

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

Институт химии и энергетики

(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

(наименование)

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

(код и наименование направления подготовки/ специальности)

Электроснабжение

(направленность (профиль) / специализация)

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)

на тему Электроснабжение вспомогательного производства машиностроительного предприятия

Обучающийся

С.Н. Кирюшов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.п.н., доцент, М.Н. Третьякова

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

Тольятти 2022

## Аннотация

Представлены результаты выполнения выпускной квалификационной работы, направленной на разработку системы электроснабжения вспомогательного производства машиностроительного завода.

В основной части пояснительной записки рассчитаны действующие силовые нагрузки, предложены варианты проектирования электрической сети вспомогательного производства машиностроительного завода, рассмотрены вопросы по повышению качества электроэнергии в сети предприятия.

Для обоснования выбора оборудования трансформаторных подстанций в работе произведен расчет токов короткого замыкания.

Результаты выполненной работы:

- осуществлен расчет рационального количества источников энергоснабжения предприятия;
- спроектирована система электроснабжения, обеспечивающая необходимый уровень качества электрической энергии;
- осуществлен расчет оптимального количества трансформаторных подстанций и определен их класс;
- осуществлен выбор приемлемых средств компенсации реактивной мощности.

Пояснительная записка выполнена на 48 страницах, включает восемь таблиц и восемь рисунков. Графическая часть выполнена на шести листах формата А1.

## Содержание

Введение.....	4
1 Анализ объекта электроснабжения и нормативных требований.....	6
1.1 Анализ объекта электроснабжения.....	6
1.2 Нормативное обеспечение при проектировании систем электроснабжения.....	7
2 Расчет электрической нагрузки и освещения.....	11
3 Расчет и выбор устройств компенсации реактивной мощности.....	30
4. Разработка схемы электроснабжения.....	37
5. Расчет, выбор и проверка электрооборудования схемы электроснабжения.....	39
6. Выполнение монтажных схем.....	42
Заключение.....	45
Список используемых источников.....	46

## Введение

Постоянное совершенствование производственных технологий и оборудования диктуют необходимость постоянного ужесточения требований, регламентирующих обеспечение необходимого уровня энергоэффективности производственных мощностей, а также их соответствия современным экологическим нормам и требованиям [1].

Современные стандарты предъявляют к качеству электрической энергии все более жесткие требования. На сегодняшний день вопрос обеспечения производственных предприятий высококачественной электрической энергией является весьма актуальным, что обусловлено обострением проблем энергосбережения.

Для того, чтобы спроектировать и обеспечить работоспособность эффективной системы электроснабжения, необходимо решить целый комплекс задач, а именно:

- спрогнозировать динамику роста потребности в электрической энергии предприятия при расширении производственных мощностей;
- осуществить расчет оптимального количества источников энергоснабжения предприятия, при котором оно будет способно надежно функционировать;
- спроектировать систему электроснабжения, обеспечивающую необходимый уровень качества электрической энергии;
- осуществить расчет оптимального количества трансформаторных подстанций и определить их класс;
- осуществить выбор и произвести расчет схемы электроснабжения предприятия;
- осуществить выбор приемлемых средств компенсации реактивной мощности.

При условии успешного решения вышеперечисленных задач будет обеспечен необходимый уровень качества электрической энергии и надежность системы электроснабжения.

Тема данной выпускной квалификационной работы – «Электроснабжение вспомогательного производства машиностроительного завода».

Цель данной ВКР – обеспечение надежного и качественного электроснабжения вспомогательного производства машиностроительного завода.

В данной ВКР объектом исследования является действующая система электроснабжения вспомогательного производства машиностроительного завода.

Предметом исследования в ВКР является разработка наиболее эффективных и подходящих для конкретных условий технических решений по обеспечению электроснабжения вспомогательного производства машиностроительного завода.

# **1 Анализ объекта электроснабжения и нормативных требований**

## **1.1 Анализ объекта электроснабжения**

Основными потребителями электрической энергии на рассматриваемом объекте являются: производственное оборудование, электрические инструменты, система освещения производственных площадей.

Специфические особенности производственных мощностей и оборудования представляют собой основные факторы, которые формируют условия использования потребителей электроэнергии [3]. Помещения вспомогательного производственного комплекса машиностроительного завода относятся к категории сухих.

В условиях производственных предприятий существуют участки и зоны, которые в соответствии с ПУЭ, являются опасными, а именно пожароопасными и взрывоопасными. Пожароопасными являются такие участки и зоны, в которых постоянно или периодически используются легковоспламеняющиеся и горючие вещества.

Взрывоопасными являются такие помещения, в которых могут образовываться взрывоопасные концентрации горючих веществ. При наличии в помещении пятипроцентной концентрации взрывоопасных веществ оно относится к классу взрывоопасных. Также взрывоопасной зоной является участок в радиусе пяти метров от оборудования, которое может являться источником выделения взрывоопасных веществ [2].

Рисунок 1 представляет собой схему рассматриваемого производственного помещения.

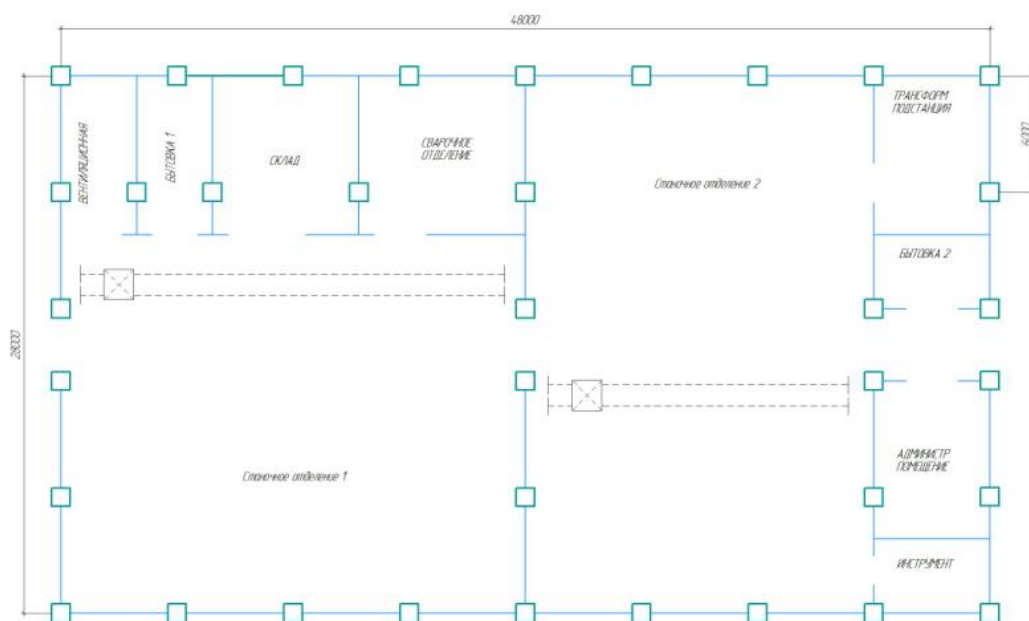


Рисунок 1 – План исследуемого цехового помещения

В состав основной группы электроприемников электрической энергии входят: силовые трансформаторы, комплекс производственного оборудования, система вентиляции.

В зависимости от потенциального ущерба в случае нарушения электроснабжения весь комплекс потребителей электрической энергии разделяется на категории. Каждая категория подразумевает наличие определенного количества независимых источников питания, определенную схему электроснабжения и устройств защиты [4].

## 1.2 Нормативное обеспечение при проектировании систем электроснабжения

Под электроприемниками электрической энергии подразумеваются производственные установки и оборудование, которые преобразуют энергию электрического тока в механическую работу и другие виды энергии (тепловую, химическую и т.п.). При наличии нескольких однотипных производственных приемников электрической энергии они, как правило,

объединяются в одну технологическую группу. В условиях производственных предприятий система электроснабжения может состоять из различных видов трансформаторных установок, а именно: питающих, распределительных или преобразовательных [5]. Помимо этого, в состав системы электроснабжения входит сеть линий электропередач. Основными требованиями, которые необходимо учитывать в процессе проектирования системы электроснабжения промышленного предприятия, являются [11]:

- обеспечение требуемого уровня удобства эксплуатации СЭС;
- обеспечение требуемого уровня безопасности проектируемой СЭС;
- обеспечение требуемого уровня качества электрической энергии;
- обеспечение требуемого уровня надежности и бесперебойности функционирования проектируемой СЭС;
- обеспечение требуемого уровня затрат на разработку и реализацию СЭС.

Функционирование электроприемников машиностроительного завода связано с потреблением большой реактивной мощности. Реактивные токи приводят к дополнительной токовой нагрузке на систему распределения электроэнергии и снижают коэффициент мощности сети предприятия. Для компенсации потребления реактивной составляющей электрической энергии предусмотрены специальные компенсирующие устройства. При отсутствии таких устройств экономическая эффективность системы электроснабжения достаточно низкая [6].

Для выполнения требований надежности электроснабжения нужно предусмотреть возможность резервирования каждой из линий электроснабжения.

В связи с тем, что все элементы электроснабжения производства входят в состав общей структурной схемы организации, то при их размещении необходимо учесть все особенности расположения уже имеющихся сетей и оборудования [7].



Важным является выбор оптимальной величины питающего напряжения, который осуществляется в соответствии с:

- уровнем потребляемой мощности оборудованием предприятия;
- расстоянием между предприятием и источником электрической энергии;
- допустимыми значениями питающих напряжений всего комплекса производственного оборудования.

Обычно при электроснабжении крупных производственных предприятий используется напряжение в диапазоне от шести до 220 кВ. При очень больших производственных мощностях СЭС может работать при напряжении от 330 до 500 кВ.

