28 \text{ (мОм)} \end{aligned}$$

$$I_{\text{к}2}^{(1)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 848,28} = 0,27 \text{ (кА)}$$

Точка К3:

Определим сопротивление нулевой последовательности для кабельной линии.

$$R_{0\text{кл}3} = r_0 \cdot l = 7,36 \cdot 33,6 = 247,3 \text{ (мОм)};$$

$$X_{0\text{кл}3} = X_0 \cdot l = 0,292 \cdot 33,6 = 9,8 \text{ (мОм)}.$$

$$X_{\Sigma 03} = X_{\Sigma 01} + X_{0\text{кЛЗ}} + X_{\text{расц}} = 23,75 + 9,8 + 2,7 = 36,25(\text{МОм}).$$

(17.20)

$$R_{\Sigma 03} = R_{\Sigma 01} + R_{0\text{кЛЗ}} + R_{\text{допЗ}} \cdot 2 = 62,08 + 247,3 + 13,6 = 322,98(\text{МОм}).$$

Определим  $Z_{\Sigma 3}^{(1)}$ .

$$Z_{\Sigma 3}^{(1)} = \frac{1}{3} \sqrt{(2 \cdot 89,44 + 322,98)^2 + (2 \cdot 24,48 + 36,25)^2} = 169,7 (\text{МОм})$$

$$I_{\text{кЗ}}^{(1)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 169,7} = 1,36 (\text{кА})$$

Дальнейший аналогичный расчет точек однофазного короткого замыкания продолжим в таблице (3.6).

Таблица 3.6 – Расчет однофазного короткого замыкания

№ ЭП	$R_{\text{доп}}, \text{МОм}$	$X_{\text{расц}}, \text{МОм}$	$R_{\text{сум0}}, \text{МОм}$	$X_{\text{сум0}}, \text{МОм}$	$Z_{\Sigma 3}^{(1)}, \text{МОм}$	$L, \text{м}$	$I_{\text{к}}^{(1)}, \text{кА}$
1	2,05	0,83	33,15	2,97	170,17	11,2	1,36
2	6,8	2,7	22,08	0,88	168,95	3	1,37
3	310	530	442,80	4,54	2368,82	9	0,10
4	310	530	546,12	5,59	4624,18	11,1	0,05
6	310	530	580,56	5,95	2852,84	11,8	0,08
7	10	10	533,38	10,94	1338,41	28,8	0,17
10	56	80	196,80	2,02	1019,35	4	0,23
11	56	80	236,16	2,42	692,69	4,8	0,33
19	56	80	1126,68	11,54	4416,39	22,9	0,05

Проверка на отключающую способность осуществляется по выражению:

$$I_{\text{откл}} \geq \sqrt{2} I_{\infty}^{(3)}, \quad (3.21)$$

Таблица 3.7 – Проверка автоматических выключателей.

Номер ЭП	Марка ВА	Ikз(3), кА	Предельная отк.способность, кА
ВРУ	ВА-99ML	8.92	18
ЩР-1	ВА 47-100	0.53	10
ЩР-2	ВА 47-100	2.49	10
1	ВА 47-100	6,55	10
2	ВА 47-100	6,13	10
3	ВА 47-63	0,33	4,5
4	ВА 47-63	0,22	4,5
6	ВА 47-63	0,30	4,5
7	ВА 47-100	0,98	10
10	ВА 47-63	1,04	4,5
11	ВА 47-63	1,39	4,5
19	ВА 47-63	0,30	4,5

Произведем проверку чувствительности автоматических выключателей на линиях к однофазным КЗ по условию чувствительности:

$$\frac{I_{\text{кз}}^{(1)}}{I_{\text{рц,ном}}} \geq 3. \quad (3.22)$$

Таблица 3.8 – Проверка чувствительности автоматов к однофазным КЗ.

Номер ЭП	Марка ВА	Предельная отк.способность, кА	I <sub>ном.расц.</sub> , А	Ikз(1), кА	Ikз(1)/ I <sub>ном.расц.</sub>
ВРУ	ВА-99ML	18	160	5,93	37,06
ЩР-1	ВА 47-100	10	25	0,27	10,8
ЩР-2	ВА 47-100	10	50	1,36	27,2
1	ВА 47-100	10	100	1,36	13,6
2	ВА 47-100	10	50	1,37	27,4
3	ВА 47-63	4,5	2,5	0,10	40
4	ВА 47-63	4,5	2,5	0,05	20
6	ВА 47-63	4,5	2,5	0,08	32
7	ВА 47-100	10	32	0,17	5,31
10	ВА 47-63	4,5	6	0,23	38,33
11	ВА 47-63	4,5	6	0,33	55
19	ВА 47-63	4,5	6	0,05	8,33



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом данной бакалаврской работы является проект системы электроснабжения бокса ТО Белазов. Данная система проектировалась с учетом самых современных требований.

В ходе выполнения работы были рассчитаны электрические нагрузки на силовых пунктах на основании которых произведен выбор кабелей и аппаратов защиты. Кабели были выбраны типа ВВНнг, а автоматы ВА-99 ML, ВА 47-63, ВА 47-100 производителя компании ЕКФ.

