

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Реконструкция системы электроснабжения ремонтного цеха ООО «АСпром»

Обучающийся

М. В. Зюзин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., Д.А. Кретов

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

Тольятти 2023

Аннотация

Для подключения потребителей электроэнергии ремонтного цеха ООО «АСпром» необходимо разработать проект реконструкции системы электроснабжения ремонтного цеха ООО «АСпром». Поэтому выпускная квалификационная работа (ВКР), направленная на реконструкцию системы электроснабжения ремонтного цеха ООО «АСпром», является достаточно актуальной.

На основании выполненных расчетов в рамках ВКР разработан проект реконструкции ремонтного цеха, предусматривающий использование современного оборудования, оптимизацию параметров и повышение энергоэффективности. Выбрано современное электрооборудование ремонтного цеха ООО «АСпром», включая оборудование КТП предприятия. Кроме того, проведен расчет заземления КТП ремонтного цеха ООО «АСпром».

ВКР представляет собой пояснительную записку, состоящую из введения, девяти разделов основной части, заключения, списка используемой литературы и источников и графической части на 6 листах формата А1. Пояснительная записка выполнена на 67 листах формата А4, содержит 14 таблиц и 7 рисунков.

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение..... | 5 |
| 1 Общие сведения о рассматриваемом цехе..... | 7 |
| 2 Расчет системы освещения цеха..... | 8 |
| 3 Расчет электрических нагрузок | 20 |
| 4 Выбор компенсирующих устройств..... | 25 |
| 5 Выбор силовых трансформаторов..... | 28 |
| 6 Расчет внешнего электроснабжения | 31 |
| 7 Расчет токов КЗ | 40 |
| 8 Выбор кабелей и автоматических выключателей..... | 42 |
| 9 Расчет системы заземления цеха | 60 |
| Заключение | 62 |
| Список используемой литературы и используемых источников..... | 64 |

Введение

Ремонтный цех является неотъемлемой частью любого промышленного предприятия, обеспечивая своевременное и качественное проведение ремонтных работ, что в свою очередь способствует бесперебойной работе всего производства. Система электроснабжения ремонтного цеха играет ключевую роль в обеспечении эффективности и надежности проводимых работ, а также безопасности персонала. Однако, с течением времени и развитием технологий, существующие системы электроснабжения могут устаревать и не соответствовать требованиям по энергоэффективности, надежности и безопасности. В связи с этим возникает необходимость проведения реконструкции системы электроснабжения с целью ее совершенствования и приведения в соответствие с современными требованиями и стандартами.

Актуальность данной ВКР заключается в необходимости совершенствования системы электроснабжения ремонтного цеха ООО «АСпром» с целью повышения эффективности использования электроэнергии, обеспечения надежности и безопасности энергоснабжения, а также соответствия современным требованиям и стандартам в области электроэнергетики.

Целью работы является разработка проекта реконструкции системы электроснабжения ремонтного цеха ООО «АСпром», обеспечивающий надежность, энергоэффективность и безопасность энергоснабжения при соблюдении нормативных требований и минимизации затрат на внедрение предлагаемых решений.

В соответствии с поставленной целью определены следующие задачи:

- привести общие сведения о рассматриваемом цехе;
- рассчитать систему освещения цеха;
- рассчитать электрические нагрузки;
- выбрать компенсирующие устройства;

- выбрать силовые трансформаторы;
- рассчитать внешнее электроснабжение;
- рассчитать токи КЗ;
- выбрать кабели и автоматические выключатели;
- рассчитать систему заземления цеха.

Практическая значимость данной работы заключается в возможности применения разработанного проекта реконструкции системы электроснабжения для повышения экономической эффективности и уровня безопасности ремонтного цеха. Внедрение предложенных решений позволит снизить затраты на электроэнергию, уменьшить риск возникновения аварийных ситуаций и повысить качество ремонтных работ, выполняемых ООО «АСпром».

Теоретическая значимость данной работы заключается в анализе и систематизации информации о современных методах и подходах к реконструкции систем электроснабжения, а также в исследовании нормативной базы и стандартов в области электроэнергетики. Полученные результаты могут быть использованы в качестве теоретической основы для дальнейшего совершенствования систем электроснабжения ремонтных цехов и других промышленных объектов.

Результаты данной работы могут быть использованы предприятиями различных отраслей промышленности для оптимизации и модернизации своих систем электроснабжения.

1 Общие сведения о рассматриваемом цехе

«Компания «АСпром» — это современное предприятие полного производственного цикла с солидной материальной базой и штатом из 80 сотрудников. Основные направления: производство конвейерных систем для перемещения грузов различной сложности; разработка решений по маркировке и нанесению этикеток на продукцию; автоматизация зоны групповой упаковки товаров; программирование промышленных роботов» [30].

«Компания решает задачи в комплексе от проектирования до ввода оборудования в эксплуатацию, включая пусконаладочные работы, обучение персонала, гарантийное и постгарантийное обслуживание. Запускает в работу новые линии «под ключ» и модернизируем существующие производственные участки, обеспечивая полную совместимость оборудования» [30].

В связи с решением руководства выполнять ремонт оборудования предприятия собственными силами, возникла необходимость в строительстве нового ремонтного цеха ООО «АСпром», а, следовательно и проектировании его системы электроснабжения, которое будет выполнено в настоящей работе.

Для начала проектирования системы электроснабжения ремонтного цеха ООО «АСпром» необходимо определить какие потребители будут установлены в данном цехе, а также место их расположения по территории цеха. Кроме того, необходимо определить возможные источники питания рассматриваемого цеха.

План ремонтного цеха ООО «АСпром» с расположением электроприемников представлен на рисунке 1.

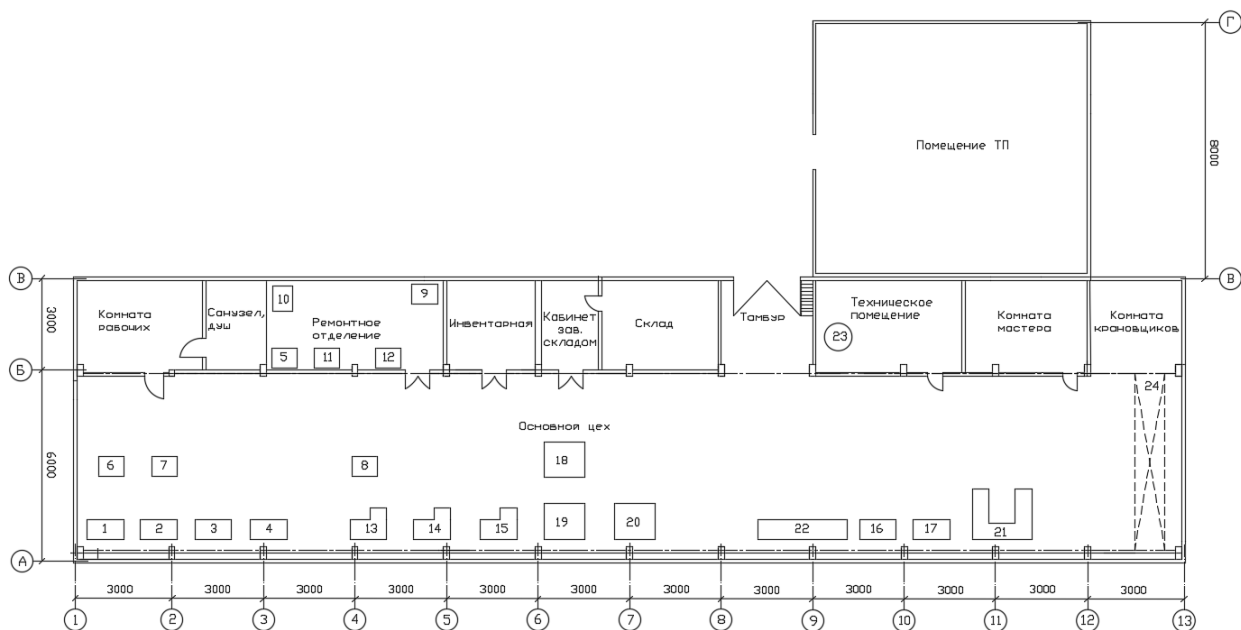


Рисунок 1 – План ремонтного цеха ООО «АСпром» с расположением электроприемников

Электроприемники цеха, приведенные на рисунке 1 с их техническими характеристиками, сведены в таблицу 1. Номера электроприемников на рисунке 1 и в таблице 1 совпадают.

В цехе установлены различные станки, в том числе токарные станки, фрезерные станки, сверлильные станки, шлифовальные станки различных типов, которые смогут выполнять полный спектр ремонтных работ оборудования предприятия и полностью отказаться от заключения договоров по ремонту со сторонними организациями.

Таблица 1 – Электроприемники цеха

| № ЭП | Наименование электроприемника | $P_{\text{ном, кВт}}$ | $\cos\varphi$ | $\eta, \%$ |
|------|--|-----------------------|---------------|------------|
| 1 | Универсальный токарный станок CTX alpha300 | 11 | 0,87 | 87,5 |
| 2 | Универсальный токарный станок NLX2000 | 15 | 0,88 | 88,5 |
| 3 | Токарно-фрезерный станок для комплексной 6-сторонней обработки CTX gamma 3000 TC | 11 | 0,87 | 87,5 |
| 4 | Универсальный токарный станок с ЧПУ и встроенным мотор-шпинделем ISM | 7,5 | 0,86 | 87,5 |
| 5 | Сверлильный станок Alfa-21Classic/27T/35T | 1,5 | 0,83 | 77 |
| 6 | Сверлильный станок с ЧПУ BHX-050 WEEKE / HOMAG Group | 2,2 | 0,83 | 87,5 |

Продолжение таблицы 1

| № ЭП | Наименование электроприемника | $P_{ном},$ кВт | $\cos\varphi$ | $\eta,$ % |
|------|---|-------------------|---------------|--------------|
| 7 | Сверлильный станок Forma-120LCD | 2,2 | 0,83 | 87,5 |
| 8 | Сверлильный станок с ЧПУ BHT-500 | 2x5,5 | 0,85 | 87,5 |
| 9 | Вертикальный обрабатывающий центр с осью X 1 850 мм и столом для заготовок весом до 3 000 кг DMC 1850 V | 5,5 | 0,85 | 94 |
| 10 | Высокоточный вертикальный обрабатывающий центр NVX 5080 | 3x7,5 | 0,86 | 94 |
| 11 | Компактный высокоточный обрабатывающий центр i-Series | 5,5 | 0,85 | 94 |
| 12 | Высокоточный 5-осевой вертикальный обрабатывающий центр NMV 5000 DCG | 4 | 0,84 | 94 |
| 13 | Многозадачный вертикальный шлифовальный станок с ЧПУ Vertical Mate 85 | 7,5 | 0,86 | 96 |
| 14 | Высокопроизводительный вертикальный шлифовальный станок с ЧПУ PGV 3 | 7,5 | 0,86 | 96 |
| 15 | Многозадачный вертикальный шлифовальный станок с ЧПУ CVG 6 | 4 | 0,84 | 96 |
| 16 | Автоматический станок с ЧПУ для заточки | 4 | 0,84 | 84 |
| 17 | Заточной центр Kaindl SZ | 4 | 0,84 | 84 |
| 18 | Гидравлический пресс для металла серии YL41 | 11 | 0,87 | 87,5 |
| 19 | Гидравлический пресс для металла серии Y41 | 7,5 | 0,86 | 87,5 |
| 20 | Листогибочный пресс с ЧПУ Metal Master Euro HPN 30170 | 11 | 0,87 | 87,5 |
| 21 | Листогибочный пресс с ЧПУ Metal Master Euro HPN 40170 | 11 | 0,87 | 87,5 |
| 22 | Комбинированные гидравлические пресс-ножницы | 37 | 0,9 | 91,0 |
| 23 | Насос центробежный "ин-лайн" одноступенчатый Grundfos TP 100-360/2 A-F-A-BAQE | 18,5 | 0,88 | 89,5 |
| 24 | Мостовой кран | 37 | 0,86 | 85,0 |
| | | 7,5 | 0,71 | 73,5 |
| | | 11 | 0,74 | 78,0 |
| | | 11 | 0,74 | 78,0 |
| 25 | Сварочный трансформатор | 47 кВА | 0,65 | – |

Напряжение в ремонтном цехе 380/220В. Питание силового оборудования и электроосвещения выполняется отдельно. «Цех относится к потребителям второй категории» [4].

Выводы по разделу.

В первом разделе ВКР приведены общие сведения о рассматриваемом цехе. Приведен план ремонтного цеха ООО «АСпром» с расположением электроприемников, даны технические характеристики электроприемников цеха.

2 Расчет системы освещения цеха

Выбор системы и вида электроосвещения, источников света для рассматриваемого ремонтного цеха.

«Для светильников ГОСТ 17677–82 устанавливает следующие основные типы КСС: К – концентрированная КСС, Г – глубокая КСС, Д – косинусоидная КСС, Л – полуширокая КСС, М – равномерная КСС, Ш – широкая КСС, С – синусная КСС. В справочниках для каждого типа светильников указывается соответствующий ему тип кривой» [2].

«При выборе светильников цеха необходимо также руководствоваться степенью защиты от пыли и воды» [2].

«Согласно ГОСТ 17677–82 тип светильника должен иметь обозначение, состоящее из букв и цифр. При этом в начале записывают буквы, которые обозначают тип лампы (Л – люминесцентная лампа, Н – лампа накаливания, Р – лампа ДРЛ, Г – лампа ДРИ, Ж – натриевая лампа, И – галогенная лампа, К – ксеноновая лампа), конструктивное исполнение (С – подвесной светильник, П – потолочный светильник, Б – настенный светильник, В – встроенный светильник, К – консольный светильник и пр.) и назначение светильника (П – для промпредприятий, О – для общественных зданий, У – для наружного электроосвещения, Р – для рудников и шахт и пр.). В обозначении также указывается номер серии, количество и мощность ламп (цифру 1 не записывают), номер модификации, климатическое исполнение (У – для умеренного климата, Т – для тропического климата и пр.) и категорию размещения» [2].

