

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, машиностроение и автомобильный транспорт»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ А.С. Торопов  
подпись                      инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

13.03.02 - «Электроэнергетика и электротехника»  
код – наименование направления

Электроснабжение рабочих цехов ФКУ Тюрма г. Минусинска  
тема

Руководитель	_____	<u>доцент каф. ЭМиАТ, к.т.н.</u>	<u>А.В. Коловский</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>В.В. Монаенков</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____		<u>И.А. Кычакова</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия

Абакан 2024

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Электроснабжение рабочих цехов ФКУ Тюрьма г. Минусинска» содержит 53 страницы текстового документа, 25 использованных источников, 7 рисунков, 17 таблиц, 3 листа графического материала.

Ключевые слова: ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, АКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ, ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ, ПРОВЕРКА ОБОРУДОВАНИЯ.

Основной целью разработки электроснабжения является поддержание качества электроэнергии на надлежащем уровне с учетом роста нагрузок. Ключевой задачей является разработка схемы электроснабжения с учетом соответствия современным требованиям электробезопасности, надёжности и экономичности, а также учитывать специфику объекта электроснабжения.

В процессе проектирования были рассчитаны электрические нагрузки электроприемников. Для обеспечения электроприемников электрической энергией выбирались выбраны удовлетворяющие всем техническим требованиям питающие кабели, сечение и аппараты защиты. Проводился расчет токов короткого замыкания, который подтвердил правильность выбора защитной аппаратуры. Для рабочих помещений и цехов тюрьмы, в результате проектирования, разработана система электроснабжения, соответствующая всем современным требованиям.

В процессе работы использовались программы: WORD, EXCEL, VISIO.

Результаты работы могут быть применены руководством ФКУ Тюрьма г. Минусинска при проектировании реконструкции электроснабжения в цехах.

## **THE ABSTRACT**

The final qualifying work on the topic "Power supply of the workshops of the FKU Prison of Minusinsk" contains 53 pages of a text document, 25 sources used, 7 figures, 17 tables, 3 sheets of graphic material.

Keywords: DESIGN, POWER SUPPLY, ACTIVE POWER, EQUIPMENT SELECTION, EQUIPMENT INSPECTION.

The main purpose of the development of power supply is to maintain the quality of electricity at an appropriate level, taking into account the increase in loads. The key task is to develop a power supply scheme considering compliance with modern requirements of electrical safety, reliability and efficiency, as well as to take into account the specifics of the power supply facility.

During the design process, the electrical loads of the electric receivers were calculated. In order to provide electric energy to electric receivers, supply cables, cross section and protection devices that meet all technical requirements were selected. The calculation of short-circuit currents was carried out, which confirmed the correctness of the choice of protective equipment. As a result of the design, an electric power supply system has been developed for the working rooms and workshops of the prison, meeting all modern requirements.

In the process of work, the following programs were used: WORD, EXCEL, VISIO.

The results of the work can be applied by the management of the FKU Prison of Minusinsk when designing the reconstruction of power supply in workshops.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Теоретическая часть.....	6
1.1 Характеристика объекта.....	6
1.2 Требования к системе электроснабжения и электроосвещения рабочих цехов .....	8
2 Расчет электроосвещения .....	12
2.1 Расчет основного электроосвещения .....	12
2.2 Расчет аварийного электроосвещения .....	19
3 Расчетная часть .....	24
3.1 Разбивка электроприемников на группы, распределение нагрузок.....	24
3.2 Выбор конструктивного исполнения и мест кабельных линий электропроводки. Распределение нагрузок электроприемников .....	27
3.3 Выбор кабельно-проводниковой продукции и защитных автоматов.....	32
4 Расчет токов короткого замыкания .....	44
4.1 Теоретическая часть .....	44
4.2 Аналитическая часть.....	46
5 Расчет капиталовложений по укрупненным показателям стоимости .....	49
Заключение .....	51
Список использованных источников .....	52

## ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей задачей энергетики для производства и распределения электроэнергии является надежное и качественное обеспечение производственных процессов необходимыми энергоресурсами. Эффективное выполнение этой задачи возможно благодаря надлежащей организации управления энергетическим хозяйством предприятия и успешному взаимодействию их подразделений по рациональному использованию топливно-энергетических ресурсов, а также согласованным отношением энергослужб с энергосистемой и её структурами.

В современной промышленности получает широкое распространение современное оборудование - комплектные трансформаторные подстанции, комплектные распределительные установки (КРУ), силовые и осветительные шинопроводы, аппараты коммутации, защиты, автоматики, контроля, учета и так далее. Вследствие технологического роста при модернизации устаревшего оборудования на современное получается гибкая и надежная система электроснабжения, что позволяет значительно уменьшить расходы на электрообеспечение больших производственных цехов. Помимо производств, потребляющих значительную долю энергии из энергосистемы, также стоит особое внимание уделять и потребителям электроэнергии составляющих средний класс по уровню потребляемой мощности, в виду их численного превосходства. К таким объектам относится производственная сторона Главного управления Федеральной службы исполнения наказаний по Красноярскому краю (ГУФСИН России по Красноярскому краю), которая является одним из самых крупных территориальных органов уголовно-исполнительной системы России (УИС).

Так как к одной из основных задач Главного управления является – обеспечение привлечения осужденных и лиц, содержащихся под стражей, к общественно полезному труду, необходимость увеличения численности рабочих мест будет сопровождаться увеличением потребляемой электрической энергией.

Например – учреждениями ГУФСИН в первом полугодии 2022 года произведено товарной продукции, выполнено работ, оказано услуг более чем на 2 миллиарда 230 миллионов рублей. По отношению к показателям аналогичного периода прошлого года объем производства товаров, выполнения работ и оказания услуг увеличился на 17%.

Всего на оплачиваемых работах трудоустроено 9 118 осужденных – 92% от подлежащих привлечению к труду.

**Целью** настоящей дипломной работы является проектирование электроснабжения рабочих цехов ФКУ Тюрьма г. Минусинск. Являясь частью структуры Главного управления Федеральной службы исполнения наказаний по Красноярскому краю, ФКУ Тюрьма г. Минусинск так же осуществляет программу по развитию производства своих рабочих цехах, что невозможно без проектирования и реализации более новой и соответствующей современным стандартам системе электроснабжения.

## 1 Теоретическая часть

### 1.1 Характеристика объекта

Существующие рабочие цеха ФКУ Тюрьма г. Минусинск представляют собой отдельные помещения, в которых выполняются работы по производству мебельных изделий, покрасочные и сборные работы.

С точки зрения обеспечения надежного и бесперебойного питания приемники электрической энергии делятся на три категории:

1-я категория – приемники, перерыв в электроснабжении которых может повлечь за собой опасность для жизни людей или значительный материальный ущерб, связанный с повреждением оборудования, браком продукции или длительным расстройством сложного технологического процесса производства;

2-я категория – приемники, перерыв в электроснабжении которых связан с существенным недоотпуском продукции, простоем людей, механизмов, промышленного транспорта;

3-я категория – приемники, не подходящие под определение 1-й и 2-й категорий (например, приемники второстепенных цехов, не определяющих технологический процесс основного производства).

В данном случае электроприемники рабочих цехов можно отнести ко 2-й категории электроснабжения, чей перерыв в электроснабжении приводит к значительному ущербу предприятия, массовому браку продукции, расстройству сложного технологического процесса, массовому недоотпуску продукции, простоям рабочих мест, механизмов и промышленного транспорта. Остановка отдельных электроприемников на общий технологический процесс существенно не влияет, но может привести к повреждению оборудования и к экономическому ущербу.

Параметры помещения  $A \times B \times h = 18,4 \times 48 \times 9$ . Площадь равна  $883,2 \text{ м}^2$ .

Суммарная  $P_{\text{уст}} = 29,2 \text{ кВт}$ . В помещениях цехов 4 электроприемника производственного значения.

Помещения цехов относятся к сухим помещениям с относительной влажностью воздуха не превышающая 60 %. Помещение отапливаемое, критическое значение температуры не поднимается выше  $+40^\circ\text{C}$  и не падает ниже  $+15^\circ\text{C}$ .

По электробезопасности относится к классу пониженной опасности, так как на объекте очень мало токоведущих частиц (пыли, стружки и т.д.) металла, которые оседают на ЭО. Также возможно соприкосновение обслуживающего персонала одновременно с корпусом

По пожароопасности помещение корпуса относится к классу П-Па – не пожароопасное; по взрывоопасности к классу В-Па – не взрывоопасное.

Цех работает в 1 смену.

Расположение оборудования в цехе на текущий момент представлено на рисунке 1.1:

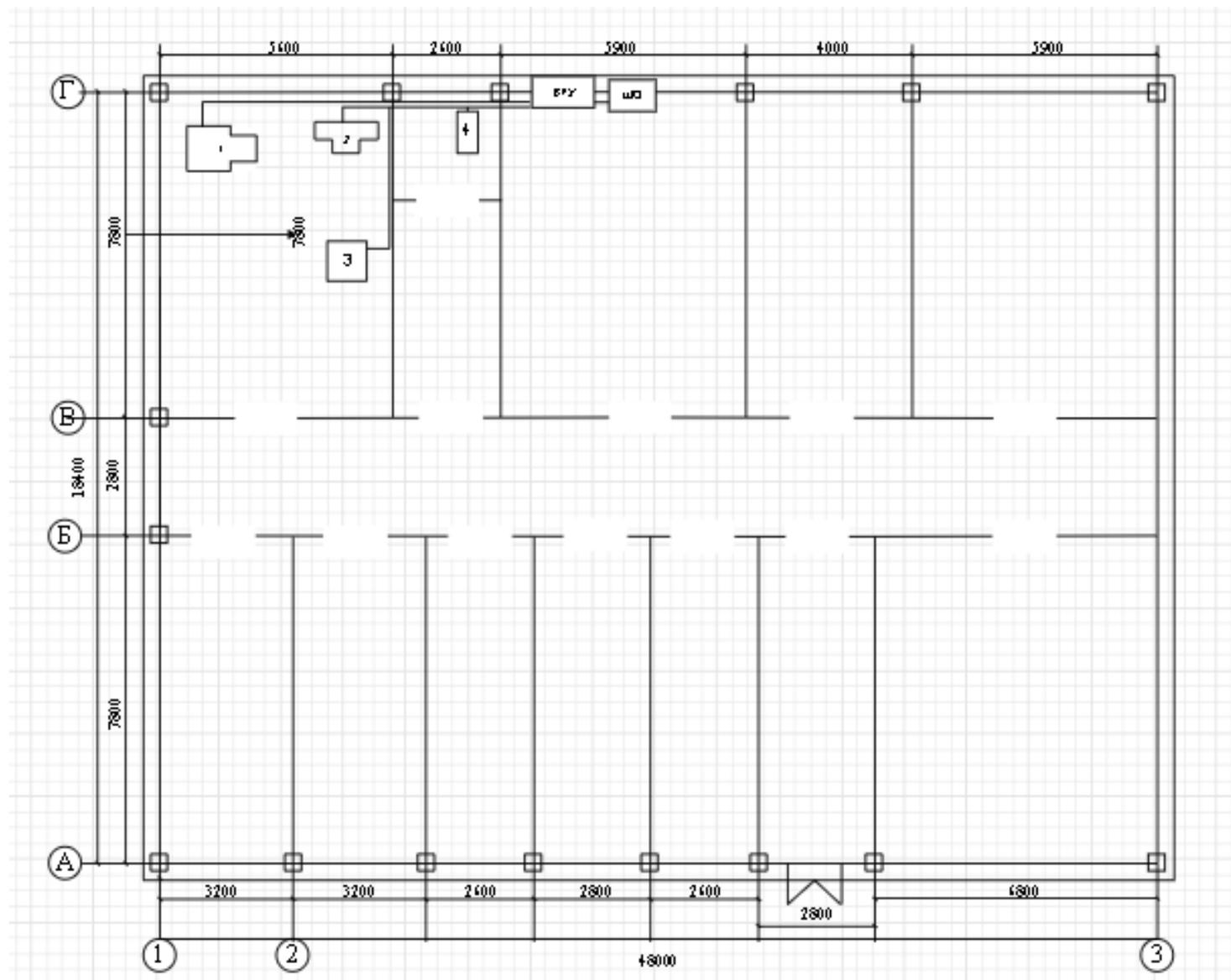


Рисунок 1.1 Расположение оборудования в рабочих цехах на текущий момент

В таблице 1.1 приведены данные по оборудованию, находящемуся в корпусе:

Таблица 1.1 – Данные по оборудованию в цеху

<b>№ на плане</b>	<b>Наименование ЭО</b>	<b><math>P_{уст}</math>, кВт</b>
1	Токарные станки	12
2	Фрезерные станки	7,5
3	Токарные автоматы	4,5
4	Окрасочные автоматы	5,2
Итого		29,2

## **1.2 Требования к системе электроснабжения и электроосвещения рабочих цехов**

Особенности электроснабжения исправительных учреждений и центров уголовно-исполнительной системы проектируются в соответствии с СП «Исправительные учреждения и центры уголовно-исполнительной системы. Правила проектирования», а также другими смежными документами в области проектирования электроснабжения, к примеру: ПУЭ, СП 256.1325800.2016, СП 52.13330.2016 и рядом других нормативных документов [1].

Согласно документации здания и сооружения на территории исправительных колоний можно отнести к различным категориям электроснабжения. Электроприёмники рабочих цехов в ФКУ Тюрьма г. Минусинска относятся ко 2-й категории.

Питание рабочих цехов ФКУ Тюрьма г. Минусинск осуществляется от комплектной трансформаторной подстанции проводом марки ВВГ-4х10. Тип прокладки кабеля - скрытый.

Выполнение электропроводки в помещениях как с постоянным, так и с временным пребыванием осужденных допускается выполнять только внутренним (скрытым) способом, так как использование открытого типа прокладки может привести как к электротравмам осужденных, так и повреждениям вследствие внешнего воздействия.

В качестве освещения наиболее разумно использовать современные светодиодные светильники, наиболее экономичные с точки зрения потребления электроэнергии, а также простые в эксплуатации. В соответствии с СП 52.13330.2016 и СП 308.1325800.2017 в учреждениях пенитенциарной системы искусственное освещение может быть не только рабочим и аварийным (внутри зданий), но и дежурным (например, наружное освещение периметра в темное время суток или внутреннее освещение коридоров корпусов (общежитий)). Аварийное освещение следует предусматривать во всех помещениях с постоянным и временным пребыванием осужденных, за исключением специфических помещений [2].