В большинстве предприятий со средним уровнем энергопотребления величина питающего напряжения составляет 35 кВ. Если производственное предприятие относится к категории крупных, то 35 кВ недостаточно для бесперебойной работы. Несмотря на ряд преимуществ, которые имеют место при величине питающего напряжения 20 кВ, оно также неприменимо в условиях крупных производственных предприятий [8].

В условиях крупных и средних производственных предприятий целесообразно вторые и последующие ступени электроснабжения проектировать под напряжение 10 (6) кВ. Первые ступени на крупных предприятиях также могут работать от напряжения 10 (6) кВ при условии наличия токопроводов.

Для исследуемого объекта выбираемый класс напряжения – 0,4 кВ.

Основными руководящими документами при разработке систем электроснабжения являются: ПУЭ, ГОСТ, ТУ, стандарты и т.д.

В настоящее время особую актуальность на промышленных предприятиях приобрел вопрос обеспечения высокой степени рациональности использования энергетических ресурсов на всех стадиях, от проектирования систем электроснабжения до их эксплуатации. Вопрос энергосбережения является очень важным, так как в настоящее время не существует

альтернативных источников энергии, которые могли бы широко применяться во всех производственных отраслях.

В сфере энергосбережения действует Федеральный закон № 261-ФЗ, который отражает стратегию формирования высокоэффективной и энергосберегающей системы электроснабжения [9].

Таким образом, законодательство в сфере электроэнергетики обязывает предприятия эффективно регулировать такие вопросы, как добыча, преобразование, передача и предоставление конечному пользователю электрической энергии [10].

### Выводы

Первый раздел выпускной квалификационной работы посвящен анализу объекта электроснабжения и исследованию нормативных требований. В качестве объекта дипломного проектирования было выбрано вспомогательное производство машиностроительного завода, для которого необходимо спроектировать систему электроснабжения. Основные потребители на исследуемом объекте – это совокупность электрического оборудования, электроинструмента, а так же система электроосвещения.

## 2 Расчет электрической нагрузки и освещения

Основные потребители на исследуемом объекте – это совокупность электрического оборудования, электроинструмента, а так же система электроосвещения.

Необходимо осуществить расчет системы освещения рассматриваемого объекта.

Формула для расчета коэффициента естественной освещенности (КЕО) при боковом освещении имеет следующий вид [11]:

$$E_{БР} = (E_{Б} \cdot q + E_{зд} \cdot R) \cdot r \cdot \tau_0 / K_3, \quad (1)$$

где  $q$  – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения света от естественных источников освещения, 0,52;

$R$  – коэффициент, учитывающий относительный уровень яркости сооружений, расположенных в непосредственной близости, 0,18;

$\tau_0$  – коэффициент, учитывающий степень светопропускания;

$r$  – коэффициент, учитывающий рост значения КЕО при отражении света от поверхностей пола и стен помещения, 5,7;

$K_3$  – коэффициент, учитывающий необходимый запас освещенности помещения, 1,2.

Формула для расчета КЕО при боковом освещении для расчетной точки имеет следующий вид [14]:

$$K_{EO} = 0,01 \cdot (n_1 \cdot n_2), \quad (2)$$

где  $n_1$  – табличная величина, соответствующая общему количеству лучей, которые приходят в расчетную точку через окна помещения;

$n_2$  – табличная величина, соответствующая общему количеству лучей, которые приходят в расчетную точку на плане помещения ( $n_1, n_2 = 13$ ).

Тогда:

$$K_{EO} = 0,01 \cdot (13 \cdot 13) = 1,69.$$

Формула для расчета величины КЕО, соответствующего расчетной точке при боковом освещении, которая учитывает степень отражения соседних помещений, имеет вид [12]:

$$K_{EO} = 0,01 \cdot (n_3 \cdot n_4), \quad (3)$$

где  $n_3, n_4$  – лучи, отраженные в расчетную точку от соседних помещений.

Количество лучей – четыре. Тогда:

$$K_{EO} = 0,01 \cdot (4 \cdot 4) = 0,16.$$

Формула для расчета коэффициента светопропускания имеет следующий вид [13]:

$$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \cdot \tau_5. \quad (4)$$

где  $\tau_1$  – коэффициент степени светопропускания материала (0,8);

$\tau_2$  – коэффициент, учитывающий степень непрозрачности оконных проемов (0,7);

$\tau_3$  – коэффициент, учитывающий рассеивание света при прохождении через оконные проемы (1);

$\tau_4$  – коэффициент, учитывающий рассеивание света при прохождении через солнцезащитные устройства (1);

$\tau_5$  – коэффициент, учитывающий рассеивание света при прохождении через защитные стекла устройств освещения (0,9).

Произведем расчет  $E_{БР}$ :

$$E_{БР} = (1,69 \cdot 0,52 + 0,16 \cdot 0,18) \cdot 5,7 \cdot 0,504 / 1,2 = 2,15\%.$$

Формула для расчета требуемого количества источников света имеет вид:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot k_3}{\eta \cdot \Gamma \cdot \Phi_{л}}, \quad (5)$$

где  $\Phi_{л}$  – световой поток лампы (применяются люминесцентные лампы), лм;

$E$  – нормируемая минимальная освещённость (в соответствии с СП 52.13330.2011, для отделения ремонта двигателей, моторов, насосов и другого электрического, гидравлического, пневматического оборудования принимаем 400 лк;

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

$k_3$  – коэффициент запаса;

$N$  – количество светильников, шт.;

$\eta$  – коэффициент использования светового потока, доли единицы.

К применению планируются лампы, характеризующиеся световым потоком 24000 лм и мощностью 14 Вт.

Получим для первого станочного отделения:

$$N = \frac{400 \cdot 448 \cdot 1,5}{0,57 \cdot 1 \cdot 24000} = 19,6.$$

Принимаем 20 ламп.

Определяем расчетные активные и реактивные нагрузки:

$$P_{осв} = N \cdot n \cdot P_{л}, \quad (6)$$

$$Q_{осв} = P_{осв} \cdot tg\varphi. \quad (7)$$

Получим:

$$P_{\text{осв}} = 20 \cdot 1 \cdot 14 = 280 \text{ Вт},$$
$$Q_{\text{осв}} = 280 \cdot 0,62 = 173,6 \text{ вар.}$$

Для второго станочного отделения получим:

$$N = \frac{400 \cdot 562 \cdot 1,5}{0,57 \cdot 1 \cdot 24000} = 24,5.$$

Принимаем 25 ламп.

$$P_{\text{осв}} = 25 \cdot 1 \cdot 14 = 350 \text{ Вт},$$
$$Q_{\text{осв}} = 350 \cdot 0,62 = 217 \text{ вар.}$$

Для сварочного отделения имеем:

$$N = \frac{400 \cdot 100 \cdot 1,5}{0,57 \cdot 1 \cdot 24000} = 4,3.$$

Принимаем пять ламп.

$$P_{\text{осв}} = 5 \cdot 1 \cdot 14 = 70 \text{ Вт},$$
$$Q_{\text{осв}} = 70 \cdot 0,62 = 43,4 \text{ вар.}$$

Для вентиляционной имеем:

$$N = \frac{400 \cdot 38 \cdot 1,5}{0,57 \cdot 1 \cdot 24000} = 1,66.$$

Принимаем две лампы.

$$P_{\text{осв}} = 2 \cdot 1 \cdot 14 = 28 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{осв}} = 28 \cdot 0,62 = 17,3 \text{ вар.}$$

Для административного помещения:

$$N = \frac{400 \cdot 86 \cdot 1,5}{0,57 \cdot 1 \cdot 24000} = 3,77.$$

Принимаем четыре лампы.

$$P_{\text{осв}} = 4 \cdot 1 \cdot 14 = 56 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{осв}} = 56 \cdot 0,62 = 34,7 \text{ вар.}$$

Для склада инструментов имеем:

$$N = \frac{400 \cdot 34 \cdot 1,5}{0,57 \cdot 1 \cdot 24000} = 1,49.$$

Принимаем две лампы.

$$P_{\text{осв}} = 2 \cdot 1 \cdot 14 = 28 \text{ Вт},$$

$$Q_{\text{осв}} = 28 \cdot 0,62 = 17,3 \text{ вар.}$$

Рассчитанные данные заносим в таблицу 1.

Светоотдача различных типов ламп представлена в таблице 2.

Таблица 1 – Результаты расчета системы освещения

Наименование помещения	Площадь, м <sup>2</sup>	Подвес, м	Световой поток, лм	Кол-во, шт	Мощность, Вт	Расчетная активная нагрузка, Вт	Расчетная реактивная нагрузка, вар
Первое цеховое помещение	448	3,7	24000	20	14	280	173,6
Второе цеховое помещение	562	3,7	24000	25	14	350	217
Сварочное отделение	100	3,7	24000	5	14	70	43,4
Вентиляционная	38	3,7	24000	2	14	28	17,3
Первая бытовка	38	3,7	24000	2	14	28	17,3
Вторая бытовка	38	3,7	24000	2	14	28	17,3
Администр. помещение	86	3,7	24000	4	14	56	34,7
Склад инструмент.	34	3,7	24000	2	14	28	17,3
Итого по цеху	1344					868	537,9

Таблица 2 – Светоотдача различных типов ламп

Тип лампы	Светоотдача, лм/Вт
Криптоновая	8-19
Галогенная	14-30
Люминесцентная	40-60
Светодиодная	80-100
Натриевая	100-150

Для исследуемых помещения будут применяться светодиодные светильники, так как они при значительных показателях светоотдачи характеризуются низким потреблением электроэнергии [14].