Для освещения помещений рассматриваемого ремонтного цеха принимаются светодиодные светильники LB/S M ECO LED 120 5000K [24] и ARCTIC.OPL ECO LED 600 EM 4000K class I [25], производства компании ООО «МГК «Световые Технологии» с параметрами, приведенными в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 – Параметры светодиодных светильников LB/S M ECO LED 120 5000K

| Параметры | Величина |
|---|-----------------|
| Тип ИС | LED |
| Световой поток | 12600 лм |
| Мощность светильника | 110 Вт |
| Энергоэффективность | 115 лм/Вт |
| Индекс цветопередачи (CRI) | >80 |
| Цветовая температура | 5000 К |
| Коэффициент мощности (cosFi) | > 0,98 |
| Переменный/постоянный ток (AC/DC) | Да |
| Диммирование | – |
| Напряжение | 230 В |
| Класс защиты от поражения током | I |
| Электромагнитная совместимость (ТР ТС 020/2011) | Да |
| Климатическое исполнение | УХЛ2 |
| Температурный режим | от –25 до +40 С |
| Цвет корпуса | Серый |
| Класс пожароопасности | П–I,II,III |
| Коэффициент пульсации | <5% |
| Степень защиты (IP) | IP54 |
| Ударопрочность | IK08/5 Дж |
| Класс энергоэффективности | A+ |
| Пусковой ток | 35 А |
| Время импульса пускового тока | 3 мкс |
| Блок аварийного питания | Нет |
| Угол обзора | D120 |
| Гарантия | 36 мес. |
| Время работы в аварийном режиме, ч. | – |
| Световой поток в аварийном режиме | – |

Таблица 3 – Параметры светодиодных светильников ARCTIC.OPL ECO LED 600 EM 4000K class I

| Параметры | Величина |
|---|-----------|
| Тип ИС | LED |
| Световой поток | 2800 лм |
| Мощность светильника | 28 Вт |
| Энергоэффективность | 100 лм/Вт |
| Индекс цветопередачи (CRI) | >80 |
| Цветовая температура | 4000 К |
| Коэффициент мощности (cosFi) | > 0,94 |
| Переменный/постоянный ток (AC/DC) | Нет |
| Диммирование | – |
| Напряжение | 230 В |
| Класс защиты от поражения током | I |
| Электромагнитная совместимость (ТР ТС 020/2011) | Да |
| Климатическое исполнение | УХЛ2 |

Продолжение таблицы 3

| Параметры | Величина |
|-------------------------------------|---------------|
| Температурный режим | от 0 до +40 С |
| Цвет корпуса | Белый |
| Класс пожароопасности | П–II |
| Коэффициент пульсации | <5% |
| Степень защиты (IP) | IP65 |
| Ударопрочность | IK02/0,2 Дж |
| Класс энергоэффективности | A+ |
| Пусковой ток | 23 А |
| Время импульса пускового тока | 352 мкс |
| Блок аварийного питания | Да |
| Угол обзора | D120 |
| Гарантия | 36 мес. |
| Время работы в аварийном режиме, ч. | 1 |
| Световой поток в аварийном режиме | 13% лм |

Размещение светильников.

Выполнение расчета размещения светильников, а также дальнейшая проверка выполняется подробно для основного цеха. Для остальных цехов расчеты необходимо вести аналогично.

Для основного цеха принимается нормируемая освещенность $E_n = 300$ лк согласно [6]. «Высота помещения $H = 7$ м, длина $A = 36$ м, ширина $B = 6$ м» [6].

«Для освещения основного цеха используются светильники LB/S M ECO LED 120 5000K. Расстояние от перекрытия до светильника $h_c = 1,7$ м, высота расчетной поверхности составляет $h_p = 0,8$ м» [11].

«Высота подвеса светильника» [11]:

$$H_p = H - h_c - h_p, \quad (1)$$

где H – «высота основного цеха, м» [23];

h_p – «высота расчётной поверхности над полом, м» [11];

h_c – «расстояние от перекрытия до светильника, м» [11].

$$H_p = 7 - 1,7 - 0,8 = 4,5 \text{ м.}$$

«В зависимости от принятого светильника и от его КСС по специальным кривым определяется отношение L/H_p » [23, 24], $L/H_p = 1$.

«Расстояние между рядами светильников» [23]:

$$L = 4,5 \cdot 1 = 4,5 \text{ м}.$$

«Расстояния l от крайних рядов светильников до стены принимаются в пределах $(0,3 \dots 0,5) \cdot l$ в зависимости от наличия рядом со стенами рабочих мест» [23]:

$$l = 0,3 \cdot 4,5 = 1,35 \text{ м}.$$

«Количество рядов светильников» [23]:

$$R = \frac{B - 2 \cdot l}{L} + 1, \quad (2)$$

где B – «ширина помещения, м» [23];

l – «расстояние от крайних светильников до стен, м» [23].

$$R = \frac{6 - 2 \cdot 1,35}{4,5} + 1 = 1,73,$$

принимается 2 ряда.

«Количество светильников в каждом ряду» [23]:

$$N_R = \frac{A - 2 \cdot l}{L} + 1, \quad (3)$$

где A – длина помещения, м.

$$N_R = \frac{36 - 2 \cdot 1,35}{4,5} + 1 = 8,4,$$

принимается 8 светильников.

«Расстояние между рядами светильников» [23]:

$$L_B = \frac{B - 2 \cdot l}{R - 1}, \quad (4)$$
$$L_B = \frac{6 - 2 \cdot 1,35}{2 - 1} = 3,3 \text{ м.}$$

«Расчет электроосвещения.

Светотехнический расчёт выполняется методом коэффициента использования светового потока.

Определяем индекс помещения» [23]:

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)}, \quad (5)$$

где А – длина помещения, м;

В – ширина помещения, м.

$$i = \frac{36 \cdot 6}{4,5 \cdot (36 + 6)} = 1,14.$$

«Коэффициент использования светового потока для светодиодных светильников определяется в зависимости от коэффициентов отражения потолка, стен, расчётной поверхности ($\rho_p = 50\%$; $\rho_c = 30\%$; $\rho_r = 10\%$) и индекса помещения. Принимается $\eta = 0,52$ » [23].

«Световой поток одного светильника определяется как» [22]:

$$\Phi = \frac{E_H \cdot K \cdot S \cdot Z}{N \cdot \eta}, \quad (6)$$

где E_H – «нормируемая наименьшая освещённость, лк» [6];

К – «коэффициент запаса (в зависимости от загрязнения воздушной среды $K = 1,4$)» [22];

z – «отношение средней освещённости к минимальной ($z = 1,1$ для светодиодных светильников)» [22];

η – коэффициент использования светового потока.

S – освещаемая площадь, м;

$$S = A \cdot B; \quad (7)$$

$$S = 36 \cdot 6 = 216 \text{ м}^2.$$

N – количество светильников, штук;

$$N = N_R \cdot R, \quad (8)$$

$$N = 8 \cdot 2 = 16 \text{ шт.}$$

$$\Phi = \frac{300 \cdot 1,4 \cdot 216 \cdot 1,1}{16 \cdot 0,52} = 11994 \text{ лм.}$$

«По рассчитанному значению светового потока проверяется выбранный светильник. Световой поток выбранного светильника не должен отличаться от расчётного больше чем на -10% ... $+20\%$, т. е.» [22, 23]:

$$0,9 \cdot \Phi_p \leq \Phi_L \leq 1,2 \Phi_p. \quad (9)$$

«Проверяется мощность светильника по проверочному условию» [23]:

$$0,9 \cdot 11994 \text{ лм} \leq 12600 \text{ лм} \leq 1,2 \cdot 11994 \text{ лм};$$

$$10795 \text{ лм} \leq 12600 \text{ лм} \leq 14393 \text{ лм}.$$

«Условие выполняется, следовательно выбранные ранее 16 светильников LB/S M ECO LED 120 5000K можно использовать для освещения основного цеха» [23].

«Суммарная мощность системы освещения в данном помещении» [22, 23]:

$$P_{CB} = P_1 \cdot N, \quad (10)$$

где P_1 – мощность одного светильника, кВт,

$$P_{CB} = 110 \cdot 16 = 1760 \text{ Вт.}$$

«Аналогично выполняются расчеты системы освещения остальных помещений рассматриваемого цеха» [23], результаты расчета сведены в таблицу 4. Как видно из таблицы 4 суммарная мощность рабочего освещения цеха составляет 2818 Вт.

«Расчет аварийного электроосвещения.

Для расчета освещенности, которую создает сеть аварийного электроосвещения, используется точечный метод.

Условную освещенность в контрольной точке определяют как сумму условных освещенностей от ближайших светильников» [22, 23]:

$$\sum e = e_1 + e_2 + \dots + e_n, \quad (11)$$

где e_1, e_2, e_n – «условная освещенность в контрольной точке от отдельных источников света» [23].

«Действительные расстояния от контрольной точки до светильника» [23]:

$$\begin{aligned} d1 &= 13 \text{ м}, & d3 &= 15 \text{ м}, \\ d2 &= 15 \text{ м}, & d4 &= 4 \text{ м}. \end{aligned} \quad (12)$$

Таблица 4 – Расчет электрического освещения

| Наименование | А, м | В, м | Н _р , м | Ен, лк | i | $\rho_{\text{п}}/\rho_{\text{с}}$ / $\rho_{\text{р}}$, % | η | N, шт | Ф, лм | Тип светильника | Фном, лм | Δ | Рсв, Вт | Росв, Вт |
|--------------------------|---------|---------|-----------------------|-----------|------|---|--------|-------|-------|--|-------------|----------|------------|-------------|
| Основной цех | 36 | 6 | 5,5 | 300 | 1,14 | 50/30/10 | 0,52 | 16 | 11994 | LB/S M ECO LED 120 5000K | 12600 | -4,8 | 110 | 1760 |
| Комната рабочих | 4,5 | 3 | 2,4 | 150 | 0,75 | 50/30/10 | 0,41 | 3 | 2535 | ARCTIC.OPL ECO LED 600 EM 4000K class I | 2800 | -9,5 | 28 | 84 |
| Санузел, душ | 1,5 | 3 | 2,4 | 100 | 0,42 | 50/30/10 | 0,24 | 1 | 2888 | ARCTIC.OPL ECO LED 600 EM 4000K class I | 2800 | 3,1 | 28 | 28 |
| Ремонтное отделение | 6 | 3 | 2,4 | 300 | 0,83 | 50/30/10 | 0,44 | 6 | 3150 | ARCTIC.OPL ECO LED 600 EM 4000K class I | 2800 | 12,5 | 28 | 168 |
| Инвентарная | 3 | 3 | 2,4 | 75 | 0,63 | 50/30/10 | 0,35 | 1 | 2970 | ARCTIC.OPL ECO LED 600 EM 4000K class I | 2800 | 6,1 | 28 | 28 |
| Кабинет зав. складом | 1,5 | 3 | 2,4 | 300 | 0,42 | 50/30/10 | 0,24 | 3 | 2888 | ARCTIC.OPL ECO LED 600 EM 4000K class I | 2800 | 3,1 | 28 | 84 |
| Склад | 4,5 | 3 | 2,4 | 50 | 0,75 | 50/30/10 | 0,41 | 1 | 2535 | ARCTIC.OPL ECO LED 600 EM 4000K class I | 2800 | -9,5 | 28 | 28 |
| Тамбур | 3 | 3 | 2,4 | 75 | 0,63 | 50/30/10 | 0,35 | 1 | 2970 | ARCTIC.OPL ECO LED 600 EM 4000K class I | 2800 | 6,1 | 28 | 28 |
| Техническое помещение | 4,5 | 3 | 2,4 | 100 | 0,75 | 50/30/10 | 0,41 | 2 | 2535 | ARCTIC.OPL ECO LED 600 EM 4000K class I | 2800 | -9,5 | 28 | 56 |
| Комната мастера | 4,5 | 3 | 2,4 | 300 | 0,75 | 50/30/10 | 0,41 | 6 | 2535 | ARCTIC.OPL ECO LED 600 EM 4000K class I | 2800 | -9,5 | 28 | 168 |
| Комната крановщиков | 3 | 3 | 2,4 | 150 | 0,63 | 50/30/10 | 0,35 | 2 | 2970 | ARCTIC.OPL ECO LED 600 EM 4000K class I | 2800 | 6,1 | 28 | 56 |
| Помещение ТП | 9 | 8 | 2,4 | 200 | 1,76 | 50/30/10 | 0,47 | 3 | 11796 | LB/S M ECO LED 120 5000K | 12600 | -6,4 | 110 | 330 |
| Итого: | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 2818 |

«В зависимости от действительного расстояния от контрольной точки до светильника и от расчетной высоты по пространственным изолюксам определяется условная освещенность» [23]:

$$\begin{aligned}e_1 &= 0,3 \text{ лк} & e_3 &= 0,2 \text{ лк} \\e_2 &= 0,2 \text{ лк} & e_4 &= 5,0 \text{ лк} \\ \sum e &= 0,3 + 0,2 + 0,2 + 5,0 = 5,7 \text{ лк} .\end{aligned}$$

«Световой поток одной лампы» [22, 23]:

$$\Phi = \frac{1000 \cdot E_n \cdot K_3}{\mu \cdot \sum e}, \quad (13)$$

где μ – «коэффициент добавочной освещенности за счет отражения от потолка и удаленных светильников $\mu = 1,1 \div 1,2$, принимаем $\mu = 1,1$ » [22, 23];

$E_n = 15 \text{ лк}$ – «что составляет 5% установленной нормы общего электроосвещения ($E_n = 300 \text{ лк}$) и является достаточной для продолжения техпроцесса» [6];

K_3 – коэффициент запаса, $K_3 = 1,4$.

$$\Phi = \frac{1000 \cdot 15 \cdot 1,4}{1,2 \cdot 1,1} = 3070,1 \text{ лм.}$$

Из справочника [21] с учетом того, что согласно ФЗ №261–ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» от 23.11.2009 г. нельзя использовать лампы накаливания мощностью более 100 Вт включительно [1], то для каждой зоны аварийного освещения выбираем два светильника НСП–11–200–425 с лампами накаливания Г – 215 – 225 – 99, мощностью $P_n=99 \text{ Вт}$.