В ходе реализации стратегии развития ФСИН по укреплению материально-технической базы, улучшению условий содержания, с целью

увеличения количества рабочих мест и производственных мощностей, рабочие цеха планируется дополнительно оснастить оборудованием. В таблице 1.2 представлено планируемое оснащение предприятия электроприемниками:

Таблица 1.2 – Планируемое оснащение электроприемниками

<b>№ на плане</b>	<b>Наименование ЭО</b>	<b>P<sub>уст</sub>, кВт</b>
1	Токарные станки	12
2	Токарные станки	12
3	Фрезерные станки	7,5
4	Фрезерные станки	7,5
5	Токарные автоматы	10
6	Токарные автоматы	10
7	Токарные автоматы	10
8	Токарные автоматы	10
9	Вентиляторы	55
10	Вентиляторы	55
11	Окрасочные автоматы	5,2
12	Окрасочные автоматы	5,2
13	Сверлильные станки	3,4
14	Сверлильные станки	3,4
15	Сверлильные станки	3,4
16	Розетки	0,6
17	Заточные станки	1,5
18	Заточные станки	1,5
19	Заточные станки	1,5
20	Заточные станки	1,5
21	Заточные станки	1,5
22	Заточные станки	1,5
23	Плоскошлифовальные станки	17,2
24	Плоскошлифовальные станки	17,2
25	Плоскошлифовальные станки	17,2
26	Плоскошлифовальные станки	17,2
27	Розетки	0,6
28	Швейные станки	1
29	Швейные станки	1
30	Швейные станки	1
31	Швейные станки	1
32	Швейные станки	1
33	Швейные станки	1
34	Швейные станки	1

Продолжение Таблицы 1.2

№ на плане	Наименование ЭО	$P_{уст}$ , кВт
35	Швейные станки	1
36	Швейные станки	1
37	Швейные станки	1
38	Швейные станки	1
39	Швейные станки	1
40	Розетки	0,6
41	Розетки	0,6
42	Розетки	0,6
43	Розетки	0,6
44	Швейные станки	1
45	Швейные станки	1
46	Швейные станки	1
47	Швейные станки	1
48	Швейные станки	1
49	Швейные станки	1
50	Швейные станки	1
51	Швейные станки	1
52	Швейные станки	1
53	Швейные станки	1
54	Швейные станки	1
55	Швейные станки	1
56	Швейные станки	1
57	Швейные станки	1
58	Швейные станки	1
Итого		318

Таким образом суммарная мощность имеющихся электроприборов в цехе возрастёт с  $P_{уст0} = 29,2$  кВт до  $P_{уст} = 318$  кВт. Изменение потребляемой мощности на такое существенное значение, а также необходимость питания дополнительного оборудования требует реконструкция схемы электроснабжения с целью повышения её надежности и качества и является неотъемлемой частью реконструкции помещений.

Планируемое расположения электроприборов в рабочих цехах представлено на рисунке 1.2:

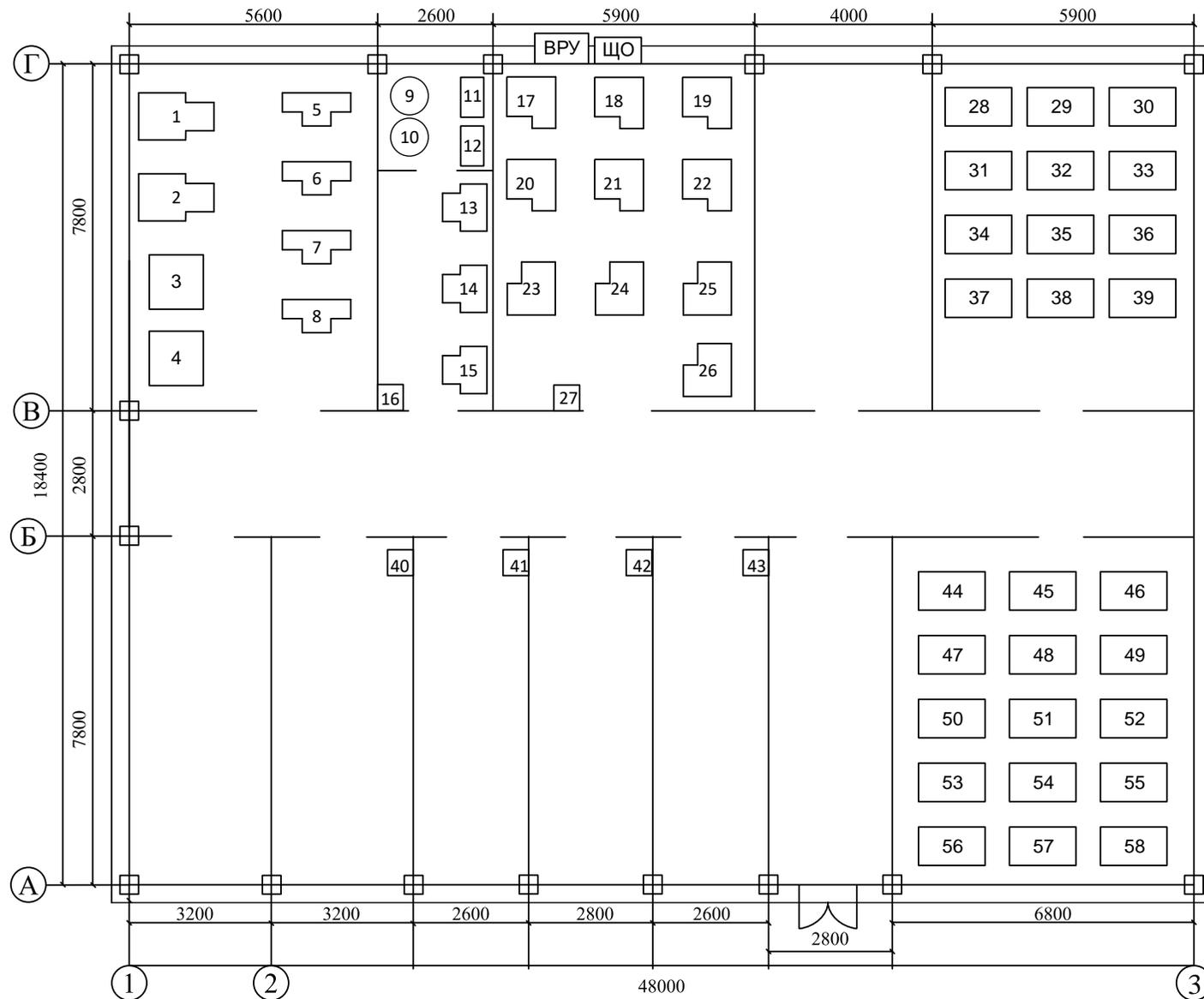


Рисунок 1.2 Проектируемое расположение оборудования в рабочих цехах

## 2 Расчет электроосвещения

### 2.1 Расчет основного электроосвещения

Размещение светильников в корпусе представлено на рисунке 2.1:

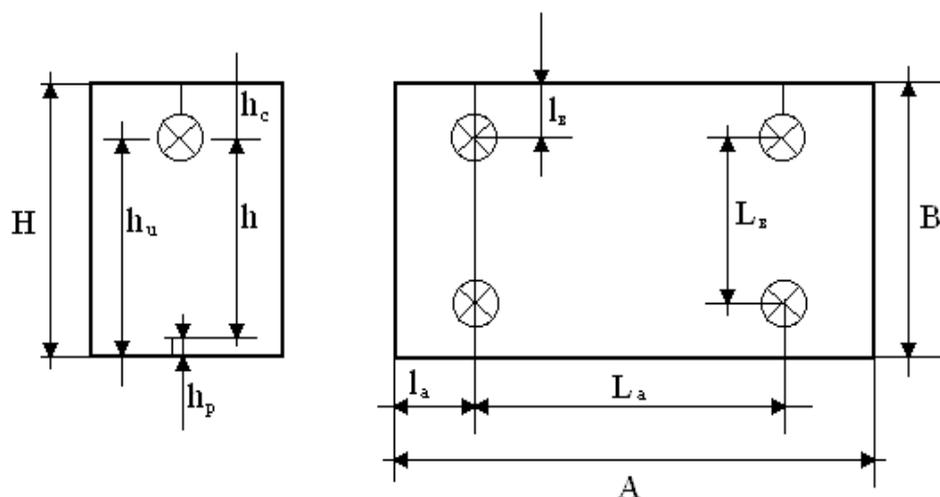


Рисунок 2.1 - Размещение светильников в корпусе

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.

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 [3].

Для рабочего освещения применим современные светодиодные светильники, а в помещениях не предназначенных для длительного пребывания людей, а также аварийное освещение – энергосберегающие лампы.

Так как, корпус содержит помещения, которые имеют не равные длину и ширину, для упрощения расчета освещения, дальнейший расчет произведем для каждого помещения в отдельности.

Произведем расчет для рабочего цеха № 1. На рисунке 2.2 представлены параметры цеха:

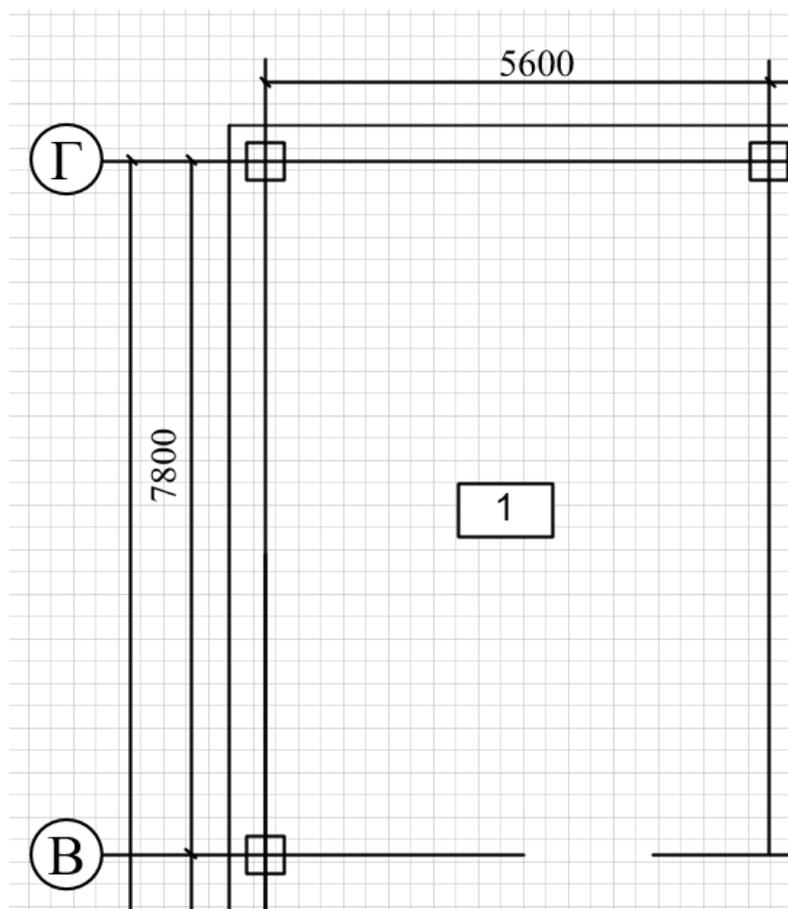


Рисунок 2.2– Цех № 1

Размеры помещения  $A \times B \times H = 7,8 \times 5,6 \times 3,1$  м.

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

Расстояние от светильников до рабочей поверхности (расчётная высота):

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

$$h = 3,1 - 0,2 - 0,8 = 2,1 \text{ м.}$$

По типу кривой силы света можно определить распределение освещенности по освещаемой поверхности, а также с помощью отношения расстояния между соседними светильниками или рядами к высоте их установки ( $L / h$ ). Для каждой кривой силы света существует оптимальное значение  $L / h$ , которое позволяет обеспечить наибольшую равномерность распределения освещенности с максимальной энергоэффективностью.

$\lambda_{\text{э}} = L / h$  – расстояние между светильниками к расчётной высоте. Принимаем  $\lambda_{\text{э}} = 1$  для светодиодных ламп.

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

$$L = \lambda_{\text{э}} \cdot h, \quad (2.2)$$

$$L = 1 \cdot 2,1 = 2,1 \text{ м.}$$

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

$$m = \frac{B-2 \cdot l_B}{L} + 1 \quad (2.3)$$

$$n = \frac{A-2 \cdot l_A}{L} + 1. \quad (2.4)$$

где  $l_A, l_B$  – расстояние от крайних светильников до стены в поперечной и продольной оси соответственно, принимаем в пределах  $(0,3 - 0,5) L$ .

$$m = \frac{B-2 \cdot l_B}{L} + 1 = \frac{5,6-2 \cdot 1}{2,1} + 1 = 2,7 = 3$$

$$n = \frac{A-2 \cdot l_A}{L} + 1 = \frac{7,8-2 \cdot 1}{2,1} + 1 = 3,76 = 4$$

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

$$L_B = \frac{B-2 \cdot l_B}{m-1} \quad (2.5)$$

$$L_A = \frac{A-2 \cdot l_A}{n-1} \quad (2.6)$$

$$L_B = \frac{5,6-2 \cdot 1}{3-1} = 1,8 \text{ м.}$$

$$L_A = \frac{7,8-2 \cdot 1}{4-1} = 1,9 \text{ м.}$$

Для прямоугольных помещений проверяется условие:

$$1 \leq L_A/L_B \leq 1,5, \quad (2.7)$$

$$L_A/L_B = 1,9/1,8 = 1,07$$

$$1 \leq 1,07 \leq 1,5.$$

Определяем общее число светильников:

$$N = n \cdot m, \quad (2.8)$$

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

Произведем аналогичный расчет по остальным помещениям, результаты занесем в таблицу 2.1:

Таблица 2.1 – Данные о расположении светильников в помещениях цеха

Помещение	A	B	H	L	n	m	$l_A$	$l_B$	$L_A$	$L_B$	$L_A/L_B$	N
1	7,8	5,6	3,1	2,1	4	3	1	1	1,9	1,8	1,07	12
2	7,8	2,6	3,1	2,1	4	1	1	1,3	1,9	-	-	4
3	7,8	5,9	3,1	2,1	4	3	1	1	1,9	1,95	1	12
4	7,8	4	3,1	2,1	4	2	1	1	1,9	2	1	8
5	7,8	5,9	3,1	2,1	4	3	1	1	1,9	1,95	1	12
6	7,8	3,2	3,1	2,1	4	2	1	1,6	1,9	-	-	4
7	7,8	3,2	3,1	2,1	4	2	1	1,6	1,9	-	-	4
8	7,8	2,6	3,1	2,1	4	1	1	1,3	1,9	-	-	4
9	7,8	2,8	3,1	2,1	4	1	1	1,4	1,9	-	-	4
10	7,8	2,6	3,1	2,1	4	1	1	1,3	1,9	-	-	4
11	7,8	2,8	3,1	2,1	4	1	1	1,4	1,9	-	-	4
12	7,8	6,8	3,1	2,1	4	3	1	1	1,9	1,6	1,2	16
13	2,8	48	3,1	2,1	1	12	1,6	1	2,1	-	-	12

Качество выпускаемой продукции, независимо от сферы производства, зависит от освещения цехов предприятия. Достаточная освещенность рабочих мест снижает риск брака, а также улучшает концентрацию внимания сотрудников и сохраняет их зрение. Поэтому вопросу разработки осветительной системы на производстве нужно уделять особое внимание.