В работе предполагается использовать метод ( $P_M$ ,  $Q_M$ ,  $S_M$ ) расчетных нагрузок [16]:



$$P_M = K_M \times P_{CM}, \quad (8)$$

$$Q_M = K_M \times Q_{CM}, \quad (9)$$

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2}, \quad (10)$$

где  $P_M$  – активная нагрузка, кВт;

$Q_M$  – реактивная нагрузка, квар;

$S_M$  – полная нагрузка, кВт×А;

$P_{CM}$  – средняя активная мощность за наиболее нагруженную смену;

$Q_{CM}$  – средняя реактивная мощность за наиболее нагруженную смену.

$$P_{CM} = K_{И} \times P_{Н}, \quad (11)$$

$$Q_{CM} = P_{CM} \times tg\varphi, \quad (12)$$

где  $K_{И}$  – коэффициент использования электроприемников,

определяется на основании опыта эксплуатации по таблице один;

$P_{Н}$  – номинальная активная групповая мощность, кВт;

$K_M = F(K_{И} \times n_{\text{э}})$  может быть вычислен по формуле:

$$K_M = 1 + \frac{1,5}{\sqrt{n_{\text{э}}}} \times \sqrt{\frac{1 - K_{И.ср}}{K_{И.ср}}}, \quad (13)$$

где  $n_{\text{э}}$  – эффективное число электроприемников;

$K_{И.ср}$  – средний коэффициент использования группы

электроприемников:

$$K_{И.ср} = \frac{P_{CM,\Sigma}}{P_{Н,\Sigma}}, \quad (14)$$

где  $P_{CM,\Sigma}$ ,  $P_{Н,\Sigma}$  – суммы активных мощностей за смену и номинальных в группе электроприемников, кВт;

$n_{\text{э}} = F(n, m, K_{И.ср}, P_{Н})$  может быть определено по упрощенным вариантам, отраженным в таблице два;

$m$  – показатель силовой сборки в группе:

$$m = \frac{P_{н.нб}}{P_{н.нм}}, \quad (15)$$

где  $P_{н.нб}$ ,  $P_{н.нм}$  – номинальные приведенные к длительному режиму активные мощности приемников наибольшего и наименьшего в группе, кВт.

Рекомендуемые значения коэффициентов электроприемников приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Рекомендуемые значения коэффициентов электроприемников

Группы электроприемников	Установка	$\kappa_u$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$\kappa_c$
Электродвигатели, работающие с полной нагрузкой	Вентиляторы, насосы, компрессоры, двигатель-генератор	0,65	0,8	0,75	0,75-0,8
Электродвигатели металлообрабатывающих станков	Станки универсального назначения	0,12-0,14	0,4-0,6	–	0,14-0,16
	Специализированные станки, станки-автоматы, агрегатные	0,22-0,2	0,65	1,17	
Электродвигатели механизмов непрерывного транспорта	Транспортеры, конвейеры	0,6	0,75	0,88	0,55
Электродвигатели повторно кратковременного режима работы	Краны, кран-балки, тельферы и	0,15-0,35	0,45	1,98	0,2-0,5

Упрощенные варианты определения  $n_{\Sigma}$  приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Упрощенные варианты определения  $n_{\Sigma}$

$n$	$K_{и.с}$ $p$	$m$	$P_H$	Формула для $n_{\Sigma}$
$<5$	$\geq 0,2$	$\geq 3$	Переменная	$n_{\Sigma} = \frac{\left( \sum_{1}^n P_H \right)^2}{\sum_{1}^n P_H^2}$
$\geq 5$	$\geq 0,2$	$\geq 3$	Постоянная	$n_{\Sigma} = n$
$\geq 5$	$\geq 0,2$	$< 3$	Переменная	$n_{\Sigma} = n$
$\geq 5$	$< 0,2$	$< 3$		$n_{\Sigma}$ не определяется, а $P_M = K_3 \cdot P_{H\Sigma}$
$\geq 5$	$\geq 0,2$	$\geq 3$		$n_{\Sigma} = \frac{2 \times \sum_{1}^n P_H}{P_{H.НБ}}$
$\geq 5$	$< 0,2$	$\geq 3$		Применяются относительные единицы $n_{\Sigma} = n^*_{\Sigma} \times n$ ; $n^*_{\Sigma} = F(n^*, P^*)$
$>300$	$\geq 0,2$	$\geq 3$	–	$n_{\Sigma} = n$

В соответствии с практикой проектирования принимается  $K'_M=1,1$  при  $n_{\Sigma} \leq 10$ ;  $K'_M=1$ .

Расчет электрических нагрузок цеха представлен в таблице 5.

Схема включения однофазных нагрузок цеха дана на рисунке 2.

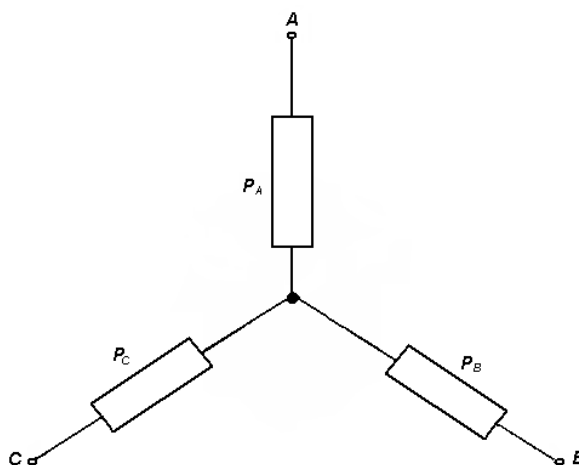


Рисунок 2 – Схема включения однофазных нагрузок [15]

Таблица 5 – Расчет электрических нагрузок

Наименование РУ и электроприемнико в	Нагрузка установленная							Сменная нагрузка			$n_{\Sigma}$	$K_M$	$K_M'$	Максимальная нагрузка			
	$P_n$ , кВт	$\eta$	$P_n \Sigma$ , кВт	$K_N$	$\cos \varphi$	$tg \varphi$	$m$	$P_{с.м.}$ , кВт	$Q_{с.м.}$ , квар	$S_{с.м.}$ , кВ·А				$P_M$ , кВт	$Q_M$ , квар	$S_M$ , кВ·А	$I_M$ , А
РП 1																	
Вентиляторы	48	2	96	0,65	0,8	0,75		62,4	46,8	–	–	–	–	–	–	–	
Всего по РП 1		2	96	0,65	–	–		62,4	46,8	78	–	–	–	62,4	46,8	78	118,7
РП2																	
Сварочные агрегаты ПВ-40	10/6,3	3	18,9	0,3	0,65	1,17		5,67	6,63	–	–	–	–	–	–	–	
Всего по РП 2	–	3	18,9	0,3	–	–		5,67	6,63	8,7	–	–	–	5,67	6,63	8,7	13,2
ШРА 1																	
Токарные автоматы	12	3	36	0,25	0,65	1,17		9	10,53	–	–	–	–	–	–	–	
Зубофрезерные станки	15	3	45	0,23	0,65	1,17		10,35	12,1	–	–	–	–	–	–	–	
Круглошлифовальные станки	4	3	12	0,25	0,65	1,17		3	3,51	–	–	–	–	–	–	–	
Всего по ШРА 1	–	9	93	0,24	–	–	> 3	22,35	26,14	34,4	1,24	1,58	1,0	39,29	26,14	47,19	71,7
ШРА 2																	
Заточные станки 1ф	3	3	18,6	0,17	0,45	1,98		3,16	6,3	–	–	–	–	–	–	–	
Сверлильные станки 1ф	3,2	2	6,4	–	–	–		–	–	–	–	–	–	–	–	–	
Токарные станки	9	6	54	0,22	0,65	1,17		11,88	13,9	–	–	–	–	–	–	–	
Кран мостовой	25/19,4	1	19,4	0,35	0,45	1,98		6,79	13,4	–	–	–	–	–	–	–	
Всего по ШРА 3	–	11	129,4	0,201	–	–	< 3	26,12	43,03	50,3	1,1	1,9	1	49,63	43,03	65,8	99,9
Освещение																	
$P_{лл}$	4,3		4,3	0,85	0,95	0,33		3,66	1,2	–	–	–	–	–	–	–	
$P_{лн}$	13,3		13,3	0,85	1	0		11,3	0	–	–	–	–	–	–	–	
Итого по ОУ	–	–	17,6	0,85	–	–		14,96	1,2	15	–	–	–	14,96	1,2	15	22,7
Итого	–	–	–	–	0,805	0,7355	–	–	–	–	–	–	–	220,8	228,6	319,35	491,3

Расчет токов короткого замыкания производится с помощью следующих формул:

– значение трехфазного тока короткого замыкания, кА [17]:

$$I_K^{(3)} = \frac{U^2}{\sqrt{3} \cdot Z_K}, \quad (16)$$

где  $U^2$  – величина линейного напряжения в точке КЗ, кВ;

$Z_K$  – величина полного сопротивления до точки КЗ, Ом;

– величина двухфазного тока КЗ, кА:

$$I_K^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_K^{(3)} = 0,87 \cdot I_K^{(3)}.$$

– величина однофазного тока КЗ, кА:

$$I_K^{(1)} = \frac{U_{\text{кф}}}{Z_{\text{п}} + \frac{Z_{\text{т}}^{(1)}}{3}}, \quad (17)$$

где  $U_{\text{кф}}$  – величина фазного напряжения в точке КЗ, кВ;

$Z_{\text{п}}$  – величина полного сопротивления петли «фаза-ноль» до точки КЗ, Ом;

$Z_{\text{т}}^{(1)}$  – величина полного сопротивления трансформатора однофазному КЗ, Ом;

– значение ударного тока КЗ, кА:

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot K_{\text{уд}} \cdot I_K^{(3)}, \quad (18)$$