«Суммарная мощность аварийного освещения рассматриваемого ремонтного» [23]:

$$P_{\Sigma 0} = 4 \cdot (2 \cdot 99) = 792 \text{ Вт.} \quad (14)$$

«Схема расположения системы освещения в рассматриваемом цехе приведена на рисунке 2» [23].

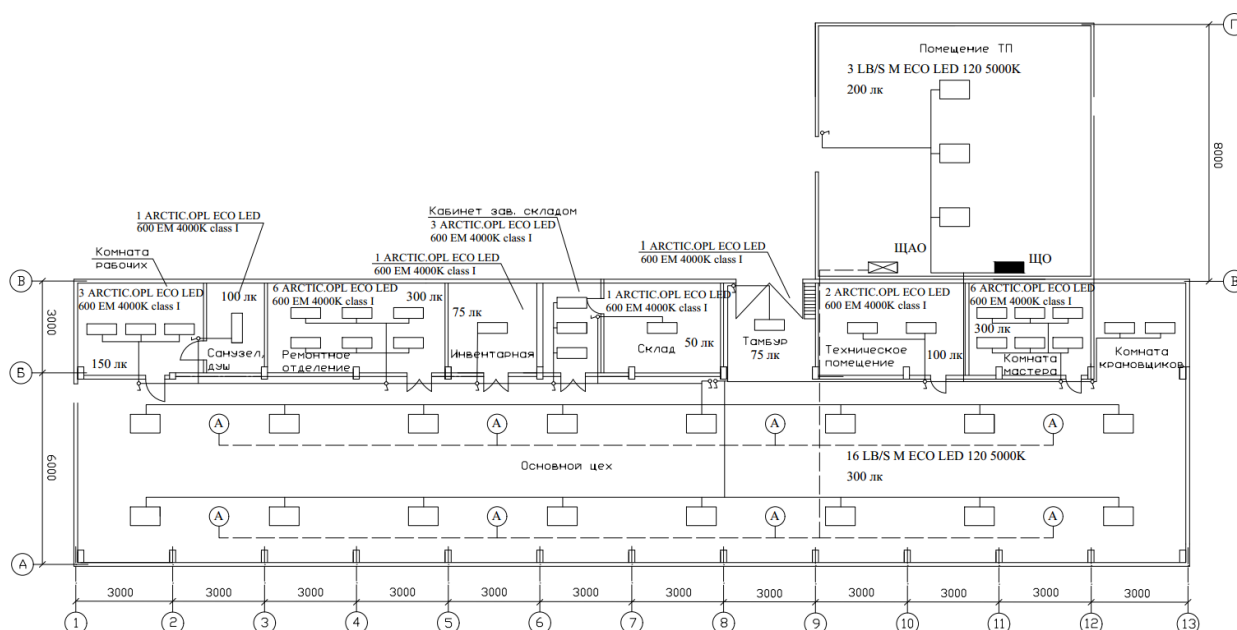


Рисунок 2 – Схема расположения системы освещения в ремонтном цехе ООО «АСпром»

Выводы по разделу.

Во втором разделе ВКР выполнен расчет системы освещения ремонтного цеха. Приведены технические характеристики используемых светильников. Проведен светотехнический расчет освещения и выбраны светодиодные светильники LB/S M ECO LED 120 5000K и ARCTIC.OPL ECO LED 600 EM 4000K class I, производства компании ООО «МГК «Световые Технологии». В качестве аварийного освещения приняты восемь светильников НСП–11–200–425 с лампами накаливания Г – 215 – 225 – 99, мощностью $P_H=99$ Вт.

3 Расчет электрических нагрузок

Расчет нагрузок для групп потребителей электроэнергии производится по методу упорядоченных диаграмм в нижеприведенной последовательности для первой группы потребителей электроэнергии.

Суммарная номинальная мощность потребителей электроэнергии в группе [5], [8], [21]:

$$P_H = \sum P_{H.i} \quad (15)$$

где $P_{H.i}$ – номинальная мощность i -го потребителя электроэнергии в группе, кВт;

$$P_H = 11 + 15 + 11 + 7,5 + 2,2 + 2,2 = 48,9 \text{ кВт.}$$

Активная мощность за самую загруженную смену [5], [8], [21]:

$$P_{см} = K_{и} \cdot \sum P_{H.i} \quad (16)$$

где $K_{и}$ – коэффициент использования мощности i -го потребителя электроэнергии в группе.

$$P_{см} = 0,16 \cdot (11 + 15 + 11 + 7,5) + 0,14 \cdot (2,2 + 2,2) = 7,74 \text{ кВт.}$$

«Величина реактивной мощности за самую загруженную смену» [5], [8], [21]:

$$Q_{см} = \text{tg}\phi \cdot \sum P_{см}, \quad (17)$$

где $\text{tg}\phi$ – определяется из $\cos\phi$,

$$Q_{см} = 1,33 \cdot 7,12 + 1,73 \cdot 0,62 = 10,54 \text{ кВар.}$$

Групповой коэффициент использования [5], [8], [21]:

$$K_{и.гр.} = P_{см} / P_{н}, \quad (18)$$
$$K_{и.гр.} = 7,74/48,9 = 0,16$$

Эффективное число электроприемников для данной группы:

$$n_э = P_{н}^2 / \sum P_{н. i.}; \quad (19)$$
$$n_э = \frac{48,9^2}{11^2 + 15^2 + 11^2 + 7,5^2 + 2,2^2 + 2,2^2} = 4,5$$

Принимается $n_э = 5$.

Коэффициент максимума определяется в зависимости от $K_{и.гр.}$ и $n_э$ [5], [8], [21]:

$$K_m = 1 + 1,5/\sqrt{n_э} \cdot (\sqrt{1} - K_{и.гр.}/K_{и.гр.}), \quad (20)$$
$$K_m = 1 + 1,5/\sqrt{5} \cdot (\sqrt{1} - 0,16/0,16) = 2,72.$$

Расчетная активная мощность [5], [8], [21]:

$$P_p = K_m \cdot P_{см}, \quad (21)$$
$$P_p = 2,72 \cdot 7,74 = 21,05 \text{ кВт.}$$

Расчетная реактивная мощность [5], [8], [21]:

$$Q_p = K'_m \cdot Q_{см} \quad (22)$$

где $K'_m = 1,1$ при $K_{и.гр.} \leq 0,2$ и $n_э \leq 100$

$$K_{и.гр.} \geq 0,2 \text{ и } n_э \leq 10$$

во всех остальных случаях $K'_m = 1$.

Принимается $K'_m = 1,1$

$$Q_p = 1,1 \cdot 10,54 = 11,6 \text{ квар.}$$

Полная реактивная нагрузка потребителей электроэнергии цеха [5], [8], [21]:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (23)$$
$$S_p = \sqrt{21,05^2 + 11,6^2} = 24 \text{ кВА.}$$

Расчетный ток группы:

$$I_p = 24 / \sqrt{3} \cdot 0,38 = 36,5 \text{ А.}$$

Пиковый ток группы потребителей электроэнергии рассматриваемого ремонтного цеха [5], [8], [21]:

$$I_{\text{пик.гр.}} = I_{\text{пик.мах}} + I_p - I_{\text{н.мах}} \cdot K_{\text{и}} \quad (24)$$

где $I_{\text{пик.мах}}$ – пиковый ток наиболее мощного потребителя электроэнергии в группе, А;

$I_{\text{н.мах}}$ – номинальный ток наиболее мощного потребителя электроэнергии в группе, А;

$K_{\text{и}}$ – коэффициент использования наиболее мощного потребителя электроэнергии в группе.

Результаты расчета приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Расчет нагрузок для электроприемников

| № станка | п, шт | P_H , кВт | K_H | $\cos\varphi/$ $tg\varphi$ | P_{CM} , кВт | Q_{CM} , кВт | $nэ$ | K_p | K_p' | P_p , кВт | Q_p , квар | S_p , кВА | I_p , А | $I_{ПИК}$, А |
|-----------|-------|-------------|-------|-------------------------------|----------------|----------------|------|-------|--------|-------------|--------------|-------------|-----------|---------------|
| ЩР1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 11 | 0,16 | 0,6/1,33 | 1,76 | 2,3 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 2 | 1 | 15 | 0,16 | 0,6/1,33 | 2,4 | 3,1 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 3 | 1 | 11 | 0,16 | 0,6/1,33 | 1,76 | 2,3 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 4 | 1 | 7,5 | 0,16 | 0,6/1,33 | 1,2 | 1,6 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 6 | 1 | 2,2 | 0,14 | 0,5/1,73 | 0,3 | 0,5 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 7 | 1 | 2,2 | 0,14 | 0,5/1,73 | 0,3 | 0,5 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Итого ЩР1 | 6 | 48,9 | 0,16 | – | 7,74 | 10,54 | 5 | 2,72 | 1,1 | 21,05 | 11,6 | 24 | 36,5 | 234,86 |
| ЩР2 | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 5 | 1 | 1,5 | 0,14 | 0,5/1,73 | 0,21 | 0,36 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 9 | 1 | 5,5 | 0,14 | 0,5/1,73 | 0,77 | 1,3 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 10 | 1 | 7,5 | 0,14 | 0,5/1,73 | 1,05 | 1,8 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 11 | 1 | 5,5 | 0,14 | 0,5/1,73 | 0,77 | 1,3 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 12 | 1 | 4 | 0,14 | 0,5/1,73 | 0,56 | 0,9 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Итого ЩР2 | 5 | 39 | 0,14 | – | 5,1 | 8,8 | 3 | 5,4 | 1,1 | 13,26 | 9,68 | 16,4 | 25 | 135,6 |
| ЩР3 | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 8 | 1 | 5,5 | 0,14 | 0,5/1,73 | 0,77 | 1,3 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 13 | 1 | 7,5 | 0,16 | 0,6/1,33 | 1,2 | 1,6 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 14 | 1 | 7,5 | 0,16 | 0,6/1,33 | 1,2 | 1,6 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 15 | 1 | 4 | 0,16 | 0,6/1,33 | 0,64 | 0,8 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 18 | 1 | 11 | 0,16 | 0,6/1,33 | 1,76 | 2,3 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 19 | 1 | 7,5 | 0,16 | 0,6/1,33 | 1,2 | 1,6 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 20 | 1 | 11 | 0,16 | 0,6/1,33 | 1,76 | 2,3 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Итого ЩР3 | 7 | 20,4 | 0,16 | – | 9,41 | 11,5 | 4 | 3,1 | 1,1 | 8,37 | 4,51 | 9,5 | 14,4 | 126,1 |
| ЩР4 | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 16 | 1 | 4 | 0,15 | 0,6/1,33 | 0,6 | 0,8 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 17 | 1 | 4 | 0,15 | 0,6/1,33 | 0,6 | 0,8 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 21 | 1 | 11 | 0,17 | 0,6/1,33 | 1,87 | 2,48 | – | – | – | – | – | – | – | – |

Продолжение таблицы 5

| № станка | п, шт | P_H , кВт | $K_{И}$ | $\cos\varphi/$ $tg\varphi$ | $P_{СМ}$ кВт | $Q_{СМ}$ кВт | η | K_p | K_p' | P_p , кВт | Q_p квар | S_p кВА | I_p А | $I_{ПИК}$ А |
|------------------------------|-------|-------------|---------|-------------------------------|-----------------|-----------------|--------|-------|--------|----------------|---------------|--------------|------------|----------------|
| 22 | 1 | 37 | 0,14 | 0,5/1,73 | 5,2 | 8,9 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 23 | 1 | 18,5 | 0,13 | 0,8/0,75 | 2,4 | 1,8 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Итого ШР4 | 5 | 71 | 0,14 | – | 10,67 | 14,78 | 2 | 6,9 | 1,1 | 33,6 | 13,5 | 36,2 | 55 | 526,4 |
| Мостовой кран | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – | – |
| 24 | 1 | 36 | 0,14 | 0,5/1,73 | 5,04 | 8,7 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| | 1 | 7,2 | 0,14 | 0,5/1,73 | 1 | 1,73 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| | 1 | 9,4 | 0,14 | 0,5/1,73 | 1,3 | 2,2 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| | 1 | 9,4 | 0,14 | 0,5/1,73 | 1,3 | 2,2 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Итого | 4 | 62 | 0,14 | | 8,64 | 14,83 | 2 | 2,3 | 1,1 | 29,5 | 12,6 | 31,3 | 45 | 436,1 |
| Сварочный трансформатор (25) | 1 | 47 | 0,2 | 0,65/1,17 | 9,4 | 10,9 | – | – | – | – | – | – | – | – |
| Итого по цеху | 31 | 250 | 0,16 | – | 43,19 | 77,2 | 4 | 4,4 | 1,1 | 82,7 | 84,9 | 153,7 | 233,8 | – |
| Электроосвещение | – | – | – | – | – | – | – | – | – | 2,8 | 0,8 | 2,9 | – | – |
| Аварийное освещение | – | – | – | – | – | – | – | – | – | 0,8 | 0 | 0,8 | – | – |
| Соседний цех | – | – | – | – | – | – | – | – | – | 125,7 | 105,34 | 164,0 | – | – |
| Итого всего | – | – | – | 0,74/0,90 | – | – | – | – | – | 212 | 191,04 | 352 | 439,6 | – |

Номинальный ток наиболее мощного потребителя электроэнергии в группе:

$$I_{н.мах} = \frac{15}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,885 \cdot 0,38} = 29 \text{ А.}$$

Пиковый ток самого мощного потребителя электроэнергии в группе равен:

$$I_{пик.мах} = 29 \cdot 7 = 203 \text{ А.}$$

Пиковый ток группы потребителей электроэнергии рассматриваемого ремонтного цеха равен:

$$I_{пик.гр.} = 203 + 36,5 - 29 \cdot 0,16 = 2334,86 \text{ А.}$$

Аналогично рассчитывается нагрузка для остальных групп потребителей электроэнергии и результаты сведены в таблицу 5.

Выводы по разделу.

В третьем разделе ВКР рассчитаны электрические нагрузки цеха. На основании значений данных нагрузок будет выполнен выбор электрооборудования цеха, такого как силовые трансформаторы цеха, оборудование распределительных устройств цеховой трансформаторной подстанции на сторонах высокого и низкого напряжений.