Также необходимо учитывать особенности освещения цеха – к примеру, при недостаточной освещенности рабочего места увеличивается вероятность ошибки персонала, что ведёт к повышенным рискам брака на производстве, снижению качества продукции и т.п.

Одним из основных требований к промышленным осветительным приборам является их безопасность. Они не должны создавать рисков травматизма и ухудшать условия труда – перегреваться, издавать сильный шум, повышать пожароопасность. При эксплуатации промышленных светильников должен быть исключен риск их взрыва, также недопустимы колебания освещенности, которые приводят к быстрому утомлению глаз.

Расположение светильников основного освещения в корпусе показано на рисунке 2.3:

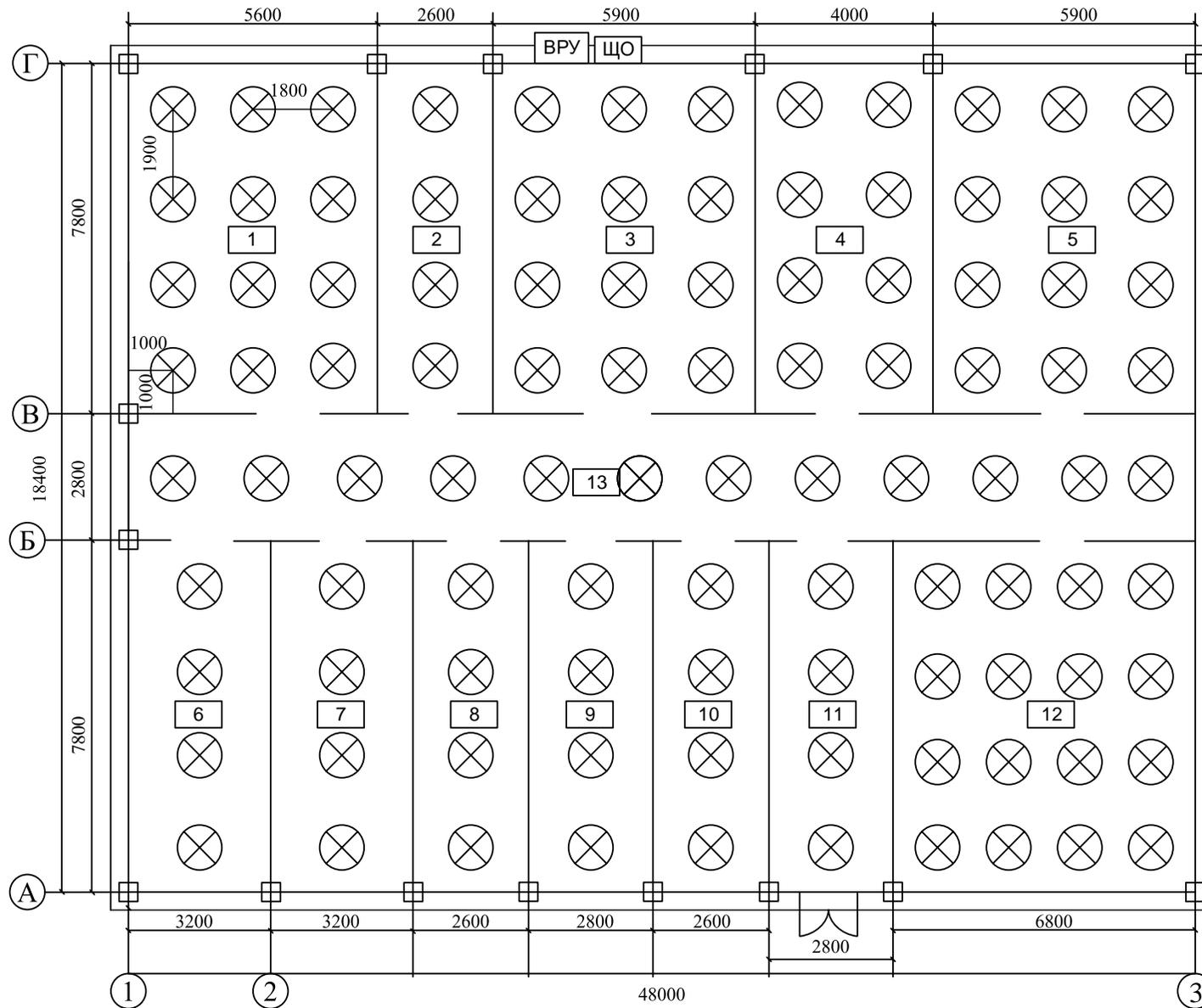


Рисунок 2.3 – Расположение ламп в корпусе

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:

$$\Phi = \frac{E_n K_{\text{зап}} \cdot F \cdot Z}{N \cdot \eta}, \quad (2.9)$$

где  $E_n$  – номинальная освещённость, 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  $i$ :

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A+B)} \quad (2.10)$$

$$i = \frac{7,8 \cdot 5,6}{2,1 \cdot (7,8+5,6)} = 1,55$$

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

Используя найденные значения коэффициентов отражения поверхностей и вычисленный индекс помещения определяем  $\eta$  – коэффициент использования светового потока источника света. Для светильника LE-CBO-16-022-1183-40X  $\eta = 0,78$  [4].

Определяем норму освещенности. Для рабочего цеха, в котором производятся основные работы принимаем норму освещенности  $E_n = 400$  лк.

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

$$\Phi = \frac{E_n \cdot K_{\text{зап}} \cdot A \cdot B \cdot z}{\eta \cdot N} = \frac{400 \cdot 1,4 \cdot 7,8 \cdot 5,6 \cdot 1,15}{0,78 \cdot 12} = 3005 \text{ лм.}$$

где  $z = 1,15$  – коэффициент минимальной освещенности для светодиодных ламп,

$K_{\text{зап}} = 1,4$  – коэффициент запаса в зависимости от помещения выбираем по табл. 2.1.

По  $\Phi$  подбираем лампу типа LE-CBO-03-033-2114-20Д мощностью 33 Вт со световым потоком  $\Phi_{\text{л}} = 3400$  лм.

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

$$\Delta\Phi_{\%} = \frac{\Phi_{л} - \Phi}{\Phi} \cdot 100\% = \frac{3400 - 3005}{3005} \cdot 100\% = 13,1 \%$$

Отклонение фактического светового потока составляет 13,1 %. Исходя из вышеперечисленных фактов принимаем выбранный тип и количество светильников.

Фактический световой поток, создаваемый принятым количеством светильников:

$$\Phi_{\phi} = N \cdot N_{л} \cdot \Phi_{л}, \quad (2.11)$$

где  $N_{л}$  – число ламп в светильнике.

$$\Phi_{\phi} = 12 \cdot 1 \cdot 3400 = 40800 \text{ (лм)}.$$

Производим аналогичный расчет по всем остальным помещениям, полученные результаты заносим в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Расчет рабочего освещения

Помещение	$E_{н}$	$K_{зап}$	$i$	$Z$	$\eta$	$\Phi_{л}$	$\Delta\Phi_{\%}$	Тип лампы	Мощность, Вт
1	400	1,4	1,55	1,15	0,78	3400	13,1%	LE-CBO-03-033-2114-20Д	33
2	400	1,4	0,92	1,15	0,78	4000	-2,3%	LED Ars-M - 30w 1ExsIIТ6 X 4000 Лм IP67	30
3	400	1,4	1,60	1,15	0,78	3400	7,4%	LE-CBO-03-033-2114-20Д	33
4	100	1,4	1,26	1,15	0,78	1000	-2,17%	Varton ЖКХ круг IP 65 10W 1000Lm	10
5	400	1,4	1,59	1,15	0,78	3400	7,4%	LE-CBO-03-033-2114-20Д	33
6	200	1,4	1,08	1,15	0,78	2500	-4,35%	LTN Prom AL-3-20 20 Вт 2600 Лм IP65	20
7	200	1,4	1,08	1,15	0,78	2500	-7,33%	LTN Prom AL-3-20 20 Вт 2600 Лм IP65	20
8	200	1,4	0,92	1,15	0,78	2093	0,35%	LE-CBO-16-022-1181-65X	22
9	200	1,4	0,98	1,15	0,78	2093	5,07%	LE-CBO-16-022-1181-65X	22
10	200	1,4	0,92	1,15	0,78	2093	7,70%	LE-CBO-16-022-1181-65X	22

Продолжение Таблицы 2.2

Помещение	$E_n$	$K_{зап}$	$i$	$Z$	$\eta$	$\Phi_{л}$	$\Delta\Phi\%$	Тип лампы	Мощность, Вт
11	100	1,4	0,98	1,15	0,78	1000	5,07%	Varton ЖКХ круг IP 65 10W 1000Lm	10
12	400	1,4	1,72	1,15	0,78	2500	-3,1%	LTN Prom AL-3-20 20 Вт 2600 Лм IP65	20
13	100	1,4	1,25	1,15	0,78	2093	-6,2%	LE-CBO-16-022-1181-65X	22

## 2.2 Расчет аварийного электроосвещения

При постоянной работе осужденных в производственных помещениях необходимо проектирование аварийной системы электроосвещения, поскольку нахождение в темноте небезопасно из-за вероятности продолжения работы оборудования.

Расчет аварийного освещения выполняем по подобию расчета рабочего освещения.

Для аварийного освещения также применяем энергосберегающие лампы.

Произведем расчет аварийного освещения в цехе № 1.

Принимаем  $\lambda_э = 1,4$  для светильников типа НСП-11 с косинусной силой света. Тогда расстояние между светильниками  $L$

$$L = 1,4 \cdot 2,1 = 2,94 \text{ м.}$$

Найдем число рядов  $m$ , и количество светильников в ряду  $n$ :

$$m = \frac{7,8-2 \cdot 3}{2,94} + 1 = 1,6 = 2$$

$$n = \frac{5,6-2 \cdot 3}{2,94} + 1 = 1$$

Пересчитываем реальные расстояния:

$$L_B = \frac{7,8-2 \cdot 3}{2-1} = 1,8 \text{ м.}$$

Так как  $L_A = \frac{5,6-2 \cdot 3}{1-1}$ , число рядов  $n = 1$ , число светильников в ряду 1

Определяем общее число светильников:

$$N = 1 \cdot 2 = 2.$$

Выполним аналогичный расчет по остальным помещениям, результаты занесем в таблицу 2.3:

Таблица 2.3 – 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
1	7,8	5,6	3,1	1,4	2,94	1	2	1,8	3	-	1,8	-	2
2	7,8	2,6	3,1	1,4	2,94	1	2	1,3	3	-	1,8	-	2
3	7,8	5,9	3,1	1,4	2,94	1	2	2,95	3	-	1,8	-	2
4	7,8	4	3,1	1,4	2,94	1	2	2	3	-	1,8	-	2
5	7,8	5,9	3,1	1,4	2,94	1	2	2,95	3	-	1,8	-	2
6	7,8	3,2	3,1	1,4	2,94	1	2	1,6	3	-	1,8	-	2
7	7,8	3,2	3,1	1,4	2,94	1	2	1,6	3	-	1,8	-	2
8	7,8	2,6	3,1	1,4	2,94	1	2	1,3	3	-	1,8	-	2
9	7,8	2,8	3,1	1,4	2,94	1	2	1,4	3	-	1,8	-	2
10	7,8	2,6	3,1	1,4	2,94	1	2	1,3	3	-	1,8	-	2
11	7,8	2,8	3,1	1,4	2,94	1	2	1,4	3	-	1,8	-	2
12	7,8	6,8	3,1	1,4	2,94	2	2	3	3	0,8	1,8	0,4	4
13	2,8	48	3,1	1,4	2,94	4	1	3	1,4	6	-	-	4

В соответствии с требованиями нормативной документации при ширине путей эвакуации до 2 м аварийное освещение должно обеспечивать уровень освещенности вдоль осевой линии эвакуационного пути не менее 1 ЛК на уровне пола (на центральном участке – не менее 0,5 ЛК).

Регламентируется также и скорость включения светильников аварийной системы освещения. Она должна составлять не более 0,5 секунды. В течение 5 секунд после включения, осветительные приборы должны обеспечить не менее 50% от необходимого уровня освещенности, а в течение 1 минуты они должны полностью заработать.

Определяя степень освещенности для разных зон при проектировании аварийного освещения, нужно учесть, что высота установки светильников должна быть не менее 2 метров. В тех зонах, где пересекаются эвакуационные маршруты, а также на открытых участках (места, где возможно появление паники при эвакуации), у пола уровень освещенности должен быть не менее 5 ЛК на всей площади участка. Исключением является зоны шириной 0,5 метра по краю периметра помещения.