где  $K_{\text{уд}}$  – значение ударного коэффициента, которое определяется по графику на рисунке 3:

$$K_{уд} = F \cdot \left(\frac{R_K}{X_K}\right). \quad (19)$$

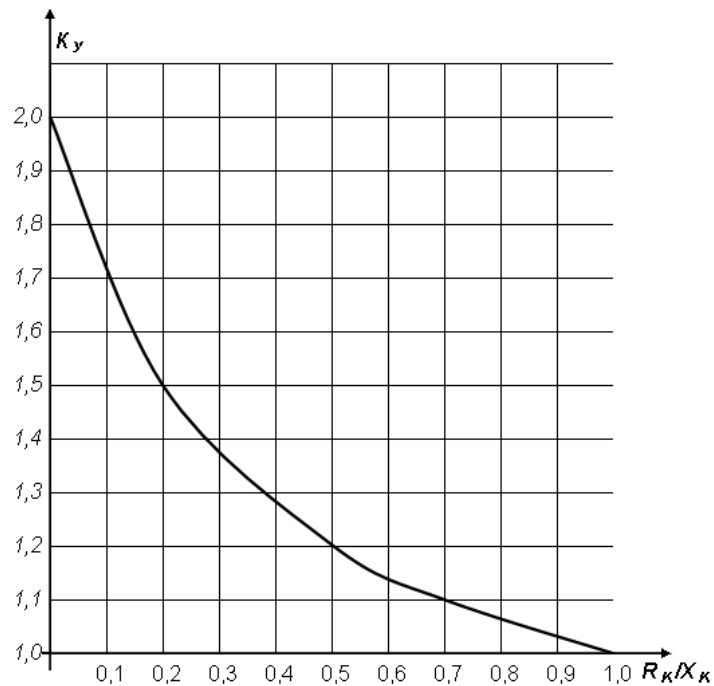


Рисунок 3 – Зависимость  $K_{уд} = F \cdot \left(\frac{R_K}{X_K}\right)$

– действующее значение ударного тока короткого замыкания, кА:

$$I_{уд} = q \cdot I_K^{(3)}, \quad (20)$$

где  $q$  – коэффициент действующего значения ударного тока, равный

$$q = \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2}. \quad (21)$$

Сопротивление схем замещения определяются либо по таблицам, либо расчетным путем.

– для силовых трансформаторов [18]:

$$R_T = \Delta P_K \cdot \left(\frac{U_{HH}}{S_T}\right)^2 \cdot 10^6; \quad (22)$$

$$Z_T = u_k \cdot \frac{U_{\text{НН}}^2}{S_T} \cdot 10^4, \quad (23)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 + R_T^2}, \quad (24)$$

где  $\Delta P_k$  – потери мощности короткого замыкания, кВт;

$U_{\text{НН}}$  – линейное напряжение обмотки НН, кВ;

$S_T$  – полная мощность трансформатора, кВ·А.

– для линий ЭСН кабельных, воздушных и шинопроводов  
из соотношений [19]:

$$R_L = r_0 \cdot L_L, X_L = x_0 \cdot L_L, \quad (25)$$

где  $r_0$  и  $x_0$  – удельные активное и индуктивное сопротивления, мОм/м;

$L_L$  – протяженность линии, м.

При отсутствии данных  $r_0$  можно определить расчетным путем:

$$r_0 = \frac{10}{\gamma \cdot S}, \quad (26)$$

где  $S$  – сечение проводника мм<sup>2</sup>;

$\gamma$  – удельная проводимость материала, м/(Ом·мм<sup>2</sup>).

Принимается  $\gamma = 29$  м/(Ом·мм<sup>2</sup>) – для алюминия,

$\gamma = 50$  м/(Ом·мм<sup>2</sup>) – для меди,

$\gamma = 10$  м/(Ом·мм<sup>2</sup>) – для стали.

При отсутствии данных  $x_0$  можно принять равным:

$x_{0\text{ВЛ}} = 0,4$  мОм/м – для воздушных линий,

$x_{0\text{КЛ}} = 0,06$  мОм/м – для кабельных линий,

$x_{0\text{ПР}} = 0,09$  мОм/м – для проводов,

$x_{0\text{Ш}} = 0,15$  мОм/м – для шинопроводов.

В процессе расчета величины токов КЗ значение индуктивных сопротивлений принимается:

$x_{0_{\text{КЛ}}} = 0,15 \text{ мОм/м}$  – для кабельных линий до 1 кВ и проводов в трубах,

$x_{0_{\text{ВЛ}}} = 0,6 \text{ мОм/м}$  – для воздушных линий до 1 кВ,

$x_{0_{\text{П}}} = 0,4 \text{ мОм/м}$  – для изолированных открыто проложенных проводов,

$x_{0_{\text{Ш}}} = 0,2 \text{ мОм/м}$  – для шинопроводов.

Сопротивления элементов на стороне ВН приводятся к стороне НН по формулам:

$$R_{\text{НН}} = R_{\text{ВН}} \cdot \left(\frac{U_{\text{НН}}}{U_{\text{ВН}}}\right)^2, \quad X_{\text{НН}} = X_{\text{ВН}} \cdot \left(\frac{U_{\text{НН}}}{U_{\text{ВН}}}\right)^2, \quad (27)$$

где  $R_{\text{НН}}$  и  $X_{\text{НН}}$  – сопротивления, приведенные к НН, мОм;

$R_{\text{ВН}}$  и  $X_{\text{ВН}}$  – сопротивления, на ВН, мОм;

$U_{\text{ВН}}$  и  $U_{\text{НН}}$  – напряжения высокое и низкое, кВ.

Получаем характерную линию ЭСН (рисунок 4).

Рассчитываем:

$$R_c = \left[ r_o \cdot e \cdot \frac{6.3^2}{37^2} + 1.24 \cdot 0.9 \right] \cdot \frac{0.4^2}{6.3^2}; \quad (28)$$



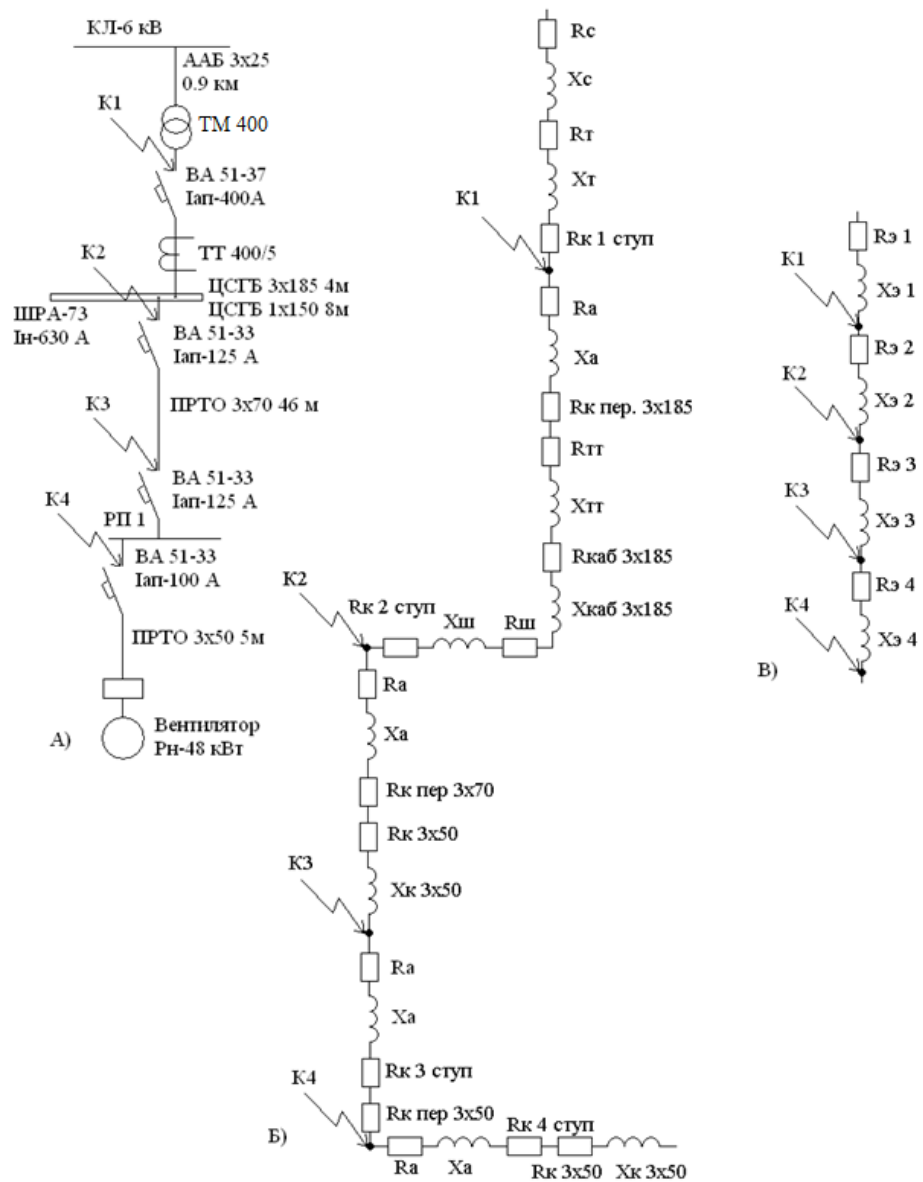


Рисунок 4 – Схема электроснабжения: А) схема расчетная; Б) схема замещения; В) схема замещения упрощенная

$$R_c = \left[ 0,92 \cdot 14 \cdot \frac{6,3^2}{37^2} + 1,24 \cdot 0,9 \right] \cdot \frac{0,4^2}{6,3^2} = 0,006 \text{ ом} = 6 \text{ мОм};$$

$$X_c = X_{\text{рез.к1}} \cdot \frac{0,4^2}{6,3^2};$$

$$X_c = 1,185 \cdot \frac{0,4^2}{6,3^2} = 0,00749 \text{ ом} = 7,49 \text{ мОм};$$

$$R_T = 9,4 \text{ мОм};$$

$$X_T = 27,2 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{к.1 ступ}} = 15 \text{ мОм};$$