4 Выбор компенсирующих устройств

Если в электросети есть «реактивная мощность (РМ) – это является причиной снижения качества электроэнергии, приводит к увеличению платы за электроэнергию, дополнительным потерям и перегреву проводов, перегрузке» [10] ПС, необходимости применения трансформаторов большей мощности и кабелей больших сечений. «Для снижения реактивной мощности применяют конденсаторные установки. Использование КУ дает возможность сократить объем потребляемой РМ, добиться энергосбережения и экономического эффекта. КРМ предусматриваем на стороне 0,4 кВ» [16].

«Установка КУ дает возможность повысить напряжение на СШ до номинальных значений, которые предписываются НТД. Это дает возможность отказываться от устройств регулирования напряжения со стороны потребителей» [16].

«Для выбора КУ требуется знать:

- расчетная реактивная мощность КУ;
- тип КУ;
- напряжение КУ» [16].

«Мощность компенсирующих устройств выбирается с учетом требований энергетической системы. Энергосистема регламентирует потребление реактивной мощности следующим образом: устанавливается рекомендуемый коэффициент мощности на шинах ВН подстанции ($\text{tg } \varphi_{\text{рек}}$). Так как напряжение системы 10 кВ, то $\text{tg } \varphi_{\text{рек}} = 0,4$ » [16, 17].

«Минимальная мощность компенсирующих устройств определяется по формуле» [19]:

$$Q_{\text{уку}} = P_p \cdot (\text{tg} \varphi_m - \text{tg} \varphi_3), \quad (25)$$

где $Q_{\text{уку}}$ – «реактивная мощность батареи конденсаторов, кВар» [19];

$\text{tg} \varphi_m$ – «коэффициент реактивной мощности до компенсации» [19];

$\text{tg} \varphi_3$ – «коэффициент реактивной мощности после КРМ» [19];

«Расчетная мощность компенсирующего устройства определяется по выражению» [16]:

$$Q_{\text{укл}} = 212 \cdot (0,9 - 0,4) = 106 \text{ квар.}$$

«Выбираются две установки компенсации реактивной мощности УКМ58П-0,4-75-25 У3, производства компании ЗАО «Электроинтер» [27], по одной установке на каждую секцию шин. Типы компенсирующих устройств сведены в таблицу 6» [16].

Таблица 6 – Типы компенсирующих устройств

| Место установки | Тип компенсирующего устройства | Мощность, кВАр | Степень регулирования мощности, кВАр |
|-----------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------------|
| I СШ | УКМ 58-04-75-25 У3 | 75 | 25 |
| II СШ | УКМ 58-04-75-25 У3 | 75 | 25 |

«Определяются фактические значения $tg\varphi_{\phi}$ и $cos\varphi_{\phi}$ после КРМ по выражению» [31]:

$$tg\varphi_{\phi} = tg\varphi - Q_{\text{к.ст.}} / P_{\text{м}}, \quad (26)$$

$$tg\varphi_{\phi} = 0,9 - (75 + 75) / 212 = 0,19,$$

что соответствует $cos\varphi_{\phi} = 0,98$.

«Тогда мощность на стороне низкого напряжения с учетом компенсации реактивной мощности равна» [16]:

$$S_{\text{р(с ку)}} = \sqrt{212^2 + (191,04 - 150)^2} = 215,9 \text{ кВА.}$$

«Потери в силовом трансформаторе трансформаторной подстанции определяются по формуле» [16]:

$$\Delta P_T = 0,02 \cdot 215,9 = 4,3 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_T = 0,1 \cdot 215,9 = 21,6 \text{ квар},$$

$$S_{p(\text{ВН с КУ})} = \sqrt{(212 + 4,3)^2 + (41,04 + 21,6)^2} = 225,7 \text{ кВА}.$$

«Конденсаторные установки устанавливаются на сборных шинах 0,4 кВ трансформаторной подстанции» [16].

Выводы по разделу.

В четвертом разделе ВКР на основании произведенных расчетов были выбраны компенсирующие устройства (КУ), необходимые для снижения потерь электроэнергии и поддержания требуемых уровней напряжения в узловых точках электрической сети цеха. В качестве КУ использованы статические тиристорные компенсаторы с автоматической регулировкой компенсации реактивной мощности.

5 Выбор силовых трансформаторов

В рамках данного раздела предполагается проведение тщательного выбора силовых трансформаторов для организации надёжного и эффективного электроснабжения рассматриваемого цеха. В ходе работы будут исследованы и проанализированы основные параметры и характеристики трансформаторов, включающие мощность, рабочее напряжение, уровень потерь, а также коэффициент полезного действия. Помимо этого, будет уделено внимание соблюдению комплекса требований и рекомендаций к монтажу, размещению и подключению силовых трансформаторов к питающей электросети.

С учётом того, что в данном цехе потребители электроэнергии относятся ко 2-й категории, для его электроснабжения выбирается два силовых трансформатора с необходимой мощностью. Установка двух трансформаторов обеспечивает надёжность электроснабжения, так как при выходе из строя одного трансформатора, другой сможет принять на себя нагрузку и обеспечить непрерывность подачи электроэнергии потребителям.

«Определяется расчетная мощность трансформатора с учетом потерь и компенсацией реактивной мощности» [32], [33]:

$$S_T \geq 0,7 S_{P(\text{ннску})}; \quad (27)$$

$$S_T \geq 0,7 \cdot 215,9 = 151,1 \text{ кВА.}$$

«Выбирается 2КТП–160–10/0,4 с трансформаторами ТМГ–160–10/0,4» [26]. Технические характеристики силовых трансформаторов ТМГ–160–10/0,4 [26]:

- номинальная мощность трансформатора $S_{\text{н.т.}} = 160 \text{ кВА}$;
- напряжение обмотки ВН силового трансформатора $U_{\text{ВН}} = 10 \text{ кВ}$;
- напряжение обмотки НН силового трансформатора $U_{\text{НН}} = 0,4 \text{ кВ}$;
- потери КЗ $\Delta P_K = 2650 \text{ Вт}$;

- потери XX $\Delta P_X = 440$ Вт;
- напряжение КЗ $u_{кз} = 4,7$ %;
- ток XX $i_{xx} = 2,4$ %.

«Действительный коэффициент загрузки в нормальном режиме определяется по формуле» [20], [32]:

$$K_3 = \frac{S_{P(BH)}}{n \cdot S_{TH}}; \quad (28)$$

$$K_3 = \frac{215,9}{2 \cdot 160} = 0,67.$$

«Действительный коэффициент загрузки в послеаварийном режиме определяется по формуле» [20], [32]:

$$K_{3.AB} = \frac{S_{P(BH)}}{(n-1) \cdot S_{TH}}; \quad (29)$$

$$K_{3.AB} = \frac{215,9}{(2-1) \cdot 160} = 1,35,$$

«что меньше максимально допустимого коэффициента загрузки масляного силового трансформатора $K_{3.доп} = 1,4$ » [7]:

$$K_{3.AB} = 1,35 < K_{3.доп} = 1,4,$$

а значит, данные трансформаторы можно применять.

Как отмечалось ранее, для обеспечения надежности и эффективности электроснабжения промышленного цеха используются силовые трансформаторы, устанавливаемые в комплектной двухтрансформаторной подстанции типа 2КТП-160-10/0,4. Данная подстанция включает в себя три основных элемента: шкаф ввода высокого напряжения для подключения к

внешней электросети, силовой трансформатор для преобразования напряжения и распределительное устройство низкого напряжения для распределения электроэнергии между потребителями.

«Ввод ВН в ТП выполняется от радиальных ЛЭП. В конце ЛЭП не требуется коммутационная аппаратура, и ЛЭП наглухо соединяется с зажимами ВН трансформатора. Вся коммутационная аппаратура и защитные устройства блока ЛЭП – трансформатор находятся в начале ЛЭП на питающей подстанции. Для удобства выполнения ремонтных работ и профилактических испытаний КЛ предусматривают выключатели нагрузки между кабелем и трансформатором. Для удобства заземления кабеля во время ремонтных работ выключатель нагрузки снабжают заземляющими ножами» [18].

«Распределительное устройство НН состоит из шкафа ввода НН и линейных шкафов с установленными в отсеках коммутационными аппаратами и измерительными приборами. Отходящие линии НН содержат автоматические выключатели» [18].

«Так как подстанция ремонтного цеха ООО «Аспром» с двумя трансформаторами, то на ней устанавливается секционный шкаф. Между секциями предусматривают защитные аппараты» [18].

«Коммутационная аппаратура должны быть способны включать и отключать соответствующие цепи в продолжительном и в кратковременном аварийном режиме, в т.ч. в режиме короткого замыкания. Во включенном положении коммутационная аппаратура должна иметь возможность пропускать сквозной ТКЗ» [18].

Выводы по разделу.

В пятом разделе ВКР для электроснабжения цеха выбрана двухтрансформаторная КТП с силовыми трансформаторами ТМГ–160–10/0,4. Дана комплектация КТП.

6 Расчет внешнего электроснабжения

Выбор сечений кабельной линии напряжением 10 кВ, питающей КТП.

Внутризаводское электроснабжение выполняется на напряжении 10 кВ.

«Сечение КЛ определяется по следующим условиям» [9]:

- «минимальное сечение кабелей по условию нагрева максимальным расчетным током в нормальном режиме; для ТП расчетный ток рассчитывается из номинальной мощности трансформатора» [9];
- «минимальное сечение кабелей по условию нагрева при работе с перегрузкой в послеаварийных режимах» [9];
- «экономическая плотность тока (ЭПТ)» [9].
- «по допустимой потере напряжения» [9].

«По ЭПТ выбирают сечения высоковольтных кабелей из условия минимальных затрат на кабель. Высоковольтные кабели также проверяют по условию нагрева максимальным расчетным током» [9].

«Расчетный ток кабеля от питающей подстанции до КТП цеха в нормальном режиме» [9]:

$$I_p = \frac{1,4 \cdot S_p}{\sqrt{3} \cdot U_n}, \quad (30)$$

где S_p – «суммарная мощность силовых трансформаторов, которые подключаются к ЛЭП, кВА» [9];

n – число кабелей;

U_n – номинальное напряжение, кВ;

$$I_p = \frac{0,7 \cdot 160}{\sqrt{3} \cdot 10} = 7 \text{ А.}$$

«Экономическое сечение, вычисляется по формуле» [8], [33]:

$$F_{\text{эк}} = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}}; \quad (31)$$

где $j_{\text{э}}$ – «экономическая плотность тока для алюминиевых кабелей по» [4], А/мм²,

$$F_{\text{эк}} = \frac{7}{1,4} = 5.$$

«Принимается кабель АПВП–10–3х16. Кабель такой марки является рекомендуемым для прокладки в земле (траншеях)» [29].

Допустимый ток кабеля зависит от различных факторов, таких как тип кабеля, материал изоляции, длина кабеля, способ прокладки и температура окружающей среды [8], [33]:

$$I_{\text{дон}} = I_{\text{табл}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3, \quad (32)$$

где $I_{\text{табл}}$ – «длительно допустимый ток по» [21], А;

K_1 – «поправочный коэффициент на температуру земли» [8, 30],

$$K_1 = 1,0;$$

K_2 – «поправочный коэффициент на число работающих кабелей, которые проложены в земле, о.е., $K_2 = 0,9$ – для 2-х кабелей при расстоянии в свету 100 мм» [8], [33];

K_3 – поправочный коэффициент на удельное сопротивление земли, о.е., $K_3 = 1,0$ [8], [33].

$$I_{\text{дон}} = 95 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 1 = 85,5 \text{ А} > 7 \text{ А}.$$

Расчетный допустимый ток в послеаварийном режиме для кабеля ГПП – КТП, А [15], [35],

$$I_{\text{дон.н/ав}} = K_{\text{неп}} \cdot I_{\text{дон}}, \quad (33)$$

где $K_{пер}$ – коэффициент перегрузки кабелей, [18] о.е.

$$I_{дон}^{IIAB} = 1,25 \cdot 85,5 = 106,9 \text{ А.}$$

Расчетный ток в послеаварийном режиме для кабеля ГПП – КТП, [15], [35],

$$I_{IIAB} = \frac{1,4 \cdot S_p}{\sqrt{3} \cdot (n-1) \cdot U_n}, \quad (34)$$

$$I_{IIAB} = \frac{1,4 \cdot 630}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 13 \text{ А.}$$

«Проверка кабельных линий на термическую стойкость» [15], [35]:

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{B_k}}{C} \cdot 10^3, \quad (35)$$

$$B_k = I_{но}^2 \cdot (t_{омк} + T_a), \quad (36)$$

где $I_{но}$ – ток короткого замыкания на сборных шинах 10 кВ ГПП, согласно данным отдела главного энергетика ООО «Аспром» $I_{но} = 6,5$ кА,

$$B_k = 6,5^2 \cdot (0,8 + 0,05) = 35,91 \text{ кА}^2 \cdot \text{с.}$$

$$q_{\min} = \frac{\sqrt{35,91}}{92} \cdot 10^3 = 65,13 \text{ мм}^2.$$

Выбирается кабель АпвП–10–3х70.

«Потеря напряжения в сети» [15]:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l}{U_{ном} \cdot 1000} \cdot (\cos \varphi \cdot r_{кл} + \sin \varphi \cdot x_{кл}) \cdot 100 \% \quad (37)$$

где $r_{кл}$, $x_{кл}$ – «сопротивления высоковольтного кабеля, равно 0,549 мОм/км и 0,059 мОм/км» [21];

l – расстояние от питающей подстанции до КТП цеха, км.

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 7 \cdot 0,8}{10 \cdot 1000} \cdot (0,98 \cdot 0,549 + 0,2 \cdot 0,7) \cdot 100 = 0,07 \%.$$

Потери активной энергии в кабельной линии за год [15], [35]:

$$\Delta A_{л} = n \cdot (3 \cdot I_{р.л.}^2 \cdot r_0 \cdot l \cdot \tau); \quad (38)$$

$$\Delta A_{л} = 2 \cdot (3 \cdot 7^2 \cdot 0,549 \cdot 1 \cdot 3000) \cdot 10^{-3} = 484 \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{год}}.$$

Выбор и проверка аппаратов и токоведущих частей КТП.