Размещение светильников аварийного освещения представлено на рисунке 2.4:

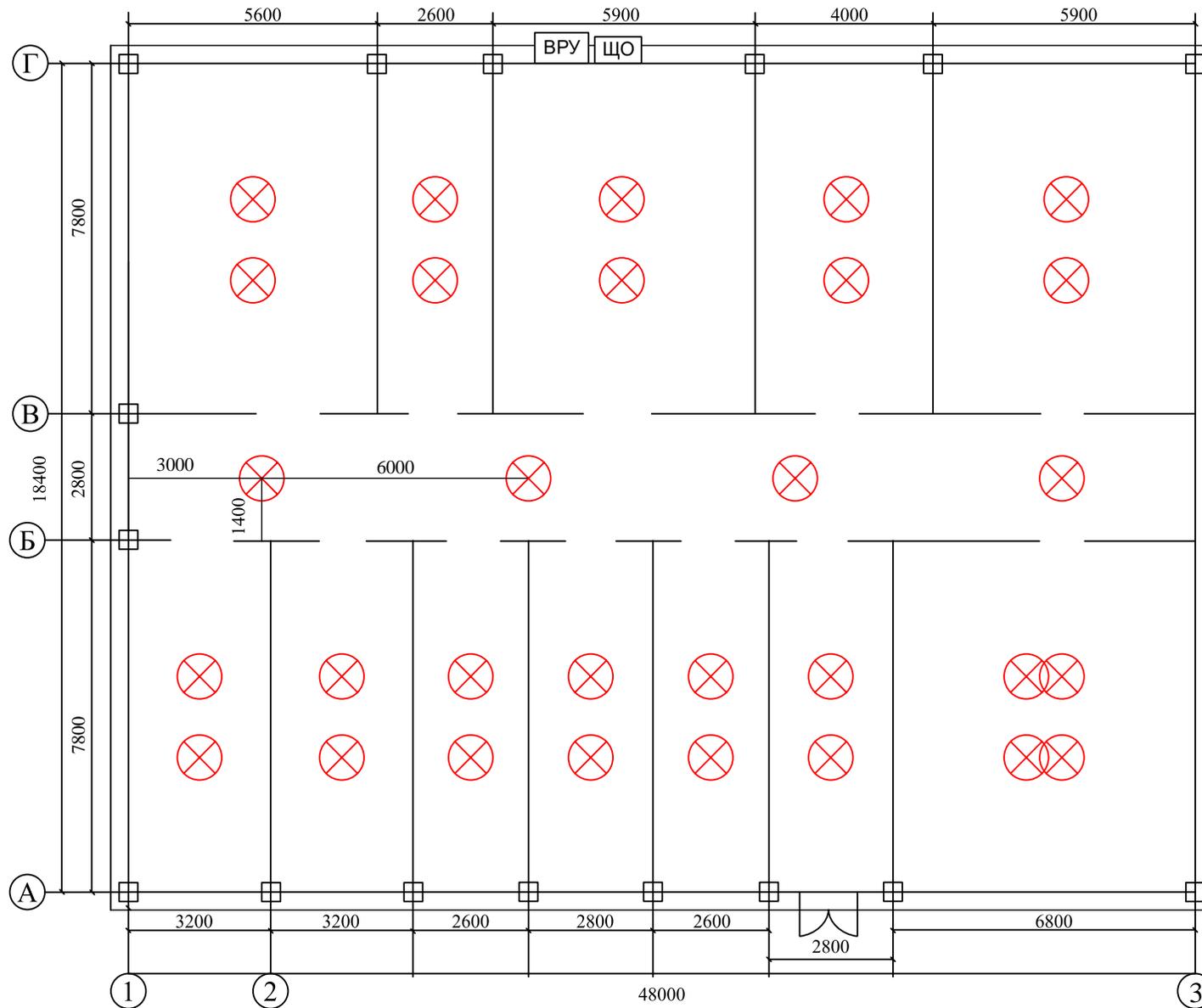


Рисунок 2.4 – Расположение ламп аварийного освещения

Индекс помещения:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{7,8 \cdot 5,6}{2,1 \cdot (7,8 + 5,6)} = 1,55.$$

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 рабочего цеха принимается:

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

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

$$\Phi = \frac{20 \cdot 1,4 \cdot 7,8 \cdot 5,6 \cdot 1,15}{2 \cdot 0,53} = 1326 \text{ (лм)}.$$

По  $\Phi$  подбираем лампу накаливания БК215-225-100 мощностью 100 Вт со световым потоком  $\Phi_{\text{л}} = 1350$  (лм). Отклонение светового потока:

$$\Delta\Phi = \frac{\Phi_{\text{л}} - \Phi}{\Phi} \cdot 100\% = \frac{1350 - 1326}{1326} \cdot 100\% = 1,8\%.$$

Различие между  $\Phi_{\text{л}}$  и  $\Phi$  1,8 %, что допустимо.

Производим аналогичный расчет по всем остальным помещениям, полученные результаты заносим в таблицу 2.4:

Таблица 2.4 – Расчет аварийного освещения

Помещение	$E_{\text{н}}$	$K_{\text{зап}}$	$i$	$Z$	$\eta$	$\Phi_{\text{л}}$	$\Delta\Phi\%$	Тип лампы	Мощность, Вт
1	20	1,4	1,55	1,15	0,53	1350	1,8%	Б215-225-100	100
2	20	1,4	0,92	1,15	0,53	710	6,97%	Б 60 Вт Е27	60
3	20	1,4	1,60	1,15	0,53	1350	-1,3%	Б215-225-100	100

Продолжение Таблицы 2.4

Помещение	$E_n$	$K_{зап}$	$i$	$Z$	$\eta$	$\Phi_{л}$	$\Delta\Phi\%$	Тип лампы	Мощность, Вт
4	5	1,4	1,26	1,15	0,53	390	- 2,17%	ДС 230-40Вт E27	40
5	20	1,4	1,59	1,15	0,53	1350	-1,3%	Б215-225-100	100
6	10	1,4	1,08	1,15	0,53	390	- 6,83%	ДС 230-40Вт E27	40
7	10	1,4	1,08	1,15	0,53	1380	9,52%	Б215-225-100	100
8	10	1,4	0,92	1,15	0,53	390	12,97 %	ДС 230-40Вт E27	40
9	10	1,4	0,98	1,15	0,53	390	- 9,00%	ДС 230-40Вт E27	40
10	10	1,4	0,92	1,15	0,53	390	- 6,25%	ДС 230-40Вт E27	40
11	5	1,4	0,98	1,15	0,53	90	- 9,00%	РН 15 Вт E14	15
12	20	1,4	1,72	1,15	0,53	935	14,97 %	Б 230-75 75 Вт E27	75
13	5		1,25	1,15	0,53	710	- 4,97%	Б 60 Вт E27	60

С учетом имеющего количества светильников и зная их мощность, осуществляется подбор провода и автоматической защиты.

Для рабочего освещения:

Выбираем алюминиевый провод марки ВВГнг 4х16 с сечением основной жилы  $s = 16 \text{ мм}^2$  и допустимым током 60 А.

Выбираем ЩО типа ОЩВ-6 IP31 на 8 присоединений.

Вводной автомат: ВА88-32 3Р 50 А.

Для аварийного освещения:

Выбираем провод марки ВВГнг 4х1,5 с сечением основной жилы  $s = 1,5 \text{ мм}^2$  и допустимым током 16 А.

Выбираем ЩАО типа ОЩВ-6 IP31 на 6 присоединений.

Вводной автомат: ВА88-32 3Р 16 А.

### 3 Расчетная часть

#### 3.1 Разбивка электроприемников на группы, распределение нагрузок

Для корректного выбора кабельной и коммутационной продукции, распределения центров нагрузок и выявления однородных электроприемников проводится определение токов, протекающих по токоведущим элементам. Также расчет электрических нагрузок является определяющим на величину затрат в системе электроснабжения.

Расчетную нагрузку, создаваемую одним из приемников электроэнергии принимают равной номинальной мощности приемника. По этой нагрузке выбирается сечение питающей линии и коммутационно защитная аппаратура.

Номинальная мощность электроприемника определяется исходя из характеристик приемников электрической энергии производственных механизмов. В рассматриваемом цехе, электроприемниками производственных механизмов выступают электродвигатели. Данный вид приемников встречается повсеместно как в быту, так и в промышленности [5].

К примеру, для токарного автомата с установленной мощностью  $P_{уст} = 10$  кВт электроприемником служит трехфазный асинхронный двигатель АИР132М4 [6].

Тогда для токарного станка номинальная мощность определяется по формуле:

$$P_{ном} = P_{уст} / \eta \cdot 100 \quad (3.1)$$

где  $\eta$  - коэффициент полезного действия. Для АИР132М4  $\eta = 88,4$

$$P_{ном} = 10 / 88,4 \cdot 100 = 11,31 \text{ кВт.}$$

Для электропривода современных станков применяются все виды двигателей. Мощность двигателей изменяется от долей до сотен киловатт и больше. Напряжение сети 660-380/220 В с частотой 50 Гц. Коэффициент мощности колеблется в широких пределах в зависимости от технологического процесса. По надежности электроснабжения можно отнести к потребителям II -й категории [7].

Определим номинальную мощность по формуле (3.1) для остальных электроприемников, свод данных представим в таблице 3.1:

Таблица 3.1 – Данные двигателей производственных механизмов

№ по плану	Наименование оборудования	$P_{насп}$ , кВт	Марка двигателя	n, об/мин	$\eta$ , %	$P_{ном}$
1,2	Токарные станки	12	АИР132М4	1500	88,4	13,57
3,4	Фрезерные станки	7,5	АИР132S4	1500	87	8,62
5,6,7,8	Токарные автоматы	10	АИР132М4	1500	88,4	11,31

Продолжение Таблицы 3.1

№ по плану	Наименование оборудования	$P_{\text{пасп}}$ , кВт	Марка двигателя	$n$ , об/мин	$\eta$ , %	$P_{\text{ном}}$
9,10	Вентиляторы	55	АИР225М4	1500	93	59,14
11,12	Окрасочные автоматы	5,2	АИР112М4	1500	85,7	5,94
13,14,15	Сверлильные станки	3,4	АИР100S4	1500	82,6	4,12
17,18,19, 20,21,22	Заточные станки	1,5	АИР80В4	1500	78,5	1,91
23,24,25, 26	Плоскошлифовальные станки	17,2	АИР160М4	1500	90	19,11
28-39,44-58	Швейные станки	1,5	АИР100L4	1500	84,2	1,78

По исходным данным определяется номинальная активная мощность приемника электроэнергии.

Расчетная нагрузка 1УР принимается равной номинальной нагрузке:

$$P_{p1} = P_{\text{ном}}, \text{ при условии, что ПВ} = 100\% \text{ [8].} \quad (3.2)$$

Реактивная мощность электроустановки определяется по выражению:

$$Q_{p1} = P_{p1} \cdot \text{tg}, \quad (3.3)$$

Полная мощность находится по выражению:

$$S_{p1} = \sqrt{P_{p1}^2 + Q_{p1}^2}, \quad (3.4)$$

Расчетный ток:

$$I_{p1} = \frac{S_{p1}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot n}, \quad (3.5)$$

где  $n$  – количество кабельных линий.

Пусковой ток:

$$I_{\text{п}} = K_{\text{п}} \cdot I_{p1}, \quad (3.6)$$

где  $K_{\text{п}}$  – кратность пускового тока [9].

Произведем расчет токарного станка с исходными характеристиками по формулам (3.2 – 3.6)  $P = 13,57$  кВт;  $\cos\varphi = 0,5$ ;  $U=220$  В;  $K=3$ :

$$P_{p1} = 13,57 \text{ кВт.}$$

$$Q_{p1} = 13,57 \cdot 1,73 = 23,51 \text{ кВАр.}$$

$$S_{p1} = \sqrt{13,57^2 + 23,51^2} = 27,15 \text{ кВА.}$$

$$I_{p1} = \frac{27,15}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 41,25 \text{ А.}$$

$$I_{\text{п}} = 3 \cdot 41,25 = 123,75 \text{ А.}$$

Аналогично рассчитываем остальное оборудование. Результаты заносим в таблицы 3.2 и 3.3:

Таблица 3.2 – Исходные данные для расчёта пускового тока

№ по плану	Наименование ЭП	$P_{ном}$ кВт	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_{р1}$ , кВт
1,2	Токарные станки	13,57	0,50	1,73	13,57
3,4	Фрезерные станки	8,62	0,50	1,73	8,62
5,6,7,8	Токарные автоматы	11,31	0,60	1,33	11,31
9,10	Вентиляторы	59,14	0,80	0,75	59,14
11,12	Окрасочные автоматы	5,94	0,8	0,75	5,94
13,14,15	Сверлильные станки	4,12	0,50	1,73	4,12
17,18, 19,20, 21,22	Заточные станки	1,91	0,50	1,73	1,91
23,24, 25,26	Швейные станки	1,78	0,60	1,33	1,78
28-39, 44-58	Плоскошлифовальные станки	19,11	0,50	1,73	19,11

Таблица 3.3 – Расчет пускового тока

№ по плану	Наименование ЭП	$Q_{р1}$ , кВар	$S_{р1}$ , кВА	$I_p$ , А	$K_{п}$	$I_{пуск}$ , А
1,2	Токарные станки	23,51	27,15	41,25	3	123,75
3,4	Фрезерные станки	14,93	17,24	26,20	3	78,59
5,6,7,8	Токарные автоматы	15,08	18,85	28,65	3	85,94
9,10	Вентиляторы	44,35	73,92	112,32	3	336,95
11,12	Окрасочные автоматы	4,46	7,43	11,29	3	33,86
13,14,15	Сверлильные станки	7,13	8,23	12,51	3	37,52
17,18, 19,20, 21,22	Заточные станки	3,31	3,82	5,81	3	17,42
23,24, 25,26	Швейные станки	2,38	2,97	4,51	3	13,53
28-39, 44-58	Плоскошлифовальные станки	33,10	38,22	58,07	3	174,22

### **3.2 Выбор конструктивного исполнения и мест кабельных линий электропроводки. Распределение нагрузок электроприемников**

Дальнейший расчёт электроснабжения производится в следующей последовательности:

1. Электроприемники в цехе должны быть распределены по силовым пунктам (силовым распределительным шкафам или шинопроводам) с выбором предпочтительного способа и схемы прокладки питающей сети цеха (от ВРУ до силовых пунктов). Выбор способа прокладки питающей сети необходимо производить, учитывая характер окружающей среды, социальные факторы и возможные места прокладки. Установка силовых распределительных пунктов и шинопроводов также должно соответствовать характеру окружающей среды.

2. Определяются расчётные электрические нагрузки на силовых пунктах в цеху.

3. Выполняется выбор сечений питающей сети, используя критерий длительно допустимой токовой нагрузки исходя из условия нагрева и проверке по потерям напряжения.

4. Выполняется выбор силовой распределительной сети и аппаратов защиты и управления цеха.

5. Проводится проверка устойчивости линий токам КЗ, отключающую способность аппаратов защиты цехового оборудования

Для схем распределения электроэнергии внутри цехов характерна значительная разветвленность сети, а также наличие большого количества коммутационно-защитной аппаратуры, что является необходимым фактором для обеспечения надежности системы электроснабжения, однако, что приводит к значительному влиянию на технико-экономические показатели. На выбор схемы и конструктивное исполнение цеховой сети оказывают влияние ряд факторов:

- степень ответственности приемников электроэнергии;
- режимы их работы;
- размещение электроприемников на территории корпуса;
- номинальные токи и напряжения.