Проведены светотехнический и электротехнический расчеты освещения, на основании которых выбраны типы и расположение светильников и сечение кабелей в системе освещения. В проекте предусмотрено также аварийное освещение.

Все коммутационно-защитное оборудование проверено на отключающую способность по току трехфазного короткого замыкания и чувствительность к однофазным коротким замыканиям.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дипломное проектирование по специальности 13.03.02 «Электроснабжение» [Текст]: учебное 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.
2. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок; дата введ. 01.01.1993. – М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 2007. – 27 с.
3. Короткие замыкания и выбор электрооборудования: учебное пособие для вузов / И.П. Крючков, В.А. Старшинов, Ю.П. Гусев и др.; под ред. И.П. Крючкова, В.А. Старшинова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2012. – 568 с.: ил.
4. Старкова, Л. Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий [Текст]: Учебное пособие для вузов / А. А. Федоров, Л. Е. Старкова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 2010. – 386 с.
5. Системы электроснабжения [Электронный ресурс]: учебнометодическое пособие / сост. Н. В. Дулесова ; Сиб. федер. ун-т, ХТИ – филиал СФУ, 2016 г.
6. Пособие к «Указаниям по расчету электрических нагрузок». - М.: Всероссийский научно-исследовательский, проектно-конструкторский институт Тяжпромэлектропроект, 2013 (2-я редакция).
7. 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.
8. Правила устройства электроустановок [Текст] - 7-ое изд., перераб. и доп., с изм. – Екатеринбург: ООО «Модуль», 2013. - 701 с.
9. Каталог продукции компании ЕКФ [Электронный ресурс]: <https://ekfgroup.com/catalog/>
10. Кнорринг Г. М. Справочник по проектированию электрического освещения. Л. – Энергия, 1986.
11. Справочник кабельных линий [Электронный ресурс]: <https://k->

12. Шеховцов, В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения: методическое пособие для курсового проектирования. / В. П. Шеховцов. – М.:ФОРУМ: - ИНФРА – М, 2010 – 214 с.: ил.

13. Неклепаев, Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования: Учебное пособие для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп./ И.П. Крючков – М.: Энергоатомиздат, 2013. – 608 с.: ил.

14. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Промышленные электрические сети: в 2т./ под ред. А.А. Федорова, и Г.В. Сербиновского - 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергия,2014. – 576с.: ил.

15. Князевский, Б. А. Электроснабжение промышленных предприятий : Учеб. для студ. вузов по спец. «Электропривод и автоматизация промышленных установок» / Б.А. Князевский, Б.Ю. Липкин. - 3-е изд., перераб. и доп. - / 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1986. – 400 с.

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

17. Пособие с СНиП 11-01-95 по разработке раздела проектной документации «Охрана окружающей среды». – М.: 2000. – режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/3109389/>

18. Липкин, Б. Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок: учебник для учащихся электротехн. специальностей средних спец. учебн. заведений / Б. Ю. Липкин. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1990. – 366 с.

19. Андрусович, Б. Е. Анализ хозяйственной деятельности в промышленности: учебник / Г. Г. Виногоров, О. Ф. Мигун и др.; Под общ. ред. В. И. Стражева. – 2-е изд., стереотип. – М.: Высшая школа, 1996. – 263 с.

20. Каталог продукции промышленных светильников [Электронный ресурс]: [https://promled.com/svetodiodnie\\_promishlennye\\_svetilniki/](https://promled.com/svetodiodnie_promishlennye_svetilniki/)

21. Каталог продукции компании «Тепломаш» [Электронный ресурс]:

<http://тепломаш.рф/produkcziya/teplovyie-zavesyi/promyishlennyye/>

22. Каталог винтовых компрессоров компании «ЭнергоПРОФ» [Электронный ресурс]: <https://www.compressortyt.ru/stanciya/catalog/>

23. Каталог продукции сети магазинов «Электросеть» [Электронный ресурс]: <http://electroset19.ru/catalog/>

24. Каталог промышленный вентиляторов [Электронный ресурс]: <http://www.вентиляторъ.рф/product/>

25. Маслозаправочные установки (МЗУ) производства ЗАО «Турботект Санкт-Петербург» [Электронный ресурс]: <http://turbotectspb.com/produktsiya/maslozapravochnye-ustanovki-i-ustrojstvo-sbora-masla>

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

Г.Н.Чистяков  
подпись инициалы, фамилия

«20» 06 2019г.

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
(код и наименование специальности)

Электроснабжение бокса ТО Белазов «Разрез «Черногорский»  
(наименование темы)

Руководитель 17.06.19  
подпись, дата

доцент каф. ЭЭ,к.э.н  
должность, ученая степень

А.В.Коловский  
инициалы, фамилия

Выпускник 15.06.19  
подпись, дата

Д.А.Носырев  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер 20.06.19г.  
подпись, дата

И.А.Кычакова  
инициалы, фамилия