Выключатели напряжением 10 кВ на питающей подстанции.

«Выбор выключателей осуществляется с учетом двенадцати разных параметров. При выборе выключателей в данной ВКР в СЭС цеха достаточно рассмотреть основные параметры. Выключатели выбирают» [12]:

– по напряжению установки

$$U_{уст} \leq U_{ном}, \quad (39)$$

– по длительному току

$$I_{норм} \leq I_{ном}, \quad (40)$$

$$I_{max} \leq I_{ном}, \quad (41)$$

– по отключающей способности

$$I_{к.з.}^{(3)} \leq I_{отк.ном}, \quad (42)$$

где $I_{отк.ном}$ – номинальный ток отключения, кА;

– по электродинамической стойкости

$$i_y \leq i_{дин}, \quad (43)$$

где $i_{дин}$ – ток электродинамической стойкости, кА;

– по термической стойкости

$$B_k \leq I_{тер}^2 t_{тер}, \quad (44)$$

где $I_{тер}$ – ток термической стойкости, кА;

$t_{тер}$ – время протекания тока термической стойкости, с.

«Для установки на питающей подстанции применяется ячейка КРУ К–104М с вакуумными выключателями ВВ/TEL–10–12,5/630 У3. Расчетные и каталожные данные выключателя приведены в таблице 7» [12].

Таблица 7 – Выбор выключателя в питающей подстанции

| Расчетные параметры сети | Паспортные данные ВВ/TEL–10–12,5/630 У3 |
|------------------------------|---|
| $u_{уст}=10$ кВ | $u_{ном}=10$ кВ |
| $I_{max}=13$ А | $I_{ном}=630$ А |
| $I_{п,т}=6,5$ кА | $I_{ном.откл.}=12,5$ кА |
| $i_{уд}=15,6$ кА | $i_{дин}=52$ кА |
| $B_k = 8$ кА ² ·с | $I_{тер}^2 \cdot t_{тер} = 12,5^2 \cdot 3 = 469$ кА ² ·с |

На стороне 10 кВ трансформаторной подстанции цеха устанавливаются ячейки КСО 366 с выключателями нагрузки и предохранителями. КСО - это

устройство, предназначенное для соединения и распределения электрической энергии в электрических сетях напряжением до 10 кВ. КСО состоит из сборных и распределительных шин, коммутационных аппаратов, измерительных приборов, устройств релейной защиты и автоматики. КСО используются для создания распределительных устройств на подстанциях, в распределительных пунктах и других объектах электроэнергетики.

Выключатели нагрузки на напряжение 10 кВ являются важным элементом системы электроснабжения промышленного предприятия. Они обеспечивают безопасный и надежный доступ к оборудованию для проведения профилактических и ремонтных работ без отключения потребителей. Установка выключателей нагрузки на вводе в трансформаторную подстанцию позволяет осуществлять оперативное переключение между работающими трансформаторами, что повышает общую надежность системы электроснабжения.

«Выключатели нагрузки не предназначены для отключения токов КЗ, поэтому их выбирают» [12]:

– по напряжению установки

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}, \quad (45)$$

– по длительному току

$$I_{\text{норм}} \leq I_{\text{ном}}, \quad (46)$$

$$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}, \quad (47)$$

– по электродинамической стойкости

$$i_y \leq i_{\text{дин}}, \quad (48)$$

где $i_{\text{дин}}$ – ток электродинамической стойкости, кА; – по термической стойкости

$$B_k \leq I_{\text{тер}}^2 t_{\text{тер}}. \quad (49)$$

«Для установки на вводе в ТП применяется КСО–366 с выключателем нагрузки ВНРп–10/400 УЗ. Расчетные и каталожные данные выключателя нагрузки приведены в таблице 8» [12].

Таблица 8 – Выбор выключателя нагрузки на вводе в трансформаторную подстанцию

| Расчетные параметры сети | Паспортные данные ВНРп–10/400 УЗ |
|------------------------------|---|
| $u_{\text{уст}}=10$ кВ | $u_{\text{ном}}=10$ кВ |
| $I_{\text{max}}=13$ А | $I_{\text{ном}}=400$ А |
| $i_{\text{уд}}=15,6$ кА | $i_{\text{дин}}=40$ кА |
| $B_k = 8$ кА ² ·с | $I_{\text{тер}}^2 \cdot t_{\text{тер}} = 12,5^2 \cdot 3 = 469$ кА ² ·с |

Предохранители напряжением 10 кВ используются для защиты оборудования и линий электропередачи от коротких замыканий и перегрузок. Они представляют собой устройства, которые при возникновении аварийного режима отключают участок электрической сети, предотвращая повреждение оборудования и сохраняя его работоспособность и выбираются по [12]:

– по напряжению установки

$$U_{\text{уст}} \leq U_{\text{ном}}, \quad (50)$$

– по длительному току

$$I_{\text{норм}} \leq I_{\text{ном}}, \quad (51)$$

$$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном}}, \quad (52)$$

– по отключающей способности

$$I_{к.з.}^{(3)} \leq I_{отк.ном} , \quad (53)$$

где $I_{отк.ном}$ – номинальный ток отключения, кА.

«Для установки в КСО–366 на вводе в ТП в сочетании с выключателем нагрузки применяется предохранитель ПКТ103–10–12,5/20. Данные высоковольтного предохранителя приведены в таблице 9» [12].

Таблица 9 – Выбор выключателя нагрузки на вводе в ТП

| Расчетные параметры сети | Паспортные данные ПКТ103–10–31,5/40 |
|--------------------------|-------------------------------------|
| $u_{уст}=10$ кВ | $u_{ном}=10$ кВ |
| $I_{max}=13$ А | $I_{ном}=20$ А |
| $I_{кз} = 6,5$ кА | $I_{отк.ном}=12,5$ кА |

Выводы по разделу.

В шестом разделе ВКР в результате проведенного расчета внешнего электроснабжения цеха были определены параметры и характеристики необходимого оборудования, такого как силовые трансформаторы, коммутационная аппаратура и кабельные линии. Был выбран оптимальный вариант схемы электроснабжения, обеспечивающий надежное и качественное электроснабжение потребителей цеха с учетом требований безопасности и нормативных документов. Питание КТП цеха выполнено двумя кабелями АПвП 3х70.

7 Расчет токов КЗ

«Расчет токов КЗ следует начинать с составления расчетной схемы электрической сети (рисунок 3). На расчетной схеме необходимо указать все параметры, которые влияют на значение тока короткого замыкания (средненоминальное значение ступени напряжения, технические характеристики электрического оборудования) и расчетные точки, в которых нужно рассчитать токи КЗ. Ток КЗ при проектировании системы электроснабжения ремонтного цеха ООО «АСпром» необходимо определять только на сборных шинах 0,4 кВ» [3].

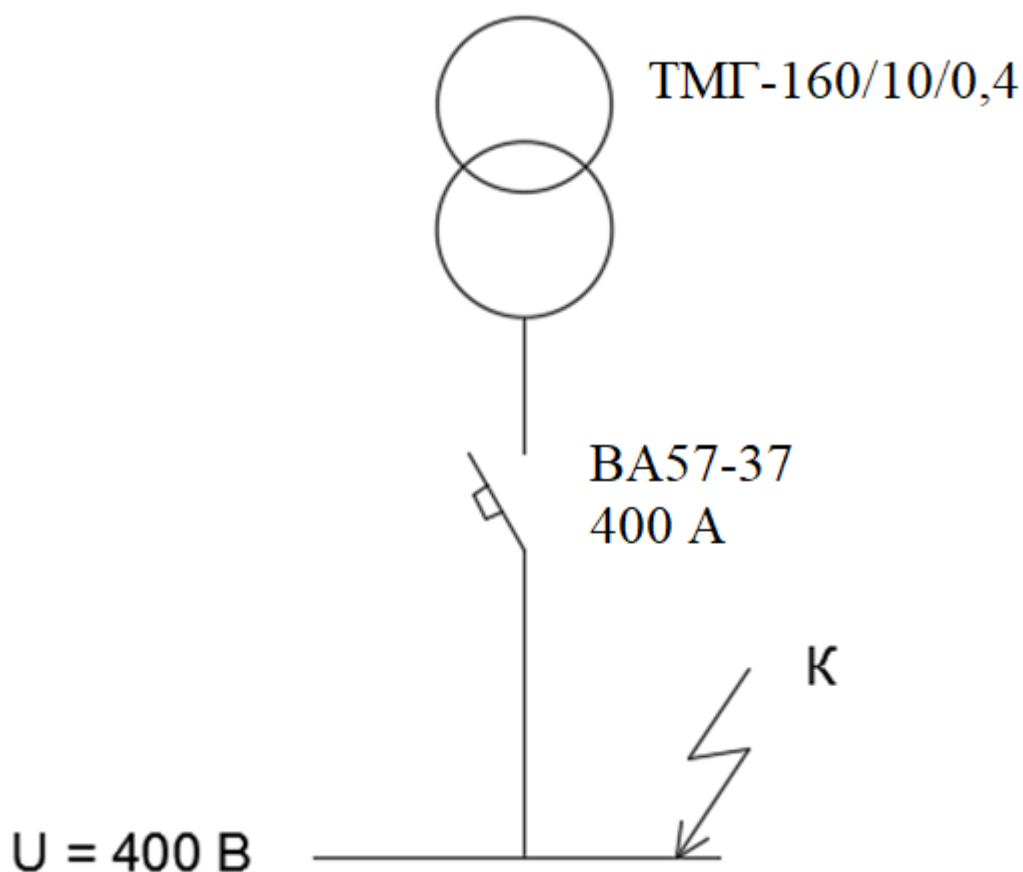


Рисунок 3 – Расчетная схема электрической сети

«На основании расчетной схемы необходимо составить электрическую схему замещения (рисунок 4). Схема замещения – это схема, которая

соответствует по своим параметрам расчетной схеме электрической сети, и все электромагнитные связи в которой заменены электрическими» [3].

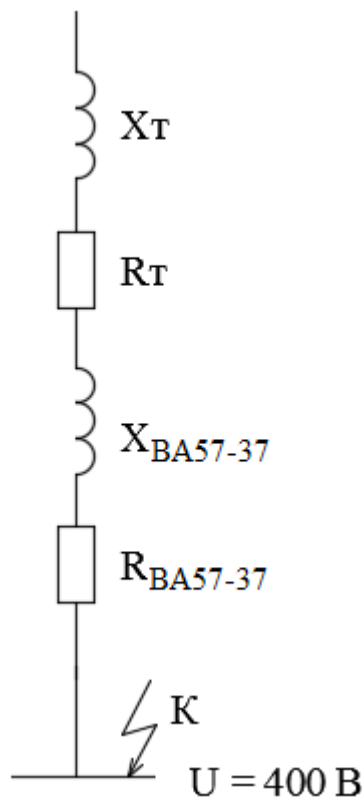


Рисунок 4 – Электрическая схема замещения электрической сети

«После составления электрической схемы замещения сети следует произвести расчет ее параметров. Согласно ГОСТ 28249–93 токи КЗ в электроустановках напряжением до 1 кВ рассчитываются в именованных единицах. Необходимо определить сопротивления элементов схемы замещения» [3].

«Сопротивления трансформаторов ТМГ–160/10/0,4 равны» [3]:

$$R_T = 10,3 \text{ мОм}; X_T = 26,0 \text{ мОм} [3].$$

«Сопротивления автоматического выключателя ВА57–37 400 А составляют» [3]:

$$R_{BA57-37} = 0,65 \text{ мОм}; X_{BA57-37} = 0,17 \text{ мОм} [3].$$

«Суммарное активное сопротивление сети до сборных шин 0,4 кВ КТП определяется по выражению» [3]:

$$R_{\Sigma} = R_T + R_{BA57-37}; \quad (54)$$

$$R_{\Sigma} = 10,3 + 0,65 = 10,95 \text{ мОм}.$$

«Суммарное индуктивное сопротивление сети до сборных шин 0,4 кВ КТП определяется по выражению» [3]:

$$X_{\Sigma} = X_T + X_{BA57-37}; \quad (55)$$

$$X_{\Sigma} = 26,0 + 0,17 = 26,17 \text{ мОм}.$$

«Ток трехфазного короткого замыкания на сборных шинах 0,4 кВ КТП определяется по формуле» [3]:

$$I_K = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}}; \quad (56)$$

$$I_K = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{10,95^2 + 26,17^2}} = 8,2 \text{ кА}.$$

Выводы по разделу.

В седьмом разделе ВКР рассчитаны токи КЗ. В результате проведенного расчета токов КЗ для цеха, были получены значения токов короткого замыкания, которые используются для выбора и проверки электрооборудования и проводников по условиям КЗ. Также были определены места возможных коротких замыканий.

8 Выбор кабелей и автоматических выключателей

В рамках данного раздела планируется провести выбор кабелей и автоматических выключателей с целью обеспечения надёжного электроснабжения промышленного объекта и защиты электротехнического оборудования от токов короткого замыкания и перегрузки. В процессе выбора будут учитываться требования нормативно-правовых документов, условия окружающей среды, а также особенности режимов работы электротехнического оборудования.

В качестве примера рассматривается высокоточный 5–осевой вертикальный обрабатывающий центр NMV 5000 DCG №12.

«Номинальный ток электроприемника» [18]:

$$I_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \quad (57)$$

где I_H – номинальный ток электроприемника, А;

P_H – «номинальная мощность электроприемника, кВт» [34];

U_H – «номинальное напряжение электроприемника, кВ» [34];

η – КПД при номинальной нагрузке;

$\cos \varphi$ – коэффициент мощности.

$$I_H = \frac{4}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,84 \cdot 0,84} = 8,8 \text{ А.}$$

«Пусковой ток электрического двигателя электроприемника» [18]:

$$I_{II} = I_H \cdot K_{II} \quad (58)$$

где K_{II} – «кратность пускового тока электродвигателя» [34];

$$I_{II} = 6 \cdot 8,8 = 52,8 \text{ А.}$$

«Выбор автоматических выключателей выполняется по условиям» [18]:

$$I_{н.а} \geq I_{н.д}, \quad I_{н.р} \geq I_{н.д}, \quad (59)$$

где $I_{н.а}$ – «номинальный ток автоматических выключателей» [34],

$I_{н.р}$ – номинальный ток расцепителя автоматических выключателей,

$$25A \geq 8,8A, \quad 10A \geq 8,8A.$$

Выбирается автоматический выключатель ВА51–35М1–34, производства АО «КЭАЗ» с $I_{н.а} = 25$ А, $I_{н.р} = 10$ А [28].