В виду необходимости производить скрытую электропроводку, целесообразно электроснабжение выполнить путем группировки электроприёмников в распределительном щите [10].

Распределение электроприёмников по пунктам питания осуществляется путём подключения группы электроприёмников к соответствующему распределительному пункту (ПР). Так как ПР бывают различных типов и имеют определённое число присоединений, от 4-х до 8-ми, то для каждого электроприёмника необходимо выбрать соответствующий предохранитель. Кроме того, для каждого ПР необходимо выбрать защитный аппарат – автоматический выключатель. На рисунке 3.1 представлена схема электроснабжения 2-го уровня на примере помещения рабочего цеха:

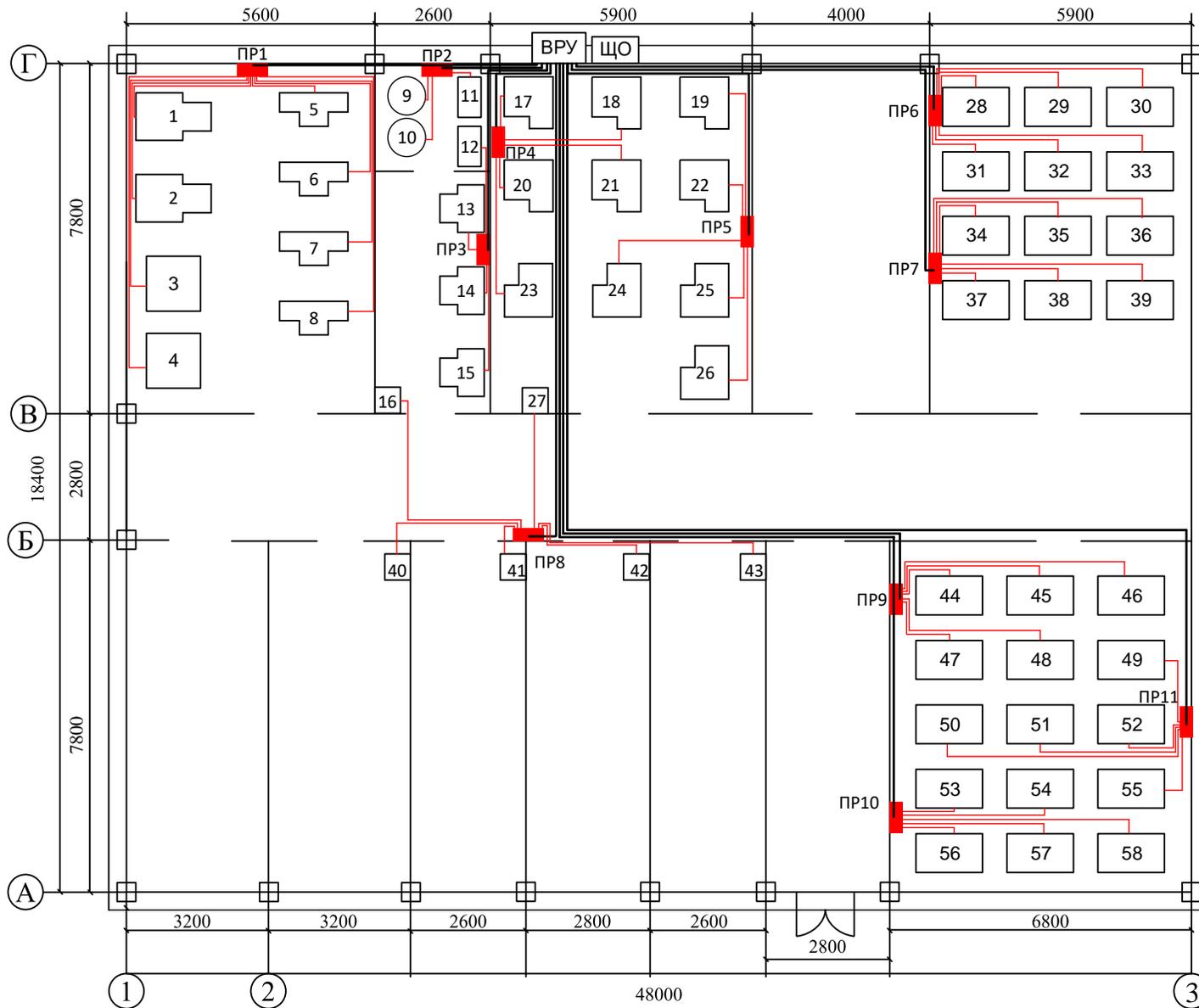


Рисунок 3.1 - схема электроснабжения 2-го уровня на примере помещения рабочего цеха

Результаты групп электроприемников по ПР представлены в таблице 3.4:

Таблица 3.4 – Распределение электроприемников по ПР

Исходные данные								Расчетные величины		
Наименование ЭП	Количество ЭП $n$ , шт.	Номинальная мощность, кВт			Коэффициент использования $K_{исп}$	Коэффициент реактивной мощности		$K_{и} \cdot P_{ном}$	$K_{и} \cdot P_{ном} \cdot \text{tg } \varphi$	$n \cdot p^2_{ном}$
		одного ЭП		общая $P_{ном} = S(n \cdot p_{ном})$		$\cos \varphi$	$\text{tg } \varphi$			
		$p_{ном}$								
		$p_{ном, \min}$	$p_{ном, \max}$							
ПР1										
Токарные станки	2		13,57	27,15	0,1 6	0,50	1,73	4,34	7,52	368,54
Токарные автоматы	4		11,31	45,25	0,1 6	0,60	1,33	7,24	9,65	511,87
Фрезерные станки	2		8,62	17,24	0,1 6	0,50	1,73	2,76	4,78	148,61
Итого ПР1	8			89,64	0,1 6	0,55	1,53	14,3 4	21,9 5	1029,02
ПР2										
Вентиляторы	2		59,14	118,2 8	0,4 0	0,80	0,75	47,3 1	35,4 8	6995,08
Окрасочные автоматы	1		5,53	5,53	0,1 6	0,80	0,75	0,89	0,66	30,60
Итого ПР2	3			123,8 1	0,3 9	0,80	0,75	48,2 0	36,1 5	7025,68
ПР3										
Окрасочные автоматы	1		5,53	5,53	0,1 6	0,80	0,75	0,89	0,66	30,60
Сверлильные станки	3		4,12	12,36	0,1 6	0,50	1,73	1,98	3,43	50,92
Итого ПР3	4			17,89	0,1 6	0,57	1,43	2,86	4,09	81,53
ПР4										
Заточные станки	4		1,91	7,64	0,1 6	0,50	1,73	1,22	2,12	14,59
Плоскошлифовальные станки	1		19,11	19,11	0,1 6	0,50	1,73	3,06	5,30	365,23
Итого ПР4	5			26,75	0,1 6	0,50	1,73	4,28	7,41	379,83

Продолжение Таблицы 3.4

Исходные данные								Расчетные величины		
Наименование ЭП	Количество ЭП $n$ , шт.	Номинальная мощность, кВт			Коэффициент использования $K_{исп}$	Коэффициент реактивной мощности		$K_{и} \cdot P_{ном}$	$K_{и} \cdot P_{ном} \cdot \text{tg } \varphi$	$n \cdot p^2_{ном}$
		одного ЭП		общая $P_{ном} = S(n \cdot p_{но})$		$\cos \varphi$	$\text{tg } \varphi$			
		$p_{ном}$								
		$p_{ном, \min}$	$p_{ном, \max}$							
<b>ПР5</b>										
Заточные станки	2		1,91	3,82	0,1 6	0,50	1,73	0,61	1,06	7,30
Плоскошлифовальные станки	3		19,11	57,33	0,1 6	0,50	1,73	9,17	15,8 9	1095,70
Итого ПР5	5			61,15	0,1 6	0,50	1,73	9,78	16,9 5	1103,00
<b>ПР6</b>										
Швейные станки	6		1,19	7,14	0,6 0	0,60	1,33	4,28	5,71	8,50
Итого ПР6	6			7,14	0,6 0	0,60	1,33	4,28	5,71	8,50
<b>ПР7</b>										
Швейные станки	6		1,19	7,14	0,6 0	0,60	1,33	4,28	5,71	8,50
Итого ПР7	6			7,14	0,6 0	0,60	1,33	4,28	5,71	8,50
<b>ПР8</b>										
Розетки	6		0,60	3,60	0,1 6	0,50	1,73	0,58	1,00	2,16
Итого ПР8	6			3,60	0,1 6	0,50	1,73	0,58	1,00	2,16
<b>ПР9</b>										
Швейные станки	5		1,19	5,95	0,6 0	0,60	1,33	3,57	4,76	7,08
Итого ПР9	5			5,95	0,6 0	0,60	1,33	3,57	4,76	7,08
<b>ПР10</b>										
Швейные станки	5		1,19	5,95	0,6 0	0,60	1,33	3,57	4,76	7,08
Итого ПР10	5			5,95	0,6 0	0,60	1,33	3,57	4,76	7,08
<b>ПР11</b>										
Швейные станки	5		1,19	5,95	0,6 0	0,60	1,33	3,57	4,76	7,08
Итого ПР11	5			5,95	0,6 0	0,60	1,33	3,57	4,76	7,08

После разбивки электроприемников по ПР можно осуществить расчет токов распределительных пунктов, данные представлены в таблице 3.5:

Таблица 3.5 - Определение расчетного тока групп электроприемников по ПР

Пункт распределительный	Эффективный коэффициент загрузки $n_3 = 2 \cdot S_{\text{ном}} / P_{\text{ном, max}}$	число расчетной нагрузки $K_p$	Расчетная мощность			$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}}$ Расчетный ток, А
			активная, кВт	реактивная, квар	полная, кВА	
	$P_p = K_p \cdot S (K_n \cdot P_{\text{ном}})$	$Q_p = K_p \cdot S (K_n \cdot P_{\text{ном}} \cdot \text{tg } \varphi)$	$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$			
Итог ПР1	7,81	1,35	19,36	29,64	35,40	53,85
Итог ПР2	2,18	1,91	92,06	69,04	115,07	175,04
Итог ПР3	3,93	2,31	6,61	9,45	11,53	17,54
Итог ПР4	1,88	1,86	7,96	13,79	15,92	24,22
Итог ПР5	3,39	1,86	18,20	31,52	36,40	55,37
Итог ПР6	6,00	1,35	5,78	7,71	9,64	14,66
Итог ПР7	6,00	1,91	8,18	10,91	13,64	20,74
Итог ПР8	6,00	2,31	1,33	2,30	2,66	4,05
Итог ПР9	5,00	1,86	6,64	8,85	11,07	16,83
Итог ПР10	5,00	1,86	6,64	8,85	11,07	16,83
Итог ПР11	5,00	1,86	6,64	8,85	11,07	16,83

Силовые пункты выбираем исходя из количества присоединений и рабочего тока самого пункта и номинального напряжения.

Условие выбора СП [11]:

$$I_{\text{расч СП}} \leq I_{\text{ном СП}}, \quad (3.7)$$

где  $I_{\text{расч СП}}$  - расчетный ток группы ЭП, присоединенных к СП (2 уровень ЭС);

$I_{\text{ном СП}}$  - номинальный ток СП.

В качестве распределительных пунктов выбираем шкафы серии ПР, навесного исполнения (1,5 м над полом), которые рассчитаны на ввод и распределение трехфазной или однофазной электрической сети 380/220В, частоту 50 Гц. Степень защиты оболочки от пыли и воды IP54, климатическое исполнение и категория размещения УХЛЗ [12]. В таблице 3.6 представлены данные по выбранным распределительным пунктам:

Таблица 3.6 - Выбор силовых пунктов

Наименование	Марка	Расчетный ток, А	Номинальный ток, А	Количество присоединений СП	Число присоединений ЭП к СП
ПР1	ПР8804-3022-54 УХЛЗ	53,9	64	8	8
ПР2	ПР8804-3001-54 УХЛЗ	175,0	200	4	3
ПР3	ПР8804-3016-54 УХЛЗ	17,5	40	4	4
ПР4	ПР8804-3038-54 УХЛЗ	24,2	40	6	5
ПР5	ПР8804-3022-54 УХЛЗ	55,4	64	8	5
ПР6	ПР8804-3038-54 УХЛЗ	14,7	40	6	6
ПР7	ПР8804-3038-54 УХЛЗ	20,7	40	6	6
ПР8	ПР8804-3038-54 УХЛЗ	4,0	40	6	6
ПР9	ПР8804-3038-54 УХЛЗ	16,8	40	6	5
ПР10	ПР8804-3038-54 УХЛЗ	16,8	40	6	5
ПР11	ПР8804-3038-54 УХЛЗ	16,8	40	6	5

### 3.3 Выбор кабельно-проводниковой продукции и защитных автоматов

По данным расчетных токов подбираем кабель и устройство автоматической защиты. При подборе силового кабеля расчетный ток не должен превышать номинальные характеристики кабеля по нагреву и максимально допустимому току, при этом устройство автоматической защиты

обеспечивает работу электрооборудования в нормальном режиме и срабатывает при повышении, проходящей по кабелю нагрузки, не превышающей предельно-допустимые значения характеристики кабеля во избежание его повреждения. Подобным образом осуществляется группировка всех электроприемников и подбираются необходимые компоненты обеспечивая надёжность и экономичность при выборе оборудования [13].

В качестве аппаратов защиты электроприемников и электрических сетей участка корпуса устанавливаем автоматические выключатели. Автоматические выключатели одновременно выполняют функции защиты и управления: защищают кабели, провода, электрические сети и потребителей от перегрузки и короткого замыкания (сверхтоков короткого замыкания), а также обеспечивают нормальный режим протекания электротока в цепи и осуществляют управление участками электроцепей. Автоматы имеют защитные (спусковые) устройства двух типов: тепловое реле с выдержкой времени для защиты от перегрузки и электромагнитное реле для защиты от короткого замыкания [14].