$$R_a = 0,15 \text{ мОм};$$

$$\begin{aligned}
X_a &= 0,17 \text{ мОм}; \\
R_{\text{к.пер.3x185}} &= 0,021 \cdot 4 = 0,84 \text{ мОм}; \\
R_{\text{т.т.}} &= 0,11 \text{ мОм}; \\
X_{\text{т.т.}} &= 0,17 \text{ мОм}; \\
R_{\text{каб}} &= 0,1 \cdot 4 = 0,4 \text{ мОм}; \\
X_{\text{каб}} &= 0,0596 \cdot 4 = 0,2384 \text{ мОм}; \\
R_{\text{ш}} &= 0,1 \cdot 1,6 = 0,16 \text{ мОм}; \\
X_{\text{ш}} &= 0,13 \cdot 1,6 = 0,208 \text{ мОм}; \\
R_{\text{к.2 ступ.}} &= 20 \text{ мОм}; \\
R_a &= 0,7 \text{ мОм}; \\
X_a &= 0,7 \text{ мОм}; \\
R_{\text{к.пер.3x50}} &= 0,043 \cdot 46 = 1,978 \text{ мОм}; \\
R_{\text{п.3x50 } \emptyset 50} &= 0,37 \cdot 46 = 17,02 \text{ мОм}; \\
X_{\text{п.3x50 } \emptyset 50} &= 0,085 \cdot 46 = 3,91 \text{ мОм}; \\
R_a &= 0,7 \text{ мОм}; \\
X_a &= 0,7 \text{ мОм}; \\
R_{\text{к.3 ступ.}} &= 25 \text{ мОм}; \\
R_{\text{к.пер.3x35}} &= 0,056 \cdot 5 = 0,28 \text{ мОм}; \\
R_a &= 1,3 \text{ мОм}; \\
R_{\text{к.4 ступ.}} &= 30 \text{ мОм}; \\
R_{\text{п.3x35 } \emptyset 50} &= 0,53 \cdot 5 = 2,65 \text{ мОм}; \\
X_{\text{п.пер 3x35 } \emptyset 50} &= 0,088 \cdot 5 = 0,44 \text{ мОм}.
\end{aligned}$$

Далее необходимо упростить схему замещения, вычислить эквивалентные сопротивления между точками КЗ.

$$\begin{aligned}
R_{\text{э1}} &= R_c + R_t + R_{\text{тк.1 ступ.}} = 6 + 9,4 + 15 = 30,4 \text{ мОм}; \\
X_{\text{э1}} &= X_c + X_t = 7,49 + 27,2 = 34,69 \text{ мОм};
\end{aligned}$$

$$R_{\text{э2}} = R_a + R_{\text{к.пер.185}} + R_{\text{т.т.}} + R_{\text{каб } 3 \times 185} + R_{\text{ш}} + R_{\text{к.2 ступ.}} = 0,15 + 0,84 + \\ + 0,11 + 0,4 + 0,16 + 20 = 21,66 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{э2}} = X_a + X_{\text{т.т.}} + X_{\text{каб.3} \times 185} + X_{\text{ш}} = 0,17 + 0,17 + 0,2384 + 0,16 = \\ = 0,738 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{э3}} = R_a + R_{\text{к.пер.3} \times 50} + R_{\text{п.3} \times 50} = 0,7 + 1,978 + 17,02 = 19,698 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{э3}} = X_a + X_{\text{п.3} \times 50} = 0,7 + 3,91 = 4,61 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{э4}} = R_a + R_{\text{к.3 ступ.}} + R_{\text{к.пер.3} \times 35} + R_a + R_{\text{к.4 ступ.}} + R_{\text{п.3} \times 35} = 0,7 + 25 + 0,28 + \\ + 1,3 + 30 + 2,65 = 59,93 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{э4}} = X_a + X_a + X_{\text{п.3} \times 35} = 0,7 + 1,2 + 0,44 = 2,34 \text{ мОм}.$$

Вычислим сопротивления до каждой точки КЗ и заносим в сводную ведомость.

$$R_{\text{к1}} = R_{\text{э1}} = 30,4 \text{ мОм}; \quad X_{\text{к1}} = X_{\text{э1}} = 34,69 \text{ мОм};$$

$$Z_{\text{к1}} = \sqrt{R_{\text{к1}}^2 \cdot X_{\text{к1}}^2} = \sqrt{30,4^2 \cdot 34,69^2} = 46,1 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{к2}} = R_{\text{к1}} + R_{\text{э2}} = 30,4 + 21,66 = 52,06 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{к2}} = X_{\text{к1}} + X_{\text{э2}} = 34,69 + 0,5 = 35,19 \text{ мОм};$$

$$Z_{\text{к2}} = \sqrt{R_{\text{к2}}^2 \cdot X_{\text{к2}}^2} = \sqrt{52,06^2 \cdot 35,19^2} = 62,8 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{к3}} = R_{\text{к2}} + R_{\text{э3}} = 52,06 + 19,698 = 71,8 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{к3}} = X_{\text{к2}} + X_{\text{э3}} = 35,19 + 4,61 = 39,8 \text{ мОм};$$

$$Z_{\text{к3}} = \sqrt{R_{\text{к3}}^2 \cdot X_{\text{к3}}^2} = \sqrt{71,8^2 \cdot 39,8^2} = 82,1 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{к4}} = R_{\text{к3}} + R_{\text{э4}} = 71,8 + 59,93 = 131,7 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{к4}} = X_{\text{к3}} + X_{\text{э4}} = 39,8 + 2,34 = 42,1.$$

$$Z_{\text{к4}} = \sqrt{R_{\text{к4}}^2 \cdot X_{\text{к4}}^2} = \sqrt{131,7^2 \cdot 42,1^2} = 138,3 \text{ мОм};$$

$$\frac{R_{\text{к1}}}{X_{\text{к1}}} = \frac{30,4}{34,69} = 0,876;$$

$$\frac{R_{\text{к3}}}{X_{\text{к3}}} = \frac{71,8}{39,8} = 1,8;$$

$$\frac{R_{\text{к2}}}{X_{\text{к2}}} = \frac{52,06}{35,19} = 1,749;$$

$$\frac{R_{K4}}{X_{K4}} = \frac{131,7}{42,1} = 3,13.$$

Определяем коэффициенты  $K_y$  и  $q$ :

$$K_{y1} = F\left(\frac{R_{K1}}{X_{K1}}\right) = F(0,876) = 1,04; K_{y3} = F\left(\frac{R_{K3}}{X_{K3}}\right) = F(1,8) = 1,0;$$

$$K_{y2} = F\left(\frac{R_{K2}}{X_{K2}}\right) = F(1,479) = 1,0; K_{y4} = F\left(\frac{R_{K4}}{X_{K4}}\right) = F(3,13) = 1,0;$$

$$q_1 = \sqrt{1 + 2(K_{y1} - 1)^2} = \sqrt{1 + 2(1,04 - 1)^2} = 1,32;$$

$$q_2 = \sqrt{1 + 2(K_{y2} - 1)^2} = \sqrt{1 + 2(1,0 - 1)^2} = 1;$$

$$q_2 = q_3 = q_4 = 1.$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_{K1}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{400}{1,73 \cdot 46,1 \cdot 10^{-3}} = 5015 \text{ A} = 5,015 \text{ кА};$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{U_{K2}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}} = \frac{380}{1,73 \cdot 62,8 \cdot 10^{-3}} = 3498 \text{ A} = 3,498 \text{ кА};$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{U_{K3}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}} = \frac{380}{1,73 \cdot 82,1 \cdot 10^{-3}} = 2675 \text{ A} = 2,675 \text{ кА};$$

$$I_{K4}^{(3)} = \frac{U_{K4}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K4}} = \frac{380}{1,73 \cdot 138,3 \cdot 10^{-3}} = 1588 \text{ A} = 1,588 \text{ кА};$$

$$I_{yK1} = q_1 I_{K1}^{(3)} = 1,32 \cdot 5,015 = 6,62 \text{ кА};$$

$$I_{yK2} = q_2 I_{K2}^{(3)} = 1 \cdot 3,498 = 3,498 \text{ кА};$$

$$I_{yK3} = q_3 I_{K3}^{(3)} = 1 \cdot 2,675 = 2,675 \text{ кА};$$

$$I_{yK4} = q_4 I_{K4}^{(3)} = 1 \cdot 1,588 = 1,588 \text{ кА};$$

$$i_{yK1} = \sqrt{2} \cdot K_{y1} \cdot I_{K1}^{(3)} = 1,41 \cdot 1,04 \cdot 5,015 = 7,35 \text{ кА};$$

$$i_{yK2} = \sqrt{2} \cdot K_{y2} \cdot I_{K2}^{(3)} = 1,41 \cdot 1 \cdot 3,498 = 4,9 \text{ кА};$$

$$i_{yK3} = \sqrt{2} \cdot K_{y3} \cdot I_{K3}^{(3)} = 1,41 \cdot 1 \cdot 2,675 = 3,77 \text{ кА};$$

$$i_{yK4} = \sqrt{2} \cdot K_{y4} \cdot I_{K4}^{(3)} = 1,41 \cdot 1 \cdot 1,588 = 2,24 \text{ кА};$$

$$I_{K1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K1}^{(3)} = 0,87 \cdot 5,015 = 4,36 \text{ кА};$$

$$I_{K2}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{K2}^{(3)} = 0,87 \cdot 3,498 = 3,04 \text{ кА};$$

$$I_{к3}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к3}^{(3)} = 0,87 \cdot 2,675 = 2,33 \text{ кА};$$

$$I_{к4}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{к4}^{(3)} = 0,87 \cdot 1,588 = 1,38 \text{ кА}.$$

Сводная ведомость токов КЗ приведена в таблице 6.