Выбранный автоматический выключатель проверяется по условию срабатывания:

$$I_{ср.з} \geq 1,25 \cdot I_{пуск}, \quad (60)$$

$$K_{отс} \cdot I_{ном.р} \geq 1,25 \cdot I_{пуск}, \quad (61)$$

$$10 \cdot 10 \geq 1,25 \cdot 52,8,$$

$$100A \geq 66A \text{ (верно).}$$

«Принимается кратность тока отсечки $K_{отс} = 10$. Аналогично выбираются остальные автоматические выключатели. Результаты расчета сведены в таблицу 2.5» [34].

Магнитный пускатель - это устройство, которое используется для управления и защиты электродвигателей. Он включает и отключает электродвигатель, а также защищает его от перегрузок и короткого замыкания. Магнитные пускатели могут быть однополюсными, двухполюсными и трехполюсными в зависимости от количества фаз электродвигателя и выбираются по условию:

$$I_N \geq I_P$$

где I_H – номинальный ток, А;

I_p – «расчетный ток потребителей (номинальный ток электроприемника), А» [34],

$$10 \text{ А} \geq 8,8 \text{ А.}$$

«Принимается МП ПМЛ 1500 с $I_H = 10\text{А}$ в сборе с тепловым реле марки РТЛ» [28].

«Для подключения всех электроприемников рассматриваемого цеха будет использован кабель марки ВВГнг. Сечение жил выбирается по следующим условиям» [13]:

$$I_{доп} \geq \frac{I_{н.д.}}{K_{\Pi}} \quad (62)$$

где $I_{доп}$ – допустимый ток кабеля, А;

$I_{н.д.}$ – расчетный ток, А;

K_{Π} – поправочный коэффициент, $K_{\Pi} = 1$,

$$I_{доп} \geq \frac{I_3 \cdot K_3}{K_{\Pi}} \quad (63)$$

где I_3 – ток срабатывания защитных аппаратов, А;

K_3 – кратность, $K_3 = 1$.

$$42 \text{ А} \geq 8,8 \text{ А}$$

$$42 \text{ А} \geq \frac{10 \cdot 1}{1} = 10 \text{ А,}$$

выбирается кабель марки ВВГнг–5×6 с $I_{доп} = 42 \text{ А}$, [29].

«Выбранный кабель необходимо проверить по потере напряжения» [13]:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)}{U_{НОМ}} \cdot 100\%, \quad (64)$$

где l – протяженность кабеля;

r_0, x_0 – активное и индуктивное сопротивление кабеля

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 8,8 \cdot 0,17 \cdot (0,74 \cdot 0,84 + 0,81 \cdot 0,54)}{380} \cdot 100\% = 0,7\%$$

«Так как $0,7\% < 5\%$, то кабель выбран верно.

Для остальных электрических установок расчет выполняется аналогично и все данные представлены в таблице 2.5».

Схема подключения электропривода с одним двигателем показана на рисунке 5.

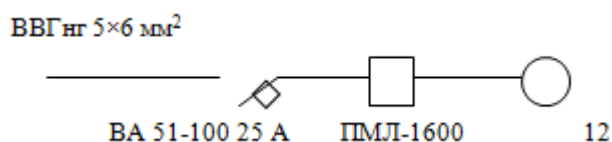


Рисунок 5 – Схема подключения электропривода с одним двигателем

Рассматривается отдельно выбор аппаратов для подключения электроприемника с электроприводом с двумя двигателями. Схема электроприемника с электроприводом с двумя двигателями приведен на рисунке 6.

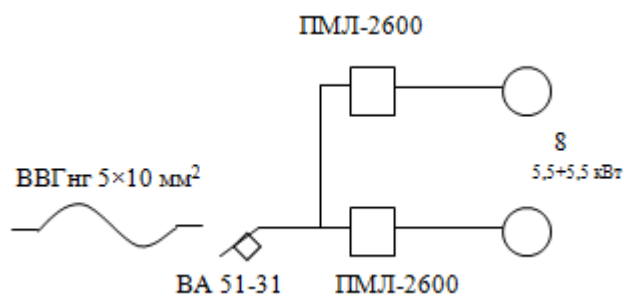


Рисунок 6 – Схема электроприемника с электроприводом с двумя двигателями

Выбор вышеперечисленных аппаратов будет рассмотрен для двухприводного сверлильного станка с ЧПУ ВНТ-500 №8 с двумя электродвигателями с $P_n = 5,5 \text{ кВт}$, $\cos\varphi = 0,85$, $\eta = 85,5\%$, $K_n = 7$.

«Выбор нижнего кабеля и пускателя» [13] выполняется аналогично электроприводу с одним двигателем.

Номинальный ток каждого электрического двигателя:

$$I_{n1} = I_{n2} = \frac{5,5}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85 \cdot 0,855} = 11,7 \text{ А.}$$

Пусковой ток электрического двигателя:

$$I_{\text{пуск}1} = I_{\text{пуск}2} = 11,7 \cdot 7 = 81,9 \text{ А.}$$

Пиковый ток группы:

$$\begin{aligned} I_{\text{пик.гр}} &= I_{\text{пуск.мах}} + I_{n2}; \\ I_{\text{пик.гр}} &= 81,9 + 11,7 = 93,6 \text{ А.} \end{aligned} \quad (65)$$

Расчётный ток группы электрических двигателей:

$$\begin{aligned} I_{\text{р.гр}} &= I_{n1} + I_{n2}; \\ I_{\text{р.гр}} &= 2 \cdot 11,7 = 23,4 \text{ А.} \end{aligned} \quad (66)$$

Выбирается автоматический выключатель:

$$\begin{aligned} I_{\text{н.а}} &\geq I_{\text{р.гр}}, & I_{\text{н.р}} &\geq I_{\text{р.гр}}, \\ 100\text{А} &\geq 23,4\text{А}, & 31,5\text{А} &\geq 23,4\text{А}. \end{aligned}$$

Из каталога [28] выбирается автоматический выключатель ВА51–35М1–34 с $I_{н.а} = 100 \text{ А}$ и $I_{н.р} = 31,5 \text{ А}$.

Проверяется выбранный автоматический выключатель по условию срабатывания:

$$I_{ср} \geq 1,25 \cdot I_{пик.гр}, \quad (67)$$

$$K_{отс} \cdot I_{ном.р} \geq 1,25 \cdot I_{пик.гр}, \quad (68)$$

$$10 \cdot 31,5 \geq 1,25 \cdot 93,6,$$

$$315 \text{ А} \geq 117 \text{ А (верно)}.$$

Принимается кратность $K_{отс} = 10$.

«Выбирается магнитный пускатель ПМЛ–2500 с $I_{ном} = 25 \text{ А}$ в сборе с тепловым реле марки РТЛ» [28].

«Выбирается питающий кабель» [32]:

$$I_{доп} \geq \frac{I_{р.гр}}{Kп}; \quad (69)$$

где $I_{доп}$ – «длительно допустимая токовая нагрузка провода или кабеля, А» [32];

$I_{р.гр}$ – расчётный ток группы электродвигателей, А;

$Kп$ – поправочный коэффициент $Kп = 1$,

$$I_{доп} \geq \frac{I_3 \cdot K_3}{Kп}; \quad (70)$$

где I_3 – номинальный ток или ток срабатывания защитной аппаратуры;

K_3 – кратность $K_3 = 1$.

$$I_{доп} \geq \frac{23,4}{1} \qquad I_{доп} \geq \frac{31,5 \cdot 1}{1};$$

$$60 \geq 23,4 A$$

$$60 \geq 31,5 A.$$

выбирается кабель ВВГнг 5×10 мм² с $I_{\text{доп}} = 60 A$ [29].

Выбранный кабель необходимо проверить на потерю напряжения:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 23,4 \cdot 0,2 \cdot (0,75 \cdot 0,85 + 0,79 \cdot 0,65)}{380} \cdot 100\% = 2,4\%$$

«Так как 2,4% < 5%, то кабель выбран верно» [29].

«Аналогично производится выбор аппаратов и кабелей для остальных электроприемников. Результаты выбора представлены в таблице 10» [29].

Таблица 10 – Выбор аппаратов и кабелей

| № ЭП | Автоматический выключатель | | | Пускатель | | Кабель | $I_{\text{доп}}$, А | ΔU , % |
|---------|-------------------------------|-------------------------|-------------------------|------------|--------------------|-------------|-------------------------|-------------------|
| | Марка | $I_{\text{н.а}}$, А | $I_{\text{н.р}}$, А | Марка | $I_{\text{н}}$, А | | | |
| 1 | ВА51-35М1-34 | 25 | 10 | ПМЛ-1500 | 10 | ВВГнг 5×2,5 | 19 | 0,8 |
| 2 | ВА51-35М1-34 | 25 | 12,5 | ПМЛ-1560ДМ | 16 | ВВГнг 5×2,5 | 19 | 0,9 |
| 3 | ВА51-35М1-34 | 25 | 10 | ПМЛ-1500 | 10 | ВВГнг 5×2,5 | 19 | 0,8 |
| 4 | ВА51-35М1-34 | 25 | 6,3 | ПМЛ-1500 | 10 | ВВГнг 5×2,5 | 19 | 0,5 |
| 5 | ВА51-35М1-34 | 25 | 6,3 | ПМЛ-1500 | 10 | ВВГнг 5×1,5 | 23 | 0,5 |
| 6 | ВА51-35М1-34 | 25 | 10 | ПМЛ-1500 | 10 | ВВГнг 5×2,5 | 19 | 0,8 |
| 7 | ВА51-35М1-34 | 25 | 10 | ПМЛ-1500 | 10 | ВВГнг 5×2,5 | 19 | 0,8 |
| 8 | ВА51-35М1-34 | 100 | 31,5 | ПМЛ-3511Д | 40 | ВВГнг 5×10 | 60 | 2,4 |
| 9 | ВА51-35М1-34 | 25 | 12,5 | ПМЛ-1560ДМ | 16 | ВВГнг 5×2,5 | 19 | 0,85 |
| 10 | ВА51-35М1-34 | 100 | 50 | ПМЛ-3560М1 | 50 | ВВГнг 5×6 | 42 | 2,1 |
| 11 | ВА51-35М1-34 | 25 | 12,5 | ПМЛ-1560ДМ | 16 | ВВГнг 5×2,5 | 19 | 0,85 |
| 12 | ВА51-35М1-34 | 25 | 10 | ПМЛ-1500 | 10 | ВВГнг 5×6 | 42 | 0,75 |
| 13 | ВА51-35М1-34 | 25 | 6,3 | ПМЛ-1500 | 10 | ВВГнг 5×2,5 | 19 | 0,5 |
| 14 | ВА51-35М1-34 | 25 | 6,3 | ПМЛ-1500 | 10 | ВВГнг 5×2,5 | 19 | 0,5 |
| 15 | ВА51-35М1-34 | 25 | 10 | ПМЛ-1500 | 10 | ВВГнг 5×6 | 42 | 0,75 |
| 16 | ВА51-35М1-34 | 25 | 10 | ПМЛ-1500 | 10 | ВВГнг 5×6 | 42 | 0,75 |
| 17 | ВА51-35М1-34 | 25 | 10 | ПМЛ-1500 | 10 | ВВГнг 5×6 | 42 | 0,75 |
| 18 | ВА51-35М1-34 | 25 | 10 | ПМЛ-1500 | 10 | ВВГнг 5×2,5 | 19 | 0,8 |
| 19 | ВА51-35М1-34 | 25 | 6,3 | ПМЛ-1500 | 10 | ВВГнг 5×2,5 | 19 | 0,5 |
| 20 | ВА51-35М1-34 | 25 | 10 | ПМЛ-1500 | 10 | ВВГнг 5×2,5 | 19 | 0,8 |
| 21 | ВА51-35М1-34 | 25 | 10 | ПМЛ-1500 | 10 | ВВГнг 5×2,5 | 19 | 0,8 |
| 22 | ВА51-35М1-34 | 100 | 100 | ПМЛ-5560ДМ | 100 | ВВГнг 5×25 | 124 | 3,1 |
| 23 | ВА51-35М1-34 | 100 | 40 | ПМЛ-3511Д | 40 | ВВГнг 5×4 | 24 | 2,5 |

Выбирается автоматический выключатель для группы по условиям, приведенным ниже:

$$1) I_{н. а.} \geq I_{р. гр.},$$

$$2) I_{н. гр.} \geq I_{р. гр.},$$

$$100 \text{ A} \geq 36,5 \text{ A},$$

$$40 \text{ A} \geq 36,5 \text{ A}.$$

Выбирается автоматический выключатель ВА51–35М1–34 с $I_{н. а.} = 100 \text{ A}$, $I_{н. р.} = 40 \text{ A}$.

Питающий кабель выбирается по условиям:

$$42 \text{ A} > 36,5 \text{ A};$$

$$42 \text{ A} > 26,4 \text{ A}.$$

Выбирается кабель ВВГнг 5х6 с $I_{доп} = 42 \text{ A}$ [29].

Выбранный кабель необходимо проверить по потере напряжения по выражению:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 36,5 \cdot 0,3 \cdot (0,46 \cdot 0,86 + 0,8 \cdot 0,51)}{380} \cdot 100\% = 2,3\%$$

Так как $2,3\% < 5\%$, то кабель выбран верно.

Для 1–ой группы электроприемников выбирается распределительный шкаф ШР–11–73701–УХЛ4 IP31 $I_{н} = 400 \text{ A}$ [28].

«Аналогично выбирают автоматы, кабели и шкафы для остальных групп оборудования.

Результаты расчета даны в таблице 11» [32].