Выбор автоматических выключателей для защиты линий, питающих группу электроприёмников, производим по следующим выражениям:

Пиковый ток группы ЭП:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п.нб}} + (I_{\text{р}} - k_{\text{и.нб}} I_{\text{н.нб}}), \quad (3.8)$$

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:

$$I_{\text{расчк}} = I_{\text{расч}} \cdot k_{\text{н}}, \quad (3.9)$$

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:

$$I_{\text{ок}} = I_{\text{пик}} \cdot k_{\text{отс}}, \quad (3.10)$$

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:

$$k_{\text{кр}} = \frac{I_{\text{ок}}}{I_{\text{ном расц}}}, \quad (3.11)$$

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

Окончательным условием при выборе АВ является его проверка:

$$k_{\text{кр}} \leq 10. \quad (3.12)$$

Пример: произведем выбор АВ на ПР1 (вариант1)

$$I_{\text{расчк}} = 194 \text{ А},$$

По справочнику выберем ВА 51-35 с  $I_{\text{ном}} = 250 \text{ А}$ ,  $I_{\text{ном расц}} = 250 \text{ А}$  [15].

$$I_{\text{пик}} = 419,1 \text{ А},$$

$$I_{\text{ок}} = I_{\text{пик}} \cdot k_{\text{отс}} = 419,1 \cdot 1,2 = 502,9 \text{ А},$$

$$k_{\text{кр}} = \frac{I_{\text{ок}}}{I_{\text{ном расц}}} = \frac{502,9}{250} = 2,01 \text{ А}.$$

Проверим по условию:

$$k_{\text{кр}} \leq 10,$$

$$2,01 \leq 10.$$

Дальнейший выбор выключателей аналогичный, сведем выбранные и расчетные данные в таблицу 3.7:

Таблица 3.7 – Выбор АВ для СП

№ ЭП	$I_{\text{расч}}$ , (А)	$I_{\text{пик}}$ , (А)	$k_{\text{н}}$	$k_{\text{отс}}$	$I_{\text{расч.к}}$	Тип автомата ч.вык	$I_{\text{ном. вык}}$	$I_{\text{ном.р ас.}}$	$I_{\text{ок}}$	$k_{\text{кр}}$	$k_{\text{кр. ном}}$
ПР1	53,85	171,0	1,1	1,2	59,24	ВА 47-100 63А	63	63	205,2	3,26	10,0
ПР2	175,04	467,1	1,1	1,2	192,54	ВА 51-35	250	200	560,5	2,80	10,0
ПР3	17,54	47,4	1,1	1,2	19,29	ВА 47-100 25А	25	25	56,9	2,27	10,0

Продолжение Таблицы 3.7

№ ЭП	Ирасч , (А)	Ипик, (А)	Кн	Котс	Ирас.к	Тип автомати ч.вык	И ном. вык	И ном.р ас.	Иок	Кк р	К кр. ном
ПР4	24,22	189, 1	1,1	1,2	26,64	ВА 47-100 63А	63	63	227, 0	7,0 9	10,0
ПР5	55,37	220, 3	1,1	1,2	60,90	ВА 47-100 63А	63	63	264, 4	4,2 0	10,0
ПР6	14,66	21,9	1,1	1,2	16,13	ВА 47-100 25А	25	25	26,3	1,0 5	10,0
ПР7	20,74	28,0	1,1	1,2	22,82	ВА 47-100 25А	25	25	33,6	1,3 4	10,0
ПР8	4,05	12,4	1,1	1,2	4,45	ВА 47-100 25А	25	25	14,9	2,4 8	10,0
ПР9	16,83	24,1	1,1	1,2	18,52	ВА 47-100 25А	25	25	28,9	1,1 5	10,0
ПР10	16,83	24,1	1,1	1,2	18,52	ВА 47-100 25А	25	25	28,9	1,1 5	10,0
ПР11	16,83	24,1	1,1	1,2	18,52	ВА 47-100 25А	25	25	28,9	1,1 5	10,0

Выбор автоматических выключателей для защиты отдельных электроприёмников производим по следующим формулам:

Расчетный ток с учетом коэффициента надежности отстройки от перегрузки:

$$I_{расчк} = I_{расч} \cdot k_n, \quad (3.13)$$

где  $I_{расч}$  - расчетный ток ЭП,  $k_n$ - коэффициент надежности, примем  $k_n = 1,1$ .

Ток отсечки с учетом коэффициента отстройки отсечки:

$$I_{ок} = I_{пуск} \cdot k_{отс}, \quad (3.14)$$

где  $I_{пуск}$ -пусковой ток группы ЭП,  $k_{отс}$ - отстройки отсечки, примем  $k_{отс} = 1,2$  [16].

Далее выбираем АВ. Расчетная кратность тока отсечки:

$$k_{кр} = \frac{I_{ок}}{I_{ном\ расц}}, \quad (3.15)$$

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

Окончательным условием при выборе АВ. является его проверка:

$$k_{кр} \leq 10. \quad (3.16)$$

Пример: произведем выбор АВ для ЭП № 1:

$$I_{\text{расчк}} = I_{\text{расч}} \cdot k_{\text{Н}} = 112,32 \cdot 1,1 = 123,55 \text{ А,}$$

По справочнику выберем ВА 51-33 с  $I_{\text{НОМ}} = 160 \text{ А}$ ,  $I_{\text{НОМ расц}} = 125 \text{ А}$ .

$$I_{\text{пуска}} = 336,95 \text{ А,}$$

$$I_{\text{ок}} = I_{\text{пуска}} \cdot k_{\text{отс}} = 336,95 \cdot 1,2 = 404,34 \text{ А,}$$

$$k_{\text{кр}} = \frac{I_{\text{ок}}}{I_{\text{НОМ расц}}} = \frac{404,34}{125} = 3,23 \text{ А,}$$

Проверим по условию:

$$k_{\text{кр}} = 3,23$$

т.е удовлетворяет условию окончательного выбора АВ:

$$k_{\text{кр}} \leq 10,$$

$$3,23 \leq 10.$$

Дальнейший выбор выключателей аналогичный, сведем расчетные данные в таблицу 3.8:

Таблица 3.8 – Выбор АВ для электроприемников

№ ЭП	Название	$I_{\text{расч}}, \text{ А}$	$I_{\text{пуск}}, \text{ А}$	$k_{\text{Н}}$	$k_{\text{отс}}$	$I_{\text{расчк}}, \text{ А}$	Тип автомат а,серия	$I_{\text{НОМ}} \text{ А}$	$I_{\text{НОМ расц}}$	$I_{\text{ок}}$	$k_{\text{кр}}$	$k_{\text{кр но}}$
1	Токарные станки	41,2 5	123,7 5	1,1	1,2	45,3 7	ВА 47-100 63А	63	63	148, 50	2,3 6	10
2	Токарные станки	41,2 5	123,7 5	1,1	1,2	45,3 7	ВА 47-100 63А	63	63	148, 50	2,3 6	10
3	Фрезерные станки	26,2 0	78,59	1,0	1,0	26,2 0	ВА 47-100 32А	32	32	26,2 0	0,8 2	10
4	Фрезерные станки	26,2 0	78,59	1,0	1,0	26,2 0	ВА 47-100 32А	32	32	26,2 0	0,8 2	10
5	Токарные автоматы	28,6 5	85,94	1,0	1,0	28,6 5	ВА 47-100 32А	32	32	28,6 5	0,9 0	10
6	Токарные автоматы	28,6 5	85,94	1,1	1,2	31,5 1	ВА 47-100 32А	32	32	103, 12	3,2 2	10
7	Токарные автоматы	28,6 5	85,94	1,1	1,2	31,5 1	ВА 47-100 32А	32	32	103, 12	3,2 2	10
8	Токарные автоматы	28,6 5	85,94	1,1	1,2	31,5 1	ВА 47-100 32А	32	32	103, 12	3,2 2	10
9	Вентиляторы	112, 32	336,9 5	1,1	1,2	123, 55	ВА 47-100 125А	12 5	12 5	404, 34	3,2 3	10

Продолжение Таблицы 3.8

№ ЭП	Название	$I_{расч},$ А	$I_{пуск},$ А	$K_H$	$K_{отс}$	$I_{расч}K_H,$ А	Тип автомат а,серия	$I_{ном}$ А	$I_{ном}$ расц	$I_{ок}$	$K_{кр}$	$K_{кр}$ но
10	Вентиляторы	112, 32	336,9 5	1,1	1,2	123, 55	ВА 47- 100 125А	12 5	12 5	404, 34	3,2 3	10
11	Окрасочные автоматы	10,5 1	31,52	1,1	1,2	11,5 6	ВА 47- 100 25А	25	25	37,8 2	1,5 1	10
12	Окрасочные автоматы	10,5 1	31,52	1,1	1,2	11,5 6	ВА 51- 25	25	20	37,8 2	1,8 9	10
13	Сверлильные станки	12,5 1	37,52	1,1	1,2	13,7 6	ВА 51- 25	25	20	45,0 3	2,2 5	10
14	Сверлильные станки	12,5 1	37,52	1,1	1,2	13,7 6	ВА 51- 25	25	8	45,0 3	5,6 3	10
15	Сверлильные станки	12,5 1	37,52	1,1	1,2	13,7 6	ВА 51- 25	25	8	45,0 3	5,6 3	10
16	Розетки	2,18	8,72	1,1	1,2	2,40	ВА 47- 100 6А	6	6	10,4 7	1,7 4	10
17	Заточные станки	5,81	17,42	1,1	1,2	6,39	ВА 47- 100 32А	32	32	20,9 0	0,6 5	10
18	Заточные станки	5,81	17,42	1,1	1,2	6,39	ВА 47- 100 32А	32	32	20,9 0	0,6 5	10
19	Заточные станки	5,81	17,42	1,1	1,2	6,39	ВА 47- 100 25А	25	25	20,9 0	0,8 4	10
20	Заточные станки	5,81	17,42	1,1	1,2	6,39	ВА 47- 100 32А	32	32	20,9 0	0,6 5	10
21	Заточные станки	5,81	17,42	1,1	1,2	6,39	ВА 47- 100 32А	32	32	20,9 0	0,6 5	10
22	Заточные станки	5,81	17,42	1,1	1,2	6,39	ВА 47- 100 25А	25	25	20,9 0	0,8 4	10
23	Плоскошлифо вальные станки	58,0 7	174,2 2	1,1	1,2	63,8 8	ВА 47- 100 63А	63	63	209, 06	3,3 2	10
24	Плоскошлифо вальные станки	58,0 7	174,2 2	1,1	1,2	63,8 8	ВА 47- 100 63А	63	63	209, 06	3,3 2	10
25	Плоскошлифо вальные станки	58,0 7	174,2 2	1,1	1,2	63,8 8	ВА 47- 100 63А	63	63	209, 06	3,3 2	10
26	Плоскошлифо вальные станки	58,0 7	174,2 2	1,1	1,2	63,8 8	ВА 47- 100 63А	63	63	209, 06	3,3 2	10
27	Розетки	2,18	8,72	1,1	1,2	2,40	ВА 47- 100 25А	25	6	10,4 7	1,7 4	10
28	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10
29	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10
30	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10

Продолжение Таблицы 3.8

№ ЭП	Название	$I_{расч},$ А	$I_{пуск},$ А	$K_H$	$K_{отс}$	$I_{расч}K,$ А	Тип автомат а,серия	$I_{ном}$ А	$I_{ном}$ расц	$I_{ок}$	$K_{кр}$	$K_{кр}$ но
31	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10
32	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10
33	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10
34	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10
35	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10
36	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10
37	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10
38	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10
39	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10
40	Розетки	2,18	8,72	1,1	1,2	2,40	ВА 47- 100 25А	25	6	10,4 7	1,7 4	10
41	Розетки	2,18	8,72	1,1	1,2	2,40	ВА 47- 100 25А	25	6	10,4 7	1,7 4	10
42	Розетки	2,18	8,72	1,1	1,2	2,40	ВА 47- 100 25А	25	6	10,4 7	1,7 4	10
43	Розетки	2,18	8,72	1,1	1,2	2,40	ВА 47- 100 25А	25	6	10,4 7	1,7 4	10
44	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10
45	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10
46	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10
47	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10
48	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10
49	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10
50	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10
51	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10
52	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10
53	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10

Окончание Таблицы 3.8

№ ЭП	Название	$I_{расч},$ А	$I_{пуск},$ А	$K_H$	$K_{отс}$	$I_{расч}K_H,$ А	Тип автомат а,серия	$I_{ном}$ А	$I_{ном}$ расц	$I_{ок}$	$K_{кр}$	$K_{кр}$ но
54	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10
55	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10
56	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10
57	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10
58	Швейные станки	3,01	9,02	1,1	1,2	3,31	ВА 47- 100 25А	25	6	10,8 3	1,8 0	10

Главным параметром при выборе КЛ будет являться условие окружающей среды. В данном корпусе нормальные условия окружающей среды, выберем КЛ марки ВВГнг-LS – (силовой кабель с медной жилой, изоляцией и оболочкой из ПВХ пониженной пожарной опасности). Ранее уже был выбран способ прокладки – внутренний [17]. Класс напряжения 380 В, выбираем 4х жильный кабель.

Сечение кабеля выбирается по нагреву длительным расчетным током, тогда приведенный расчетный ток, будет определяться по выражению:

$$I_{расчп} = I_{расч} \cdot k_{кп} , \quad (3.17)$$

где  $k_{кп}$  – поправочный коэффициент, учитывающий условия прокладки кабеля, т.к. выбрали прокладку скрытую, то  $k_{кп} = 1.2$ .

По справочной литературе находим сечение проводника, удовлетворяющее условию:

$$I_{доп} \geq I_{расчп} , \quad (3.18)$$

Приведенный ток защиты при защите линии автоматом:

$$I_{расчпАВ} = \frac{I_{ном АВ}}{k_{кп}} , \quad (3.19)$$

где  $I_{ном АВ}$  – номинальный ток автомата.

Затем выбираем окончательное сечение кабеля, следуя условию КЛ = КА [18].

Пример: выбор КЛ для ЭП №1

$$I_{расч} = 41,25 \text{ А},$$

$$I_{расчп} = I_{расч} \cdot k_{кп} = 41,25 \cdot 0,9 = 40,5 \text{ А}.$$

Предварительно выбираем кабель сечением  $F = 4 \times 10 \text{ мм}^2$  с  $I_{\text{доп}} = 45 \text{ А}$ ,  
 $I_{\text{ном АВ}} = 45 \text{ А}$ .

$$I_{\text{расчп АВ}} = \frac{45}{0,9} = 50 \text{ А}.$$

по полученному  $I_{\text{расчп АВ}}$  выберем сечение кабеля:  $F = 4 \times 16 \text{ мм}^2$ .