Таблица 6 – Сводная ведомость токов КЗ

Точка КЗ	$R_{к'}$ , МОм	$X_{к'}$ , МОм	$Z_{к'}$ , МОм	$R_{к'}/X_{к'}$	$K_y$	$q$	$I_{к'}^{(3)}$ , кА	$i_{ук}$ , кА	$I_{ук}$ , кА	$I_{к'}^{(2)}$ , кА	$Z_{п'}$ , МОм	$I_{к'}^{(1)}$ , кА
К1	30,4	34,69	46,1	0,876	1,04	1,32	5,015	7,35	6,62	4,36	119	1,93
К2	52,06	35,19	62,8	1,479	1,0	1	3,498	4,9	3,498	3,04	174,5	1,26
К3	71,8	39,8	82,1	1,8	1,0	1	2,675	3,77	2,675	2,33	412,3	0,533
К4	131,7	42,1	138,3	3,13	1,0	1	1,588	2,24	1,588	1,38	438,4	0,501

### Выводы

Во втором разделе работы произведен расчет электрической нагрузки и освещения исследуемого объекта. Основными потребителями электрической энергии на рассматриваемом объекте являются: производственное оборудование, комплект вспомогательного оборудования, система освещения производственных площадей.

Исходя из расчета электроосвещения определено, что для первого станочного отделения необходимое количество ламп – 20 шт., для второго станочного отделения – 25 шт., для сварочного отделения – пять шт., для вентиляционной – две шт. Максимальная нагрузка объекта составила 220,8 кВт. При этом на освещение идет 14,96 кВт, на электрическую нагрузку по оборудованию – 205,84 кВт. Для исследуемых помещений будут применяться светодиодные светильники, так как они при значительных показателях светоотдачи характеризуются низким потреблением электроэнергии.

### 3 Расчет и выбор устройств компенсации реактивной мощности

Работа промышленного оборудования машиностроительного завода сопровождается потреблением значительной реактивной мощности, при этом возникают значительные реактивные потери электроэнергии в сети. Эти составляющие негативно сказываются на качестве электрической энергии и являются причиной снижения экономической эффективности СЭС. Также реактивной нагрузкой являются проводники и кабельные соединения. Для того, чтобы обеспечить высокую стабильность работы СЭС и высокий уровень качества электрической энергии необходимо предусмотреть наличие в электрической схеме средств компенсации реактивной мощности [21].

Применение устройств компенсации реактивной мощности, основными элементами которых являются конденсаторные батареи, позволяют достичь также следующих положительных результатов:

- высокий уровень экономической эффективности. Устройства компенсации реактивной мощности способны компенсировать действие реактивных нагрузок на электрическую сеть и повысить их надежность, экономическую эффективность и работоспособность в целом, что также приводит к их быстрой окупаемости и целесообразности применения.
- обеспечение большого ресурса работы оборудования. При использовании устройств компенсации реактивной мощности в значительной мере продлевается срок службы трансформаторов и другого силового оборудования вследствие того, что сильно сокращается токовая нагрузка и выравниваются колебания параметров питающего напряжения электрической сети. Также устройства компенсации реактивной мощности снижают величину действующего в цепях тока, что дает возможность применения более тонких и дешевых проводов при прокладке системы электроснабжения.

- обеспечение более низкой стоимости проектирования и организации подводящих систем электроснабжения. При наличии устройств компенсации реактивной мощности в основной системе электроснабжения в случае необходимости проектирования дополнительных локальных сетей электроснабжения эти работы будут значительно дешевле по сравнению со случаем, когда средства компенсации отсутствуют.
- обеспечение более высокого уровня качества электрической энергии. Устройства компенсации реактивной мощности обеспечивают сглаживание и фильтрацию всех помех и пульсаций, а также стабилизируют параметры напряжения сети. Эти факторы положительно сказываются как на работоспособности всей системы электроснабжения, так и на отдельном оборудовании. [22].

Устройства компенсации реактивной мощности (УКРМ) являются обязательным условием современных систем электроснабжения, так как они способны повысить коэффициент мощности сети.

Коэффициент реактивной мощности показывает соотношение между активной и реактивной оставляющей мощности в электрической цепи:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{Q}{P}. \quad (29)$$

В таблице 7 представлены данные о величинах коэффициента мощности.

Таблица 7 – Предельные значения коэффициента реактивной мощности

Положение точки присоединения потребителя к электрической сети	$\operatorname{tg}\varphi$
– напряжением 110 кВ (154 кВ)	0,5
– напряжением 35 кВ (60 кВ)	0,4
– напряжением 0,4 кВ	0,35

Данные, представленные в таблице 7, распространяются на тех потребителей электрической энергии, суммарная мощность электрооборудования которых превышает значение 150 кВт исключением являются гражданские потребители электрической энергии, которые используют ее исключительно в бытовых целях в соответствии со всеми нормами и правилами, установленными нормативно-правовыми документами [23].

Для вышеуказанных категорий потребителей предъявляются более жесткие требования относительно величины  $tg\phi$  по сравнению с данными, указанными в таблице 7. При этом величина  $tg\phi$  не изменяется в течение всех 24 часов.

С целью знакомства с принципом определения необходимых параметров устройств компенсации реактивной мощности рассмотрим пример.

При штатном функционировании трансформаторной подстанции секционный автоматический выключатель находится в разомкнутом состоянии. Каждая из секций будет рассматриваться независимо друг от друга.

Принципиальная электрическая схема трансформаторной подстанции с установленными устройствами компенсации реактивной мощности приведена на рисунке 5.



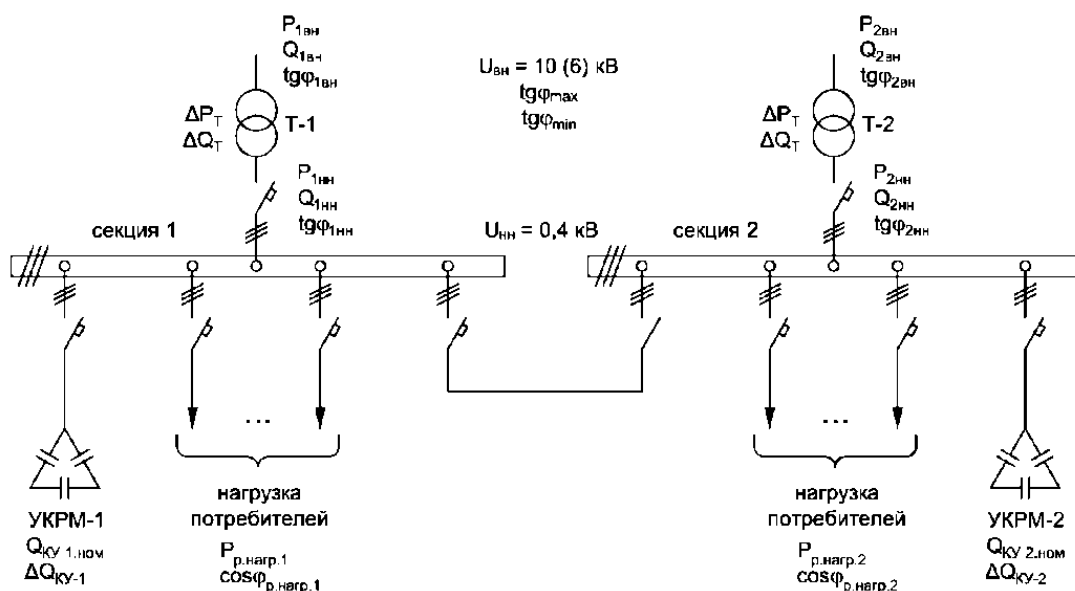


Рисунок 5 – Принципиальная электрическая схема трансформаторной подстанции с КРМ

Такой режим работы, как и режим недокомпенсации, является нежелательным, так как при таких режимах имеют место дополнительные потери мощности в системе электроснабжения. Дополнительные потери приводят к значительному росту эксплуатационных издержек.

Во всех случаях необходимо определить как максимально допустимое, так и минимально допустимое значения коэффициента мощности в электрической сети. В случае, если эти параметры не установлены, то их значения могут быть определены в соответствии со следующими условиями [24]:

- при недопустимости наличия в электрической сети реактивной мощности минимальная величина коэффициента мощности должна быть равна нулю;
- при недопустимости превышения уровня потерь электрической мощности в цепи определенного значения величина коэффициента мощности должна соответствовать равенству  $tg\phi_{\min} = -tg\phi_{\max}$ .

Для того, чтобы правильно выбрать УКРМ необходимо обеспечить выполнение следующего условия:

$$tg\varphi_{min} \leq tg\varphi_{ВН} \leq tg\varphi_{max}. \quad (30)$$

Подставив (34) в (35), получим:

$$tg\varphi_{min} = \frac{P_{р.нагр.} \cdot tg\varphi_{р.нагр.} - Q_{КУ.р} + \Delta Q_T}{P_{р.нагр.} + \Delta P_T} \leq tg\varphi_{max} \quad (31)$$

Произведем расчет требуемой реактивной мощности, которую должна генерировать конденсаторная установка КРМ-0,4.

Необходимая мощность конденсаторных батарей из состава конденсаторной установки КРМ-0,4 (УКМ-58) равна:

$$Q_c = P \cdot (tg\varphi_1 - tg\varphi_2), \quad (32)$$

где  $Q_c$  – необходимая величина мощности конденсаторной установки.

После преобразования формула (32) примет следующий вид:

$$Q_c = P \cdot k; \quad (33)$$

где  $k$  – величина коэффициента, который является табличным значением и определяется действующим значением коэффициента мощности.

Необходимый уровень мощности конденсаторной установки составляет:

Активная составляющая: 108,75 кВт;

Действующее значение  $\cos\varphi=0,7$ .

Необходимое значение  $\cos\varphi=0,96$ .

Согласно таблице  $k=0,73$ ;

Таким образом, значение необходимой электрической мощности конденсаторной установки КРМ-0,4 составляет:

$$Q_c = 108,75 \cdot 0,73 = 79,4 \text{ квар.}$$

Компенсировать всю реактивную составляющую мощности не имеет смысла. При  $\cos\varphi=1$  могут иметь место процессы перекомпенсации. Наиболее оптимальными значениями компенсации являются такие, при которых  $\cos\varphi=0,9-0,95$ .