Таблица 11 – Результаты выбора оборудования

| № шкафа | Марка кабеля | $I_{доп}$, А | Тип рубильника | I_n , А | Автомат | I_n , А |
|---------|--------------|---------------|----------------|-----------|--------------|-----------|
| 1 | ВВГнг 5х6 | 42 | P18-373 | 400 | ВА51-35М1-34 | 100 |
| 2 | ВВГнг 5х2,5 | 27 | P18-373 | 250 | ВА51-35М1-34 | 25 |
| 3 | ВВГнг 5х6 | 42 | P18-373 | 250 | ВА51-35М1-34 | 100 |
| 4 | ВВГнг 5х10 | 60 | P18-373 | 400 | ВА51-35М1-34 | 100 |

«Подключение крана и сварочного аппарата выполняется от СШ 0,4 кВ КТП» [15].

«Далее необходимо выполнить расчет нагрузки для всего цеха» [15].

Установленная номинальная мощность цеха:

$$P_{н.ц.} = \sum P_{н.г.} + P_{ном.кр.} + P_{н.св.} \quad (71)$$

где $P_{н.г.}$ – номинальная мощность i -ой группы электроприемников;

$P_{н.кр.}$ – номинальная мощность крана;

$P_{н.св.}$ – номинальная мощность ТС–200,

$$P_{н.ц.} = 48,9 + 39 + 54 + 71 + 13,4 + 23,6 = 250 \text{ кВт.}$$

Средняя активная и реактивная мощность:

$$P_{см.ц.} = \sum P_{н.г.} + P_{ном.кр.} \cdot K_u + P_{н.св.} \cdot K_u; \quad (72)$$

$$P_{см.ц.} = 7,74 + 5,1 + 9,41 + 11,2 + 2,68 + 4,72 = 40,85 \text{ кВт;}$$

$$Q_{см.ц.} = \sum Q_{см.г.} + P_{см.кр.} \cdot \text{tg}\phi + P_{см.св.} \cdot \text{tg}\phi; \quad (73)$$

$$Q_{см.ц.} = 10,54 + 8,8 + 11,86 + 12,26 + 23,2 + 54 = 120,66 \text{ кВАр.}$$

Эффективное число n_9 равно:

$$n_9 = 250^2/5 \cdot 11^2 + 15^2 + 6 \cdot 7,5^2 + 1,5^2 + 2 \cdot 2,2^2 + 5 \cdot 5,5^2 + 4 \cdot 4^2 + 37^2 + 18,5^2 + 13,4^2 + 23,6^2 = 16,3$$

Принимается $n_3 = 16$.

Коэффициент максимума:

$$K_M = 1 + 1,5/\sqrt{16} \cdot (\sqrt{1} - 0,16/0,16) = 1,9;$$

$$P_{p.c.} = 1,9 \cdot 40,85 = 82,7 \text{ кВт};$$

$$Q_{p.c.} = 1,9 \cdot 120,66 = 132,7 \text{ кВар};$$

$$S_{p.c.} = \sqrt{77,6^2 + 132,7^2} = 153,7 \text{ кВА.}$$

$$I_{p.c.} = 153,7 / \sqrt{3} \cdot 0,38 = 233,8 \text{ А.}$$

Пиковый ток:

$$I_{\text{пик.ц.}} = 480,9 + 233,8 - 68,7 \cdot 0,14 = 705,1 \text{ А.}$$

Результаты расчетов представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Общая нагрузка цеха

| № группы | Ки. гр. | P_n , кВт | P_p , кВт | Q_p , квар | S_p , кВА | I_p , А |
|----------|---------|-------------|-------------|--------------|-------------|-----------|
| Цеха | 0,16 | 250 | 82,7 | 132,7 | 153,7 | 233,8 |

Выбор оборудования цеха.

Рассматривается выбор аппаратов для сварочного трансформатора марки ТС–200.

Для ТС–200 номинальную мощность, которая приведена к длительному режиму ($P_B = 100\%$) можно найти как [17]:

$$P_n = S_n \cdot \cos \phi \cdot \sqrt{P_B}, \quad (74)$$

$$P_n = 47 \cdot 0,65 \cdot \sqrt{0,6} = 23,6 \text{ кВт.}$$

Номинальный ток ТС–200 [17]:

$$I_{CB.H} = \frac{S_{CB.H}}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \phi} \quad (75)$$

где $S_{CB.H}$ – номинальная полная мощность ТС–200, кВА;

$$I_{CB.H} = \frac{23.6}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,65} = 55,2 \text{ А.}$$

«Пиковый ток ТС–200 принимается равным 3–хкратному номинальному току» [13]:

$$I_{\text{ПИК}} = 3 \cdot I_{CB.H} \quad (76)$$

$$I_{\text{ПИК}} = 3 \cdot 55,2 = 165,6 \text{ А.}$$

«Для защиты от ТКЗ выбирается предохранитель, который установлен в силовом ящике на ЛЭП по условию» [13]:

$$I_{\text{ВС}} \geq 1,2 \cdot I_{CB.H} \cdot \sqrt{\text{ПВ}} \quad (77)$$

$$I_{\text{ВС}} \geq 1,2 \cdot 55,2 \cdot \sqrt{0,6}$$

$$63 \text{ А} \geq 51,3 \text{ А.}$$

Выбирается предохранитель ПН2–100 с током плавкой вставки $I_{\text{ВС}} = 63 \text{ А}$ [28].

Выбирается шкаф ЯБПВУ–100–IP54–У3 с предохранителем 100 А [14].

«Производится расчет автоматического выключателя по следующим условиям» [13]:

$$I_{н.а.} \geq I_{н.св.} \quad (78)$$

где $I_{н.св.}$ – «номинальный тока автоматического выключателя, А» [13];

$$100 \text{ A} \geq 55,2 \text{ A}$$

$$I_{н.р.} \geq I_{н.св.} \quad (79)$$

где $I_{н.р.}$ – «номинальный ток автоматического выключателя, А» [13];

$$63 \text{ A} \geq 55,2 \text{ A}$$

«Выбирается автоматический выключатель ВА51–31 с $I_{н.а} = 100 \text{ A}$, $I_{н.р} = 63 \text{ A}$ » [28].

«Проверяется выбранный автоматический выключатель» [13]:

$$I_{ср} \geq 1,25 \cdot I_{пик},$$

где $I_{ср}$ – ток расцепителя, А.

$$I_{ср} = K_{отс} \cdot I_{н.р.} \quad (80)$$

$$K_{отс} \cdot I_{н.р.} \geq 1,25 \cdot I_{пик},$$

принимается $K_{отс} = 7$

$$7 \cdot 63 \text{ A} \geq 1,25 \cdot 165,6,$$

$$441 \text{ A} \geq 207 \text{ A},$$

«значит автоматический выключатель выбран верно» [13].

«Выбирается низковольтный питающий гибкий кабель от шкафа ЯБПВУ до трансформатора» [13]:

$$I_{доп} \geq 55,2 \text{ A},$$

$$75 \geq 55,2 \text{ A},$$

$$I_{доп} \geq \frac{0,66 \cdot 63}{1},$$

$$I_{доп} \geq 41,5 \text{ A},$$

$$75 \geq 41,5 \text{ A},$$

Выбирается кабель ВВГнг 5×16 мм² с длительным током равным $I_{\text{доп}} = 75 \text{ A}$. [29].

Проверка на потерю напряжения:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 55,2 \cdot 0,15 \cdot (0,67 \cdot 0,65 + 0,77 \cdot 0,76)}{380} \cdot 100\% = 3,8\% < 5\%,$$

следовательно кабель выбран верно.

Гибкий кабель следует выбирать аналогично:

$$I_{\text{доп}} \geq 55,2 \text{ A},$$

$$60\text{A} \geq 55,2 \text{ A},$$

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{0,33 \cdot 63}{1},$$

$$60\text{A} \geq 20,79 \text{ A},$$

принимается гибкий кабель типа КГ 5×10 [29].

Результаты выбора даны в таблице 13.

Таблица 13 – Аппаратура ТС–200

| Тип трансформатора Sn. тр, кВА | Шкаф | | | | Автомат | Кабель | I _{доп} , А | ΔU % |
|-----------------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|-----------|-----------------|-------------------------|---------|
| | Тип | I _{н. пр} , А | I _{н. вс.} , А | I _{вс.} , А | | | | |
| ТС – 200 | ЯБПУ 100 – IP54 – УЗ | 100 | 100 | 63 | ВА51 – 31 | ВВГнг 5 × 16 | 75 | 3,8 |

Схема защиты ТС–200 показана на рисунке 7.

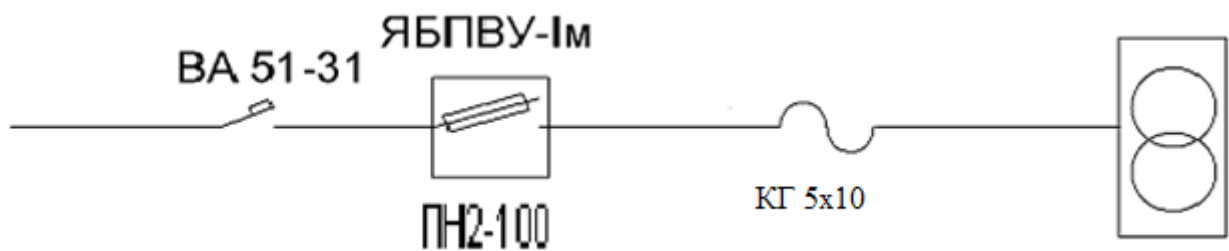


Рисунок 7 – Схема защиты ТС–200

«Рассматривается выбор защитных и коммутационных аппаратов для крана. На кране устанавливаются четыре приводных электродвигателя. Два из них используются для передвижения крана, один применяется для подъема груза и еще один необходим для перемещения тележки» [16].

«Величина номинальной мощности электродвигателей мостового крана равна» [16]:

$$P_{н.д.} = P_n \cdot \sqrt{ПВ}; \quad (81)$$

где ПВ – «паспортная продолжительность включения в о.е.» [16];

P_n – паспортная мощность двигателя.

«Выбор электродвигателей следует выполнять по условию» [16]:

$$P_{ПАСП} = P_{П1} + P_{П2} + P_{П3} + P_{П4}, \quad (82)$$

где $P_{ПАСП}$ – паспортная мощность крана, кВт;

$P_{П1}, P_{П2}, P_{П3}, P_{П4}$ – «паспортная мощность приводных электродвигателей, кВт» [16].

«Для защиты от ТКЗ выбирается плавкие вставки в шкафу ЯБПВУ по условиям» [16]:

$$I_{вс} \geq I_p, \quad (83)$$

$$I_{вс} \geq \frac{I_{кр}}{K_n}, \quad (84)$$

где I_p – расчетный ток питающей ЛЭП, А;

$I_{кр}$ – максимальный кратковременный ток ЛЭП, А.

$$I_p = I_{н1} + I_{н2} + I_{н3} + I_{н4} \quad (85)$$

где $I_{н1}, I_{н2}, I_{н3}, I_{н4}$ – «значения номинальных токов электродвигателей крана» [16],

$$I_{кр} = I_{пуск} + I_{дл}, \quad (86)$$

где $I_{пуск}$ – «пусковой ток самого мощного электродвигателя» [13];

$I_{дл}$ – расчетный ток линии до пуска самого мощного, А.

$$I_p = 36 + 7,2 + 9,4 + 9,4 = 62 \text{ А},$$

$$I_{кр} = 205 + 7,2 + 9,4 + 9,4 = 231 \text{ А}.$$

Выбираются предохранители:

$$100 \text{ А} > 62 \text{ А},$$

$$100 \text{ А} > \frac{231}{2,5} = 92,4 \text{ А}.$$

Выбирается предохранитель ПН2–100 с $I_{вс} = 100 \text{ А}$ [28], с учетом которого выбирается силовой ящик с предохранителями ЯБПВУ 100–IP54–У3 с $I_{н.а.} = 100 \text{ А}$ и $I_{н.пр.} = 100 \text{ А}$ [28].

Производится расчет автоматического выключателя:

$$160 \text{ А} > 62 \text{ А},$$

$$63 \text{ А} > 62 \text{ А}.$$

Из [28] выбирается автомат марки ВА51–35М2–34 с $I_{н.а.} = 160 \text{ А}$ и $I_{н.р.} = 63 \text{ А}, I_{ср.р.} = 630 \text{ А}$.

Проверяется ток срабатывания:

$$630 \text{ A} \geq 1,25 \cdot 231 = 288,8 \text{ A}.$$

«Выбранный автомат соответствует проверочному условию.

Выбор магнитных пускателей для крановых электродвигателей выполняется аналогично электродвигателям высокоточного 5-осевого вертикального обрабатывающего центра NMV 5000 DCG. Производится выбор гибкого кабеля для крана» [13]:

$$\begin{aligned} I_{\text{доп}} &\geq 62 \text{ A}, \\ 75 \text{ A} &\geq 62 \text{ A}, \\ I_{\text{доп}} &\geq \frac{0,33 \cdot 100}{1}, \\ 75 \text{ A} &\geq 33 \text{ A}. \end{aligned}$$

«Выбирается гибкий кабель марки КГ 5×16 мм² с длительным током $I_{\text{доп}} = 75 \text{ A}$ » [29].

«Выбирается кабель для крана от автомата до шкафа ЯБПВУ по условиям» [7]:

$$\begin{aligned} I_{\text{доп}} &\geq 62 \text{ A}, \\ 75 \text{ A} &\geq 62 \text{ A}, \\ I_{\text{доп}} &\geq \frac{0,66 \cdot 63}{1}, \\ 75 \text{ A} &\geq 42 \text{ A}. \end{aligned}$$

«Выбирается кабель ВВГнг 5×16 мм² с $I_{\text{доп}} = 75 \text{ A}$ » [29].

Проверка на потерю напряжения:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 62 \cdot 0,15 \cdot (0,37 \cdot 0,6 + 0,09 \cdot 0,8)}{380} \cdot 100\% = 1,2\% < 5\%,$$

что говорит о том, что кабель выбран правильно.

«Результаты выбора оборудования для крана представлены в таблице 14» [10].