Выбор КЛ для всех ЭП и СП аналогичен, для ШРА кабель не выбираем так как он на жестком вводе. Сведем выбранные и расчетные данные в таблицу 3.9:

Таблица 3.9 – Выбор КЛ для электроприемников

Трасса		Длина, м	Кабель, провод				$I_{\text{расч}}, \text{ А}$
начало	конец		Марка	Кол-во и сечение жил	$R_0,$ Ом/км	$X_0,$ Ом/км	
ШРА	ПР1	8,5	ВВГнг-LS	3x10+1x6	1,84	0,073	59,24
ШРА	ПР2	4,3	ВВГнг-LS	3x70+1x25	0,28	0,0612	192,54
ШРА	ПР3	7,1	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	19,29
ШРА	ПР4	4,9	ВВГнг-LS	3x10+1x6	1,84	0,073	26,64
ШРА	ПР5	9,6	ВВГнг-LS	3x10+1x6	1,84	0,073	60,90
ШРА	ПР6	10,6	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	16,13
ШРА	ПР7	16,4	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	22,82
ШРА	ПР8	12,7	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	4,45
ШРА	ПР9	21,8	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	18,52
ШРА	ПР10	25,6	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	18,52
ШРА	ПР11	30,3	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	18,52
ПР1	1	5,7	ВВГнг-LS	3x10+1x6	1,84	0,073	41,25
ПР1	2	8,5	ВВГнг-LS	3x10+1x6	1,84	0,073	41,25
ПР1	3	10,5	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	26,20
ПР1	4	12,5	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	26,20
ПР1	5	3,5	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	28,65
ПР1	6	7,3	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	28,65

Продолжение Таблицы 3.9

Трасса	Длина, м	Кабель , провод	$I_{расч}, А$	Трасса	Длина, м	Кабел ь, провод	$I_{расч}, А$
ПР1	7	8,7	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	28,65
ПР1	8	10,2	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	28,65
ПР2	9	2,5	ВВГнг-LS	3x25+1x16	0,74	0,0662	112,32
ПР2	10	3,5	ВВГнг-LS	3x25+1x16	0,74	0,0662	112,32
ПР2	11	2,5	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	10,51
ПР3	12	3,9	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	10,51
ПР3	13	2,5	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	12,51
ПР3	14	2,5	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	12,51
ПР3	15	4,5	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	12,51
ПР8	16	7,9	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	2,18
ПР4	17	2,7	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	5,81
ПР4	18	4,8	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	5,81
ПР5	19	4,3	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	5,81
ПР4	20	2,7	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	5,81
ПР4	21	4,8	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	5,81
ПР5	22	3,1	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	5,81
ПР4	23	5,2	ВВГнг-LS	3x10+1x6	1,84	0,073	58,07
ПР5	24	5	ВВГнг-LS	3x10+1x6	1,84	0,073	58,07
ПР5	25	3,3	ВВГнг-LS	3x10+1x6	1,84	0,073	58,07
ПР5	26	5,3	ВВГнг-LS	3x10+1x6	1,84	0,073	58,07
ПР8	27	4,5	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	2,18
ПР6	28	3,7	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01
ПР6	29	5,6	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01

Продолжение Таблицы 3.9

Трасса	Длина, м	Кабель , провод	$I_{расч}, А$	Трасса	Длина, м	Кабел ь, провод	$I_{расч}, А$
ПР6	30	7,5	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01
ПР6	31	3,1	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01
ПР6	32	5	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01
ПР6	33	6,9	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01
ПР7	34	4,3	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01
ПР7	35	6,2	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01
ПР7	36	8,1	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01
ПР7	37	2,9	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01
ПР7	38	4,7	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01
ПР7	39	6,5	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01
ПР8	40	5,2	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	2,18
ПР8	41	2,5	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	2,18
ПР8	42	4,1	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	2,18
ПР8	43	7,1	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	2,18
ПР9	44	3,9	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01
ПР9	45	5,9	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01
ПР9	46	7,9	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01
ПР9	47	3,7	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01
ПР9	48	5,7	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01
ПР10	49	3,5	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01
ПР10	50	3,8	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01
ПР10	51	5,8	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01
ПР10	52	7,8	ВВГнг-LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01

Окончание Таблицы 3.9

Трасса	Длина, м	Кабель, провод	$I_{расч}, А$	Трасса	Длина, м	Кабель, провод	$I_{расч}, А$
ПР11	53	3,2	ВВГ <sub>нг</sub> -LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01
ПР11	54	5,2	ВВГ <sub>нг</sub> -LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01
ПР10	55	3,9	ВВГ <sub>нг</sub> -LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01
ПР11	56	3,2	ВВГ <sub>нг</sub> -LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01
ПР11	57	5,2	ВВГ <sub>нг</sub> -LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01
ПР11	58	7,2	ВВГ <sub>нг</sub> -LS	3x2,5+1x1,5	7,55	0,116	3,01

## 4 Расчет токов короткого замыкания

### 4.1 Теоретическая часть

Расчеты токов короткого замыкания выполняются для выбора коммутационной аппаратуры, кабелей и другого электрооборудования с целью проверки их по условиям термической и динамической стойкости, а также для выбора уставок устройств релейной защиты и автоматики и проверки их чувствительности.

Для сетей низкого напряжения (0,38 кВ) в большинстве случаев характерны дуговые КЗ, поэтому расчет токов КЗ в сетях низкого напряжения проводится с учетом активного сопротивления дуги в месте короткого замыкания  $R_{д.}$ , мОм, которое определяется по формуле 4.1 [19]:

$$R_{д} = \frac{E_{д} \cdot L_{д}}{I_{КМ}^{(3)}}, \text{ мОм} \quad (4.1)$$

где  $E_{д}$  – напряженность в створе дуги, В/мм (справочная величина, 1,6 В/мм);

$L_{д}$  – длина дуги, мм;

$I_{КМ}^{(3)}$  – ток трехфазного металлического КЗ, кА.

Ток трехфазного КЗ с учетом дуги,  $I_{КД}^{(3)}$ , кА, находим по формуле 4.2:

$$I_{КД}^{(3)} = \frac{U_{н}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{\Sigma} + R_{д})^2 + X_{\Sigma}^2}}, \text{ кА} \quad (4.2)$$

где  $U_{н}$  – среднее номинальное междуфазное напряжение, кВ;

$R_{\Sigma}^2$  – суммарное активное сопротивление цепи до точки трехфазного КЗ, мОм;

$X_{\Sigma}^2$  – суммарное реактивное сопротивление цепи до точки трехфазного КЗ, мОм;

$R_{д}$  – сопротивление дуги, мОм.

Ток двухфазного КЗ с учетом дуги,  $I_{КД}^{(2)}$ , кА, находится по формуле 4.3:

$$I_{КД}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{КД}^{(3)}, \text{ кА} \quad (4.3)$$

где  $I_{КД}^{(3)}$  – ток трехфазного КЗ с учетом дуги, кА.

Ток однофазного КЗ в сети напряжением 0,38 кВ,  $I_{КД}^{(1)}$ , кА, определяется по формуле 4.4:

$$I_{\text{КД}}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_{\Sigma}^{(1)}}{3} + Z_{\text{ПФ-0}}}, \text{ кА} \quad (4.4)$$

где  $U_{\phi}$  – фазное напряжение сети, для сетей 0,4 кВ принимается 230 В;  
 $Z_{\Sigma}^{(1)}$  – полное сопротивление питающей системы и трансформатора, мОм;

$Z_{\text{п,ф-0}}$  – полное сопротивление петли фаза-нуль до точки КЗ, мОм.  
 Сопротивление  $Z_{\Sigma}^{(1)}$  определяется по формуле 4.5:

$$Z_{\Sigma}^{(1)} = \sqrt{(X_{1\text{T}} + X_{2\text{T}} + X_{0\text{T}} + 2X_{\text{C}})^2 + (R_{1\text{T}} + R_{2\text{T}} + R_{0\text{T}} + 3R_{\text{д}})^2}, \text{ мОм} \quad (4.5)$$

где  $X_{1\text{T}}$ ,  $X_{2\text{T}}$  и  $R_{1\text{T}}$ ,  $R_{2\text{T}}$  – индуктивные и активные сопротивления прямой и обратной последовательностей силового трансформатора ( $X_{1\text{T}}=X_{2\text{T}}$ ,  $R_{1\text{T}}=R_{2\text{T}}$ ), мОм;

$X_{0\text{T}}$ ,  $R_{0\text{T}}$  – индуктивное и активное сопротивление нулевой последовательности силового трансформатора, мОм.

Полное сопротивление петли фаза-нуль от трансформатора до точки КЗ,  $Z_{\text{п,ф-0}}$ , мОм, определяется по формуле 4.6:

$$Z_{\text{п,ф-0}} = \sum_{i=1}^n l \cdot Z_{\text{п,ф-0,уд},i}, \text{ мОм} \quad (4.6)$$

где  $Z_{\text{п,ф-0,уд},i}$  – удельное сопротивление петли фаза-нуль каждого из последовательно включенных участков сети, мОм/м;

$l$  – длина соответствующего участка сети, м.

Параметры элементов сети, для которой необходимо рассчитать токи КЗ, определяются по формулам, приведенным ниже.

Активное сопротивление трансформатора определяется по формуле 4.7:

$$R_{\text{T}} = \frac{\Delta P_{\text{к}} \cdot U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ.Т}}^2}, \text{ Ом} \quad (4.7)$$

где  $\Delta P_{\text{к}}$  – потери КЗ, кВт;

$U_{\text{НОМ}}$  – низшее номинальное напряжение трансформатора, кВ;

$S_{\text{НОМ.Т}}$  – номинальная мощность трансформатора, кВ·А;

Реактивное сопротивление трансформатора определяется по формуле 4.12:

$$X_{\text{T}} = \sqrt{\left(\frac{U_{\text{к}}}{100}\right)^2 - \left(\frac{\Delta P_{\text{к}}}{S_{\text{НОМ.Т}}}\right)^2} \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}^2}{S_{\text{НОМ.Т}}}, \text{ Ом} \quad (4.8)$$

где  $U_{\text{к}}$  – напряжение КЗ, %.

Активное сопротивление кабельных линий  $R_{\text{к}}$  определим по формуле 4.9:

$$R_K = R_{уд} \cdot l, \text{ мОм} \quad (4.9)$$

где  $R_{уд}$  – удельное активное сопротивление кабеля, мОм/м;

$l$  – длина кабеля, м.

Реактивное сопротивление  $X_K$  определим по формуле 4.10:

$$X_K = X_{уд} \cdot l, \text{ мОм} \quad (4.10)$$

где  $X_{уд}$  – удельное реактивное сопротивление кабеля, мОм/м;

$l$  – длина кабеля, м.

## 4.2 Аналитическая часть

В сетях 0,38 кВ при расчетах токов КЗ для проверки оборудования по отключающей способности выполняются расчеты металлических КЗ, т.к. в этом случае значения токов КЗ являются максимальными. При проверке чувствительности защитных аппаратов выполняются расчеты дуговых КЗ, т.к. в данном случае значения токов КЗ являются минимальными [20].

Проведем расчет токов КЗ для сети 0,38 кВ – ЭП № 1, запитанный от ПР1.

Параметры трансформатора определены в соответствии с предоставленным данными по расчету [21]:

$$R_T = 0,002 \text{ (Ом)},$$

$$X_T = 0,0008 \text{ (мОм)}.$$

Найдем сопротивление системы для сети 0,4 кВ по формуле 4.11:

$$X_C = \frac{U_{ср.нн}^2}{\sqrt{3} \cdot I_{кз.вн} \cdot U_{ср.вн}}, \text{ (Ом)} \quad (4.11)$$

где  $U_{ср.нн}$  – среднее номинальное напряжение сети, подключаемой к обмотке низшего напряжения трансформатора, В;

$U_{ср.вн}$  – среднее номинальное напряжение сети, подключаемой к обмотке высшего напряжения трансформатора, В;

$I_{кз}$  – действующее значение тока короткого замыкания при трехфазном КЗ у выводов обмотки высшего напряжения трансформатора, МВА (принимается как данность в частном случае) [22].

$$X_C = \frac{0,4^2}{\sqrt{3} \cdot 5,88 \cdot 10,5} = 0,001 \text{ (Ом)},$$

Параметры схемы замещения рассчитаны по формулам (4.9) и (4.10).

Для КЛ, питающей ЭП № 1:

$$R_{W12} = 1,84 \cdot 0,0057 = 0,105 \text{ (Ом)},$$

$$X_{W12} = 0,868 \cdot 0,10 = 0,0004 \text{ (Ом)},$$

Рассчитаем токи КЗ для точки К9.

Ток трехфазного металлического КЗ определим по формуле (4.1):

$$I_{KM}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,105+0,11)^2 + (0,001+0,042+0,01)^2}} = 7,70 \text{ (кА)}.$$

Согласно формуле (4.6), ток трехфазного КЗ с учетом дуги:

$$I_{KD}^{(3)} = \frac{0,4}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(0,001+0,0004)^2 + 0,012^2}} = 9,31 \text{ (кА)},$$

где активное сопротивление дуги в месте КЗ, определяется по формуле

$$(4.5): R_d = \frac{1,6 \cdot 60}{7,70} = 0,0012 \text{ (Ом)}.$$

Ударный ток трехфазного КЗ рассчитаем по формуле (4.3):

$$i_Y = 1,3 \cdot \sqrt{2} \cdot 7,70 = 14,15 \text{ (кА)}.$$

Ток двухфазного КЗ с учетом дуги находим по формуле (4.7):

$$I_{KD}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 9,31 = 8,06 \text{ (кА)}.$$

Ток однофазного КЗ рассчитаем по формуле (4.8):

$$I_{KD}^{(1)} = \frac{230}{\sqrt{\frac{(2 \cdot 0,008 + 0,014 + 2 \cdot 0,01)^2 + (2 \cdot 0,002 + 0,003 + 3 \cdot 0,007)^2}{3} + 0,31 \cdot 0,033}} = 13,12 \text{ (кА)}. \text{ Расчет}$$

для остальных точек аналогичен. Результаты расчета представлены в таблице 4.1:

Таблица 4.1 - Результаты расчета токов КЗ в сети 0,4/0,23 кВ

Точка КЗ	R <sub>д</sub>	I <sub>км</sub> <sup>(3)</sup> , кА	I <sub>кд</sub> <sup>(3)</sup> , кА	i <sub>у</sub> , кА	I <sub>кд</sub> <sup>(2)</sup> , кА	I <sub>кд</sub> <sup>(1)</sup> , кА
К1	0,007	13,15	9,31	24,17	8,06	16,71
К2	0,009	10,92	19,35	20,07	16,76	16,71
К3	0,023	4,17	2,94	7,66	2,55	8,19
К4	0,016	5,95	4,20	10,94	3,64	11,09
К5	0,008	11,79	8,35	21,68	7,23	15,51
К6	0,034	2,82	1,99	5,19	1,73	5,76
К7	0,060	1,61	1,25	2,96	1,08	3,43
К8	0,048	2,00	1,59	3,68	1,37	4,23
К9	0,076	1,26	0,95	2,31	0,82	2,69
К10	0,088	1,09	0,81	2,00	0,71	2,33
К11	0,103	0,93	0,69	1,71	0,60	2,00
К12	0,012	7,70	9,31	14,15	8,06	13,12
К13	0,015	6,57	7,20	12,09	6,23	11,27
К14	0,041	2,34	1,89	4,30	1,64	4,91
К15	0,047	2,03	1,61	3,73	1,39	4,28
К16	0,019	5,04	4,88	9,26	4,23	9,96
К17	0,031	3,10	2,63	5,70	2,28	6,40
К18	0,035	2,71	2,25	4,99	1,94	5,65
К19	0,040	2,40	1,94	4,40	1,68	5,02
К20	0,009	10,66	18,10	19,60	15,67	17,18
К21	0,009	10,33	16,75	19,00	14,51	16,48
К22	0,016	6,03	6,31	11,09	5,46	11,62
К23	0,020	4,73	4,48	8,69	3,88	9,41
К24	0,016	6,03	6,31	11,09	5,46	11,62

Продолжение Таблицы 4.1

Точка КЗ	$R_d$	$I_{KM}^{(3)},$ кА	$I_{KD}^{(3)},$ кА	$i_y,$ кА	$I_{KD}^{(2)},$ кА	$I_{KD}^{(1)},$ кА
K25	0,016	6,03	6,31	11,09	5,46	11,62
K26	0,022	4,33	3,98	7,96	3,45	8,70
K27	0,033	2,92	2,45	5,37	2,12	6,06
K28	0,017	5,80	5,96	10,67	5,16	11,25
K29	0,023	4,15	3,78	7,63	3,27	8,38
K30	0,022	4,45	4,14	8,19	3,58	8,92
K31	0,017	5,80	5,96	10,67	5,16	11,25
K32	0,023	4,15	3,78	7,63	3,27	8,38
K33	0,018	5,39	5,37	9,92	4,65	10,56
K34	0,012	7,94	9,82	14,59	8,50	13,51
K35	0,012	8,04	10,04	14,78	8,69	13,67
K36	0,011	9,00	12,41	16,55	10,75	15,20
K37	0,012	7,89	9,71	14,50	8,41	13,43
K38	0,022	4,33	3,98	7,96	3,45	8,70
K39	0,020	4,88	4,67	8,97	4,05	9,68
K40	0,026	3,74	3,31	6,88	2,87	7,63
K41	0,032	3,04	2,57	5,59	2,22	6,28
K42	0,018	5,39	5,37	9,92	4,65	10,56
K43	0,024	4,04	3,65	7,43	3,16	8,18
K44	0,030	3,23	2,76	5,94	2,39	6,66
K45	0,022	4,45	4,14	8,19	3,58	8,92
K46	0,028	3,49	3,03	6,41	2,63	7,15
K47	0,033	2,87	2,39	5,27	2,07	5,95
K48	0,017	5,59	5,65	10,28	4,89	10,90
K49	0,023	4,21	3,84	7,74	3,33	8,48
K50	0,028	3,37	2,91	6,20	2,52	6,93
K51	0,024	3,94	3,53	7,24	3,06	7,99
K52	0,016	6,03	6,31	11,09	5,46	11,62
K53	0,021	4,59	4,30	8,43	3,72	9,16
K54	0,030	3,16	2,69	5,82	2,33	6,53
K55	0,020	4,73	4,48	8,69	3,88	9,41
K56	0,027	3,61	3,17	6,64	2,74	7,38
K57	0,033	2,92	2,45	5,37	2,12	6,06
K58	0,020	4,88	4,67	8,97	4,05	9,68
K59	0,026	3,70	3,26	6,80	2,83	7,54
K60	0,019	5,04	4,88	9,26	4,23	9,96
K61	0,020	4,80	4,57	8,83	3,96	9,54
K62	0,026	3,66	3,21	6,72	2,78	7,46
K63	0,033	2,95	2,48	5,42	2,15	6,11
K64	0,018	5,30	5,24	9,74	4,54	10,41
K65	0,024	3,94	3,53	7,24	3,06	7,99
K66	0,020	4,73	4,48	8,69	3,88	9,41
K67	0,018	5,30	5,24	9,74	4,54	10,41
K68	0,024	3,94	3,53	7,24	3,06	7,99
K69	0,031	3,13	2,66	5,76	2,30	6,46

## 5 Расчет капиталовложений по укрупненным показателям стоимости

По результатам выбора оборудования необходимо рассчитать капитальные затраты на сооружение цеховой электрической сети и затраты на ее эксплуатацию.

Экономическим критерием эффективности является минимум приведенных затрат:

$$З = E_n \cdot K + I_a, \quad (5.1)$$

где  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, для электроэнергетической отрасли равен 0,15;

$K$  – единовременные капитальные вложения, (тыс. руб);

$I_a$  – амортизационные отчисления, (тыс. руб./год);

Ущерб от перерывов электроснабжения не учитывается, так как неизвестна зависимость ущерба от качества электроэнергии [23].

Амортизационные отчисления определяется по формуле:

$$I_a = \frac{O_a + O_p + O_o}{100} \cdot K = \frac{\sum O}{100} \cdot K, \quad (5.2)$$

где  $O_a$  – отчисления на амортизацию;

$O_p$  – отчисления на ремонт;

$O_o$  – отчисления на обслуживание;

$\sum O$  – суммарные отчисления (для ВЛ = 3,6 %, для КЛ = 2,3 %) [24],

Капитальные затраты на сооружение цеховой сети складываются:

1. Распределительные пункты и шинопроводы;
2. Кабели, питающие отдельные электроприемники и ПР;
3. Коммутационно – защитные аппараты на 0,4 кВ [25].

Расчет стоимости капитальных вложений для проведения модернизации цеховой сети представлен в таблице 5.1:

Таблица 5.1 – Капитальные вложения для модернизации сети

Наименование	Кол-во, (м/шт)	Цена за ед., (руб)	Стоимость, (руб)
<b>Распределительные пункты (металлоконструкции)</b>			
ПР8804-3038-54 УХЛЗ	7	16787,97	117515,79
ПР8804-3001-54 УХЛЗ	1	16891,62	16891,62
ПР8804-3022-54 УХЛЗ	2	16267,56	32535,12
ПР8804-3016-54 УХЛЗ	1	16348,14	16348,14
<b>ИТОГО металлоконструкции</b>			<b>183290,67</b>

Продолжение Таблицы 5.1

<b>Автоматические выключатели</b>			
ВА 47-100	64	3665	234560
ВА 51-35	1	4550	4550
ВА 51-25	4	2678	10712
<b>ИТОГО автоматы</b>			<b>249822</b>
<b>Кабель</b>			
ВВГнг-LS 3x2,5+1x1,5	387,20	573	221865,6
ВВГнг-LS 3x10+1x6	56,0	690	38640
ВВГнг-LS 3x25+1x16	6,0	872	5232
ВВГнг-LS 3x70+1x25	4,3	1003	4312,9
<b>ИТОГО кабель</b>			<b>270050,5</b>
<b>ИТОГО КАПИТАЛЬНЫЕ ВЛОЖЕНИЯ</b>			<b>703163,17</b>

Годовые потери активной энергии:

$$I_{\text{А,реконструкция}} = \frac{2,3}{100} \cdot 703163,17 = 16172,75 \text{ руб/год,}$$

Приведенные затраты:

$$Z_{\text{реконструкция}} = 0,15 \cdot 703163,17 + 16172,75 = 121647,2 \text{ руб/год,}$$

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе спроектирована схема реконструкции электроснабжения рабочих цехов ФКУ Тюрьма г. Минусинска

Рассчитано и выбрано основное рабочее и защитное оборудование сети, спроектирована система рабочего и аварийного освещения цехов, выбраны осветительные установки - лампы и светильники; спроектирована схема электроснабжения осветительной сети с учетом возможных перебоев в электроснабжении осветительной сети и соответственно разработана система защитных мер по безопасности персонала в случае возникнувшего перебоа в энергоснабжении (спроектирована система аварийного освещения, выбрано оборудование аварийного освещения).

По заданному технологическому оборудованию был сделан выбор силовых пунктов, кабелей и автоматов защит, рассчитаны электрические нагрузки на разных уровнях электроснабжения, составлен план расположения вспомогательного оборудования по цеху.

Для проверки параметров оборудования рассчитаны токи КЗ, проверена чувствительность и надежность работы коммутационно – защитных аппаратов.

Результаты выпускной квалификационной работы могут быть использованы ФКУ Тюрьма г. Минусинска как один из оптимальных и надежных вариантов при проектировании схемы электроснабжения цехов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СП 308.1325800.2017 «Исправительные учреждения и центры уголовно-исполнительной системы. Правила проектирования» – Москва.: Изд-во стандартов, 2018. – 778 с.
2. СП 52.13330.2016 - Свод правил «Естественное и искусственное освещение» : – Москва : Изд-во стандартов, 2016. – 135 с.
3. Кнорринг, Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения; под ред. Г.М. Кнорринга. - С.Петербург: Энергия, 2006. – 348 с.
4. Светильники светодиодные LE-CBO: сайт. – URL: [https://led-concept.ru/catalog/office/svetodiodnyy\\_svetilnik\\_ofis\\_universal\\_22vt\\_le\\_svo\\_03\\_033\\_2113\\_20/skuid-1112/](https://led-concept.ru/catalog/office/svetodiodnyy_svetilnik_ofis_universal_22vt_le_svo_03_033_2113_20/skuid-1112/) (дата обращения: 05.05.2024)
5. СП 256.1325800.2016 Свод правил «Электроустановки жилых и общественных зданий. Правила проектирования и монтажа» : дата введения 02.03.2017. – Москва : Изд-во стандартов, 2016. – 84 с.
6. Электродвигатели АИР: сайт. – URL: [https://esbk.ru/products\\_info/ed/101\\_ed\\_as\\_obprom/elektrodivigatel\\_air\\_132m4.html](https://esbk.ru/products_info/ed/101_ed_as_obprom/elektrodivigatel_air_132m4.html) (дата обращения 06.05.2024)
7. 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.
8. Барыбин, Ю.Г. Справочник по проектированию электроснабжения / Ю.Г. Барыбин. – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
9. Федоров, А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А.А. Федоров, В.В. Каменева. – Москва : Энергия, 1981. – 416 с.
10. Расчет электрических нагрузок в системах электроснабжения: Методические указания к выполнению курсового и дипломного проектирования для студентов специальности 100400 «Электроснабжение (по отраслям)» всех форм обучения / сост. Н.В. Дулесова. – Красноярск, КГТУ, 2002. – 28 с.
11. РТМ 36.18.32.4-92. Указания по расчету электрических нагрузок; дата введ. 01.01.1993. – М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 2007. – 27 с.
12. Пункты распределительные серии ПР8804: сайт. – URL: <https://evraz.pro/catalog/nku/nku-dlya-raspredeleniya-i-ucheta-elektricheskoy-energii/pr-punkty-raspredelitelnye-/pr8804/> (дата обращения: 07.05.2024)
13. Большам, Я.М. Справочник по проектированию электроснабжения, линий электропередачи и сетей: изд. 2-е, перераб. и доп / под ред. Я.М. Большама, В.И. Круповича, М.Л. Самовера. – Москва: Энергия, 1975. – 389 с.
14. Беляев, А.В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ / А.В. Беляев. – Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 171 с.

15. Выключатели автоматические ВА: сайт. – URL: <https://www.elektrokontaktor.ru/produkcija/vyklyuchateli-avtomaticheskie-va> (дата обращения: 07.05.2024)
16. Блок, В.М. Электрические сети и системы - учебное пособие для студентов электротехнических ВУЗов / В.М. Блок. – Москва : Высшая школа, 2013. – 430 с.
17. Кабель ВВГнг-LS: сайт. – URL: [https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-pvx-izolyacziej-\(0,66;-1kv\)/vvgng-ls/](https://k-ps.ru/spravochnik/kabeli-silovye/s-pvx-izolyacziej-(0,66;-1kv)/vvgng-ls/) (дата обращения: 08.05.2024)
18. Орлова, И.Н. Производство и распределение электрической энергии: Электротехнический справочник / И.Н. Орлова, В.Г. Герасимова, П.Г. Грудинский. – Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 880 с.
19. Расчёт токов короткого замыкания в сети внешнего и внутреннего электроснабжения промышленных предприятий: Методические указания к курсовой работе для студентов специальности 100400 – «Электроснабжение»/Сост. Л.Л. Латушкина, Красноярск: КГТУ, 2004, 34 с.
20. Правила устройства электроустановок – 7-е издание. – С изменениями и дополнениями от 2016 г. – Москва : НЦ ЗАО «Энергосервис», 1999 - 2005. – 692 с.
21. Файбисович, Д.Л. Справочник по проектированию электрических сетей / под редакцией Д.Л. Файбисовича. – Москва: Изд-во НЦЭНАС, 2006. - 320 с.
22. Чернобровов, Н.В. Релейная защита / Н.В. Чернобровов: учеб. пособие для вузов. – Москва : Энергоатомиздат, 1998. – 799 с.
23. Энергетика Оборудование Документация: сайт. – URL: <http://forca.ru/spravka/spravka/aktivnye-i-reaktivnye-soprotivleniya-kabeley.html> (дата обращения 08.05.2024)
24. Справочник электрослужбы: сайт. – URL: <http://www.elektrikii.ru/> (дата обращения 09.05.2024)
25. СП 31-110-2003.4. Свод правил по проектированию и строительству Ведомственные строительные нормы проектирования (Электрооборудование жилых и общественных зданий) : дата введения 06.06.2014. – Москва : Изд-во стандартов, 2014. – 96 с.

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, машиностроение и автомобильный транспорт»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой



подпись

А.С. Торопов

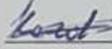
инициалы, фамилия

« 26 » 06 2024 г.

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

13.03.02 - «Электроэнергетика и электротехника»  
код – наименование направления

Электроснабжение рабочих цехов ФКУ Тюрьма г. Минусинска  
тема

Руководитель  24.06.24  
подпись, дата

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

А.В. Коловский  
инициалы, фамилия

Выпускник  24.06.24  
подпись, дата

В.В. Монаенков  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер  24.06.2024 г.  
подпись, дата

И.А. Кычакова  
инициалы, фамилия

Абакан 2024