На основе проведенного расчета принимаем решение об установке конденсаторной установки КРМ-0,4. Основное назначение конденсаторной установки реактивной мощности КРМ-0,4-75-7,5 заключается в обеспечении необходимого уровня  $\cos\varphi$  в условиях промышленных предприятий и предназначены для работы в автоматическом режиме.

Основным и центральным узлом конденсаторной установки является контроллер, через который осуществляется управление всеми процессами по компенсации реактивной мощности в системе электроснабжения. При выборе контроллера необходимо подробно изучить все приемлемые варианты для осуществления наиболее подходящего выбора [25].

Современный рынок устройств контроля и управления установками компенсации реактивной мощности представлен большим количеством продукции. Наиболее распространена продукция фирмы «АВВ». В настоящее время продукция этой организации пользуется большим спросом среди производителей устройств компенсации реактивной мощности. Продукция фирмы «АВВ» отличается высокой надежностью, приемлемой ценой и легкостью программирования, настройки и отладки. Таким образом, оптимальным вариантом в рассматриваемом случае будет использование контроллера именно от фирмы «АВВ».

Наиболее подходящей моделью контроллера от фирмы «АВВ» является устройство RVC. Рисунок 6 представляет собой внешний вид применяемого контроллера.

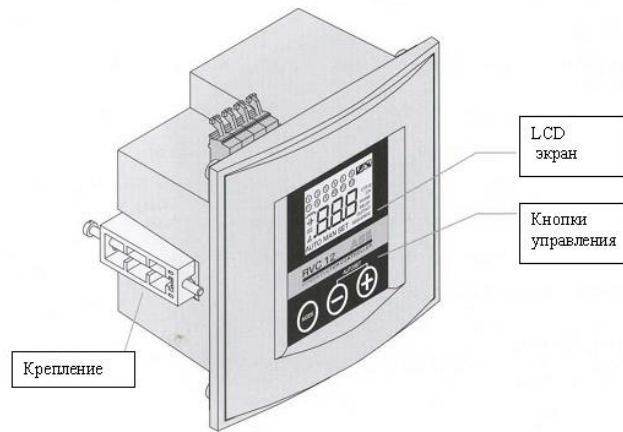


Рисунок 6 – Контроллер *RVC* (вид спереди)

Схема подключения контроллера *RVC* приведена на рисунке 7.

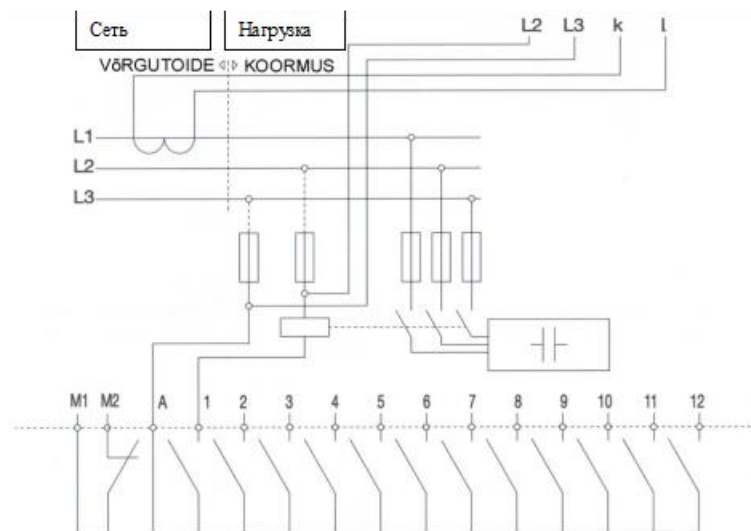


Рисунок 7 – Схема подключения контроллера *RVC*

## Выводы

В данном разделе получены следующие результаты:

- обоснована необходимость установки устройства компенсации реактивной мощности (УКРМ);
- произведен расчет требуемой мощности батареи конденсаторов, которая должна составлять 79,4 квар;
- для переключения конденсаторов УКРМ выбран контроллер типа *RVC*.

#### 4. Разработка схемы электроснабжения

Потребителями электроэнергии исследуемого цеха являются станки и оборудование. По степени бесперебойности исследуемый цех относится к третьей категории [26].

Основной комплекс приемников электрической энергии запитан через распределительные шкафы, к которым подведено 380 В, частота электрического тока составляет 50 Гц.

Разработанная схема электроснабжения цеха вспомогательного производства приведена на рисунке 8.

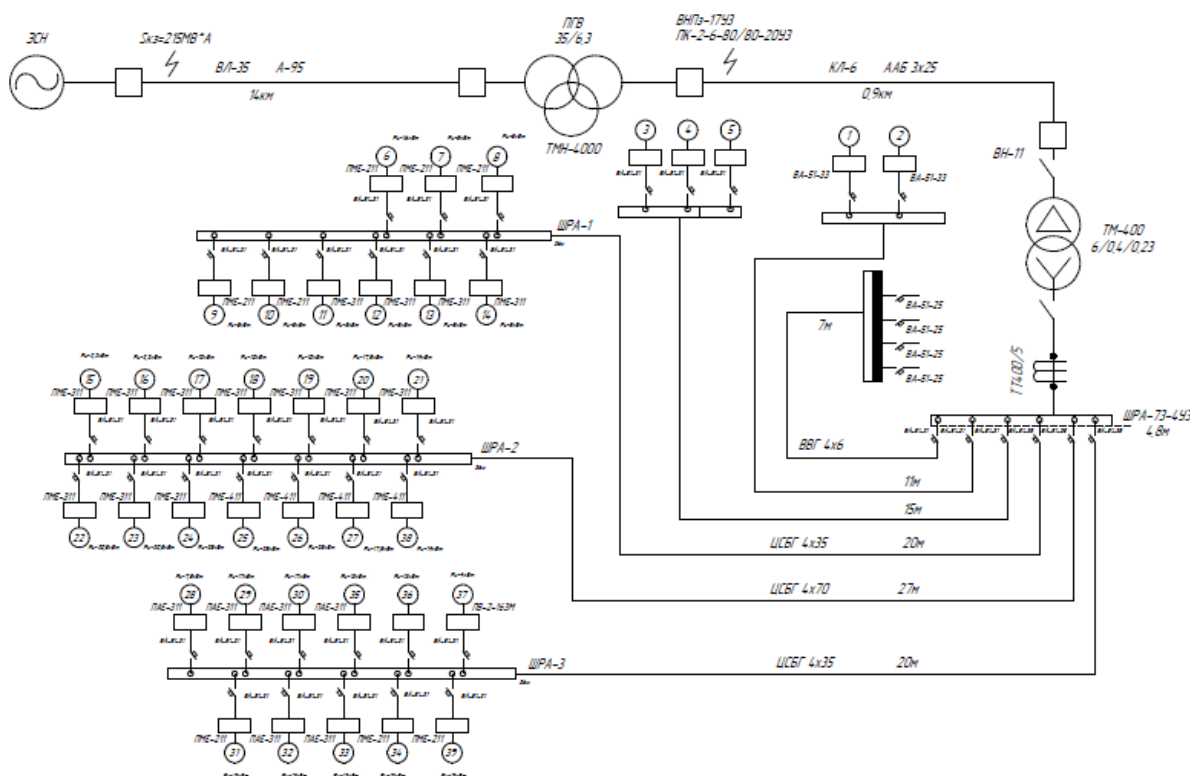


Рисунок 8 – Разработанная схема электроснабжения цеха

Для исследуемого цеха принято следующее техническое решение.

Подстанцию цеха питает кабельная линия, протяженность которой составляет 0,9 км. Напряжение данной линии – 6 кВ.

Для подключения силового оборудования используется напряжение 380/220 В. На территории цеха расположен РУ ШНН на 0,4/0,23 кВ, огороженный сеткой. От РУ ШНН на 0,4/0,23 кВ прокладывается кабель АВВГ с монтажом в трубе. Длина отвода составляет 46 метров

#### Выводы

В данном разделе разработана схема электроснабжения объекта.

Рассматриваемая СЭС цеха проектируется с учетом климатических особенностей района. В исследуемом цехе запроектировано два типа освещения – рабочее и аварийное. Система освещения выполнена на базе светодиодных светильников.

Система управления освещением будет осуществляться выключателями. Также будут применяться автоматические выключатели щитов освещения.

Групповые сети – однофазные трехпроводные. Нулевой рабочий и нулевой защитный проводники подключены под разные контактные зажимы щитка освещения.

## 5. Расчет, выбор и проверка электрооборудования схемы электроснабжения

Сводная ведомость нагрузок для исследуемого объекта приведена в таблице 8.

Таблица 8 – Сводная ведомость нагрузок

Параметр	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	$P_M$ , кВт	$Q_M$ , квар	$S_M$ , кВ·А
Всего на НН без КУ	0,805	0,7355	220,8	228,6	319,35
КУ	-	-	-	1×80	-
Всего на НН с КУ	0,949	0,3325	220,8	88,6	239
Потери	-	-	4,7	23,9	24,1
Всего на ВН с КУ	-	-	227,5	112,8	254

Определяем расчетную мощность трансформатора с учетом потерь:

$$S_p = \frac{S}{0,7}, \quad (34)$$

$$\Delta P_m = 0,02 \times S_{HH}, \quad (35)$$

$$\Delta Q_{mp} = 0,1 \times S_{HH}, \quad (36)$$

$$\Delta S_m = \sqrt{\Delta P_m^2 + \Delta Q_m^2}. \quad (37)$$

Получим:

$$S_p = \frac{254}{0,7} = 363 \text{ кВ} \times \text{А};$$

$$\Delta P_m = 0,02 \times 235,7 = 4,7 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{mp} = 0,1 \times 235,7 = 23,8 \text{ квар};$$

$$\Delta S_m = \sqrt{4,7^2 + 23,6^2} = 24,1 \text{ кВ} \times \text{А}.$$

Выбираем трансформатор типа ТМ400/6/0.4, который имеет следующие характеристики:

$$- \Delta P_{xx} - 950 \text{ Вт};$$

- $R_m - 5,5 \text{ мОм};$
- $\Delta P_{кз} - 5500 \text{ Вт};$
- $X_m - 17,1 \text{ мОм};$
- $U_{кз} - 4,1\%;$
- $Z_m - 18 \text{ мОм};$
- $I_{xx} - 2,1\%;$
- $Z_m^1 - 195 \text{ мОм}.$

Количество трансформаторов – одна штука.