Таблица 14 – Выбор защитных аппаратов и кабелей для крана

| Тип электродвигателя | Тип пускателя | I _н , А | Силовой шкаф | | | | Марка кабеля | I _{доп.} А | ΔU % |
|----------------------|---------------|--------------------|--------------|------------------|-----------------------|--------------------|--------------|---------------------|------|
| | | | Тип | I _н А | I _{н. пр.} А | I _{вс.} А | | | |
| <i>МТКФ511 – 6</i> | ПМЛ – 3110Д | 40 | ЯБПВУ | 100 | 100 | 100 | КГ 5 × 16 | 75 | 0,1 |
| <i>МТКФ311 – 8</i> | ПМЛ – 1500 | 10 | 100 | | | | | | |
| <i>МТКФ312 – 8</i> | ПМЛ – 1560ДМ | 16 | – IP54 | | | | 75 | 1,2 | |
| <i>МТКФ312 – 8</i> | ПМЛ – 1560ДМ | 16 | – УЗ | | | | | | |

Выводы по разделу.

В восьмом разделе ВКР проведен выбор кабелей и автоматических выключателей с целью обеспечения надёжного электроснабжения промышленного объекта и защиты электротехнического оборудования от токов короткого замыкания и перегрузки. В процессе выбора учтены требования нормативно-правовых документов, условия окружающей среды, а также особенности режимов работы электротехнического оборудования.

9 Расчет системы заземления цеха

В данном разделе будет проведен расчет системы заземления комплектной трансформаторной подстанции (КТП) цеха с целью обеспечения безопасности персонала и защиты электрооборудования от воздействия токов короткого замыкания. Для этого будут определены оптимальные параметры заземляющего устройства, учитывающие требования нормативных документов и условия эксплуатации.

«На трансформаторной подстанции для обеспечения нормальной работы электроустановок, а также для обеспечения электробезопасности обслуживающего персонала выполняется заземление, которое включает в себя наружный контур заземления и заземляющие проводники, прокладываемые внутри помещения и по территории ТП. Заземление ТП выполняет функции рабочего заземления, необходимого по условиям эксплуатации, и защитного заземления, которое обеспечивает защиту обслуживающего персонала от поражения электрическим током. Для обеспечения данных функций все металлоконструкции и металлические части электрооборудования соединяют с заземлением» [11].

«Все соединения выполняются сваркой. Общее сопротивление заземляющего устройства должно быть не более 4 Ом для КТП» [4].

«Заземление фланцев проходных изоляторов, опорных металлических конструкций и корпусов аппаратов, жалюзийных решеток выполняется по месту полосовой сталью прямоугольного сечения 4х25 мм» [4].

«Заземление металлических рам дверей и ворот осуществляется приваркой их к внутреннему контуру заземления полосовой сталью прямоугольного сечения 4х25 мм.

Грунт – песок, $\rho = 1,5 \cdot 10^4$ Ом/см, принимаем $R_3 = 4$ Ом» [4].

«Контур заземления размещаем в ряд с расстоянием между заземлителями равно 5,75 м и вертикальными заземлителями длиной 5 м.

В качестве вертикальных заземлителей принимаем стержни из круглой стали диаметром 16 мм, а горизонтального – полосовую сталь 40 х 4 мм².

Сопротивление одиночного вертикального заземлителя равно» [18]:

$$R_0 = \frac{0,16\rho}{l} \cdot \left(\ln \frac{2l}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4h+l}{4h-l} \right); \quad (87)$$

$$R_0 = \frac{0,16 \cdot 1,5 \cdot 10^4}{500} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 500}{1,2} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 250 + 500}{4 \cdot 250 - 500} \right) = 32,8 \text{ Ом.}$$

Принимается восемь стержней.

«Сопротивление всех вертикальных заземлителей равно» [18]:

$$R_B = \frac{R_0}{n \cdot \eta_c}, \quad (88)$$

где $\eta_c = 0,73$

$$R_B = \frac{32,8}{8 \cdot 0,73} = 5,6 \text{ Ом.}$$

Длина горизонтального заземлителя

$$L = 5,325 \cdot 8 + 2 \cdot 5 = 52,6 \text{ м,}$$

«принимается глубина прокладки $h = 70$ см, ширину заземлителя $b = 4$ см» [18].

Сопротивление горизонтального заземлителя равно:

$$R_{г.з.} = \frac{0,16\rho}{l} \cdot \ln \frac{2l^2}{hb}; \quad (89)$$

$$R_{г.з.} = \frac{0,16 \cdot 1,5 \cdot 10^4}{5260} \cdot \ln \frac{2 \cdot 5260^2}{70 \cdot 4} = 5,56 \text{ Ом.}$$

«Действительное сопротивление горизонтального заземлителя равно»
[18]:

$$R_{\Gamma} = \frac{R_{\Gamma.з.}}{\eta_c}, \quad (90)$$
$$R_{\Gamma} = \frac{5,56}{0,73} = 7,6 \text{ Ом.}$$

Сопротивление всего заземляющего устройства:

$$R_3 = \frac{R_B \cdot R_{\Gamma}}{R_B + R_{\Gamma}}, \quad (91)$$
$$R_3 = \frac{5,6 \cdot 7,6}{5,6 + 7,6} = 3,2 < 4 \text{ Ом.}$$

«Из этого следует, что число вертикальных стержней выбрано верно» [4]. Для обеспечения нормативного сопротивления было использовано 8 вертикальных заземлителя длиной 5 метров и диаметром 16 мм, размещенных на расстоянии 5 метров друг от друга. Данное заземляющее устройство обеспечивает безопасность эксплуатации электрооборудования и защиту от поражения электрическим током.

Выводы по разделу.

В девятом разделе ВКР рассчитано заземление КТП. В результате расчета системы заземления для цеха было выбрано эффективное заземляющее устройство с сопротивлением растеканию тока $R_3 = 3,2 \text{ Ом}$. Для обеспечения такого сопротивления было использовано 8 вертикальных заземлителя длиной 5 метров и диаметром 16 мм, размещенных на расстоянии 5 метров друг от друга. Данное заземляющее устройство обеспечивает безопасность эксплуатации электрооборудования и защиту от поражения электрическим током.

Заключение

В данной работе был разработан проект реконструкции системы электроснабжения ремонтного цеха ООО «АСпром» с учетом современных требований к надежности, энергоэффективности и экологической безопасности. Были предложены решения по модернизации существующей схемы электроснабжения, использованию современного оборудования и материалов, а также оптимизации параметров системы.

Приведены общие сведения о предприятии и рассматриваемом цехе. Приведен план цеха с расположением электроприемников, приведены технические характеристики электроприемников цеха.

Выполнен расчет системы освещения цеха. Приведены технические характеристики используемых светильников. Проведен светотехнический расчет освещения и выбраны светодиодные светильники LB/S M ECO LED 120 5000K и ARCTIC.OPL ECO LED 600 EM 4000K class I, производства компании ООО «МГК «Световые Технологии». В качестве аварийного освещения приняты восемь светильников НСП–11–200–425 с лампами накаливания Г – 215 – 225 – 99, мощностью $P_H=99$ Вт.

Рассчитаны электрические нагрузки цеха.

на основании произведенных расчетов были выбраны компенсирующие устройства (КУ), необходимые для снижения потерь электроэнергии и поддержания требуемых уровней напряжения в узловых точках электрической сети цеха. В качестве КУ использованы статические тиристорные компенсаторы с автоматической регулировкой компенсации реактивной мощности УКМ58П–0,4–75–25 УЗ.

Для электроснабжения цеха выбрана двухтрансформаторная КТП с силовыми трансформаторами ТМГ–160–10/0,4. Дана комплектация КТП, для установки на вводе в ТП применяются ячейки КСО–366 с выключателем нагрузки ВНРП–10/400 УЗ в сочетании с предохранителем ПКТ103–10–12,5/20 УЗ.

Рассчитано внешнее электроснабжение. Питание КТП цеха от питающей подстанции выполняется по кабельной линии, выполненной двумя кабелями АПвП 3х70. Для установки на питающей подстанции применяется ячейка КРУ К-104М с вакуумными выключателями ВВ/TEL-10-12,5/630 УЗ. Рассчитаны токи КЗ на стороне 0,4 кВ трансформатора. Данный ток составляет 8,2 кА. Выбраны кабели и автоматические выключатели в системе электроснабжения. Также для питания мостового крана и сварочного аппарата применяются ящики ЯБПВУ-100 с предохранителями.

В результате расчета системы заземления для цеха было выбрано эффективное заземляющее устройство с сопротивлением растеканию тока $R_z = 3,2$ Ом. Для обеспечения такого сопротивления было использовано 8 вертикальных заземлителя длиной 5 метров и диаметром 16 мм, размещенных на расстоянии 5 метров друг от друга. Данное заземляющее устройство обеспечивает безопасность эксплуатации электрооборудования и защиту от поражения электрическим током.

Результаты работы могут быть использованы для оптимизации систем электроснабжения на предприятиях различных отраслей промышленности. Это позволит повысить эффективность работы, снизить затраты на энергоснабжение и улучшить условия труда персонала.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. N 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" // Консультант плюс: справочно-правовая система.
2. ГОСТ 17677-82 Светильники. Общие технические условия (с Изменениями N 1, 2, 3) // Консультант плюс: справочно-правовая система.
3. ГОСТ 28249-93 Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока до 1 кВ // Консультант плюс: справочно-правовая система.
4. Правила устройства электроустановок // Консультант плюс: справочно-правовая система.
5. РТМ 36.18.32.4-92 Руководящий технический материал. Указание по расчету электрических нагрузок // Консультант плюс: справочно-правовая система.
6. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* // Консультант плюс: справочно-правовая система.
7. Анчарова Т.В., Рашевская М.А., Стебунова Е.Д. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. М. : Форум, 2018. 192 с.
8. Бакшаева Н.С. Расчёт электрических нагрузок, учебно-справочное пособие. Киров: Издательство ВятГУ. : 2008. 129с.
9. Волобринский С. Д. Электрические нагрузки и балансы промышленных предприятий. М. : ДЕАН, 2006 384 с.
10. Киреева Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: учебное пособие. М. : КноРус, 2013. 368 с.
11. Коновалова Л.Л., Рожкова Л.Д. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. М. : Энергоиздат, 2018. 256 с.
12. Кудрин Б.И. Электроснабжение : учебник. Ростов на Дону : Феникс,

2018. 382 с.

13. Ополева Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов : учебное пособие. М.: Форум, 2018. 350 с.

14. Рождествина А.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий (для бакалавров). М.: КноРус, 2013. 368 с.

15. Рожин А. Н., Бакшаева Н. С. Внутрицеховое электроснабжение. Учебное пособие для выполнения курсового и дипломного проектов. Киров. : Изд-во ВятГУ, 2006. 258 с.

16. Скрипко В. К. Выбор электрооборудования и релейной защиты внутризаводского электроснабжения промышленных предприятий: Учебное пособие. Омск. : Издательство ОмГТУ, 2000. 452 с.

17. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Электроснабжение : учебное пособие. М. : РадиоСофт, 2013. 328 с.

18. Сибикин Ю. Д. Электрические подстанции : учебное пособие для высшего и среднего профессионального образования. 2-е изд., испр. М. : РадиоСофт, 2014. 414 с.

19. Сибикин, Ю.Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий. М.: Инфра-М, 2017. 89 с.

20. Степанов В. М., Косырихин В. С. Передача и распределение электроэнергии, расчеты линий электропередач и электрических сетей. Тула : Изд-во ТулГУ, 2012. 186 с.

21. Степанов В. М., Косырихин В. С. Расчёт и проектирование электрических сетей и систем. Тула : Изд-во ТулГУ, 2014. 351 с.

22. Щербаков Е.Ф. Александров Д.С., Дубов А.Л. Электроснабжение и электропотребление на предприятии : учебное пособие. М. : Форум, 2016. 224 с.

23. Яхонтова О. Валенкевич Л., Рутгайзер Я. Электроснабжение и электропотребление в строительстве: учебное пособие. СПб. : Лань, 2012. 512 с.

24. Технические характеристики светодиодных светильников типа LB/S M ECO LED 120 5000K URL: <https://www.ltcompany.com/ru/products/types/industrial-luminaires/from-5-to-1-2-meters/lb-s-eco-led/lb-s-m-eco-led-120-5000k/> (Дата обращения 20.10.2023)

25. Технические характеристики светодиодных светильников ARCTIC.OPL ECO LED 600 EM 4000K. URL: <https://www.ltcompany.com/ru/products/types/industrial-luminaires/up-to-5-meters/arctic-opl-eco-led/arctic-opl-eco-led-600-em-4000k-class-i/> (Дата обращения 20.10.2023)

26. Технические характеристики силовых трансформаторов, производства Минского электротехнического завода имени В.И. Козлова. URL: <http://metz.by> (Дата обращения 20.10.2023)

27. Технические характеристики компенсирующих устройств 0,4 кВ. URL: http://www.electrointer.ru/catalog_item/ukm58p/ (Дата обращения 20.10.2023)

28. Технические характеристики автоматических выключателей, производства АО «КЭАЗ». URL: <https://keaz.ru/f/5134/katalog-keaz.pdf> (Дата обращения 20.10.2023)

29. Характеристики кабелей. URL: <http://www.kamkabel.ru> (Дата обращения 20.10.2023)

30. Общие сведения о предприятии ООО «Аспром» URL: <https://asprom.su/o-kompanii/> (Дата обращения 20.10.2023)

31. Santarius, P., Krejci, P., Brunclik, Z., Prochazka, K., Kysnar, F. Evaluation of power quality in regional distribution networks. In 23rd International Conference on Electricity Distribution. Lyon. : AIM. 2015. 289 p.

32. Ramos, MC Giacco and Tahan, CM Vieira. An Assessment of the Electric Power Quality and Electrical Installation Impacts on Medical Electrical Equipment Operations at Health Care Facilities – American Journal of Applied Sciences 6 (4), 2009. 826 p.

33. Suhas C Dhapare, Nitin R Lothe, Pillai Ramachandran. Power quality monitoring with smart meters. In 23rd International Conference on Electricity Distribution. Lyon: AIM. 2015. 289 p.