Самым мощным является электродвигатель вентилятора. Для него ток нагрузки равен:

$$I_H = \frac{48}{\sqrt{3} \times 0,38 \times 0,92 \times 0,89} = 89,2 \text{ А}.$$

Пусковой ток для вентилятора:

$$I_{\text{пуск}} = I_H \times 6,5. \quad (38)$$

Получим:

$$I_{\text{пуск}} = 89,2 \times 6,5 = 579,8 \text{ А}.$$

Принимаем уставку:

$$I_{y(\text{тр})} = 2 \times I_{\text{пуск}}. \quad (39)$$

Получим:

$$I_{y(\text{тр})} = 2 \times 579,8 = 1159,6 \text{ А}.$$



При выборе сечения провода отходящей линии должно соблюдаться неравенство:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{т.р.}} \quad (40)$$

В качестве провода отходящего от автомата ВА-51-37 к распределительной подстанции принимаем кабель марки ЗЦСГБ 185 длиной четыре метра, а также кабель типа ЦСГБ 1×150, имеющего длину восемь метров.

#### Выводы

В данном разделе работы произведен расчет, выбор и проверка электрооборудования схемы электроснабжения. В результате расчетов произведен выбор трансформатора типа ТМ400/6/0.4.

## **6. Выполнение монтажных схем**

Самое важное, что здесь нужно понять, так это, как правильно тянуть провода – от этого во многом зависит их долговременная и бесперебойная эксплуатация. Нельзя разводить их хаотично – должен быть порядок. Все провода без исключения прокладываются по стенам, либо вертикально, либо горизонтально – горизонтальная проводка может прокладываться как под потолком (это лучший вариант), так и над полом на высоте не менее 100 мм над его уровнем. Если говорить о вертикальных участках, то они должны располагаться непосредственно над розетками и выключателями, для которых в большинстве случаев и применяется такая схема подключения. Довольно часто при наличии подвесных потолков проводку закладывают за них – удобно это тем, что отпадает необходимость в так называемом штроблении стен. В таких ситуациях все кабели дополнительно помещаются в гофрированный рукав – это и защита от механических повреждений, и дополнительная предосторожность в случае возгорания проводки. Дело в том, что гофра препятствует доступу кислорода в место возгорания, и огонь гаснет – естественно, одновременно с этим срабатывает защитный автомат, который обесточивает поврежденный участок электрической проводки [27].

Качественное соединение проводов – этот момент касается не только коммутационных коробок, в которых соединенные друг с другом жилы проводов должны спаиваться, но и распределительного щитка. Все подсоединяемые к автоматам концы проводов также должны быть пропаяны или хотя бы обжаты специальными наконечниками. Здесь важно понимать одну вещь – плохой контакт обязательно будет греться. Как результат, на нем оплавляется изоляция, что со временем приводит к короткому замыканию, а иногда и к пожару. Контакт должен быть надежный – в некотором роде он может обеспечиваться клеммами, которые необходимо зажимать очень сильно.

Металлические рукава – выполняют функции защиты кабелей в местах подключения к оборудованию, а так же при пересечении трубных электропроводок с другими коммутациями [28].

Для работ, непосредственно выполняемых при организации системы электроснабжения, комплектуются специализированные машины или автоприцепы.

Перед производством монтажа необходимо определить местоположение трансформаторов в зависимости от величины и расположения нагрузок, с учетом возможности размещения трансформаторных пунктов в конечном месте.

Трансформаторные пункты размещаются на участках. Для питания участков мастерской будут применяться двухтрансформаторные подстанции.

Распределение электроэнергии выполняется по смешанной схеме. Выбор схемы определен с учетом категории надежности потребителей электроэнергии.

Трансформаторы питаются по магистральным линиям, отходящим от двух различных секций источника питания (ЗРУ ГПП).

Совокупность всех машин, механизмов, а также механизированных средств, которые применяются при производстве монтажных работ, классифицируются по следующим группам:

- механизированные и ручные инструменты (электрифицированные, пневматический и пиротехнический инструмент, монтажный инвентарь и приспособления);
- сварочное оборудование (различные сварочные аппараты и агрегаты);
- специальные автомашины и автоприцепы, передвижные мастерские;
- металлообрабатывающие станки (ножницы, прессы, шино- и трубогибы, листогибы, сверлильный и токарный станки и т.д.;
- монтажные механизмы для разгрузки и погрузки (автокран, краны на пневмоколесном ходу, трубоукладчик, телескопическая вышка, кранбалки и тали, буровые машины.

Инструменты для монтажа:

- электросверлильные машины – служат для различных сверлильных операций;
- электромагнитобур СЦ-2 – предназначен для бурения отверстий;
- пиротехнический инструмент – строительно-монтажный пистолет ПЦ 52-1 – служит для пристрелки металлоконструкций к бетонным, кирпичным стенам при помощи дюбелей;
- пиротехническая оправка ОДП-4м – служит для забивания дюбелей в кирпичные и железобетонные конструкции с целью закрепления различных электромонтажных изделий (лотки, коробка и т.д.);
- клещи КСИ-1, КСИ-2 – предназначены для снятия изоляции с концов проводов сечением от 0,75 до 4мм<sup>2</sup> и перекусывания проводов.

При электромонтаже системы электроснабжения применяется различный специализированный инвентарь. К такому инвентарю можно отнести приспособление для работ на высоте и такелажных работ, например.

Выводы

Монтаж кабельных линий для питания вспомогательного производства выполняется по рабочим чертежам. При этом монтажному персоналу необходимо знать: требования, в соответствии с которыми выполняется монтаж электрооборудования систем электроснабжения; в каких разделах размещены те или иные проектные материалы; их состав и содержание. Основными проектными материалами для производства монтажных работ являются монтажная и принципиальная схемы электроснабжения.

## Заключение

Данная выпускная квалификационная работа посвящена разработке системы электроснабжения подготовительного производства машиностроительного завода.

Для обоснования принимаемых технических решений в ходе выполнения ВКР произведен анализ особенностей объекта электроснабжения и исследованы требования нормативных документов к системам электроснабжения аналогичного назначения. Основными потребителями электрической энергии на рассматриваемом объекте являются: производственное оборудование, электрические инструменты, система освещения производственных площадей.

Выбор устанавливаемого оборудования осуществлен на основе расчета электрической нагрузки производства. Из полученных результатов следует, что на освещение требуется мощность в объеме 14,96 кВт. Мощность, потребляемая технологическим оборудованием, равна 205,84 кВт. Для освещения исследуемого корпуса принято решение использовать светодиодные светильники, для которых характерна высокая светоотдача и низкое потребление электроэнергии по сравнению с другими осветительными приборами.

В рамках ВКР показана важность обеспечения качества электроэнергии в сети электроснабжения предприятия и произведено обоснование необходимости применения системы компенсации реактивной мощности на объекте. С учетом нормативных требований и на основании проведенных расчетов осуществлен выбор устройства компенсации реактивной мощности для исследуемого объекта. Для питания объекта предложено использовать двух трансформаторную подстанцию с трансформаторами типа ТМ-400/6/0.4. Трансформаторы будут питаться по магистральным линиям, отходящим от двух различных секций источника питания. Распределение электроэнергии будет выполняться по смешанной схеме.

## Список используемых источников

1. Афонин В. В. Электрические станции и подстанции. Часть 1. Электрические станции и подстанции: учебное пособие. Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. 90 с.
2. Балаков Ю. Н. Безопасность энергоустановок в вопросах и ответах : практ. пособие. В 2 ч. Ч. 1. Устройство и эксплуатация энергоустановок. М. : МЭИ, 2018. 766 с.
3. Бохмат И. С, Воротницкий В. Э., Татаринов Е. П. Снижение коммерческих потерь в электроэнергетических системах // Электрические станции, 2018. № 9.
4. Бударгин О. М., Бердников Р. Н., Перстнев П. А., Шимко М. Б., Воротницкий В. Э. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в Единой национальной электрической сети. Красноярск: ИПК «Платина», 2019. 224 с.
5. Бурман А. П. Управление потоками электроэнергии и повышение эффективности электроэнергетических систем : учеб. пособие для студ. Вузов. М. : МЭИ, 2019. 335 с.
6. Диагностика электрооборудования электрических станций и подстанций: учебное пособие / А. И. Хальясмаа, С. А. Дмитриев, С. Е. Кокин, Д. А. Глушков. Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2015. 64 с.
7. Игнатович В. М. Электрические машины и трансформаторы: учебное пособие. Томск: Томский политехнический университет, 2013. 182 с.
8. Коломиец Н. В. Режимы работы и эксплуатация электрооборудования электрических станций: учебное пособие. Томск: Томский политехнический университет, 2015. – 72 с.
9. Короткие замыкания и выбор электрооборудования : учеб. пособие для студ. вузов / ред.: И. П. Крючков, В. А. Старшинов. М.: МЭИ, 2019. 567 с.

10. Костенко Е. М. Электрооборудование и средства автоматизации. Монтаж, техническое обслуживание и ремонт: практ. пос. М.: НЦ ЭНАС, 2019. 320 с.
11. Костин В. Н. Электроэнергетические системы и сети : учеб. пособие для бакалавров. СПб. : Троицкий мост, 2015. 304 с.
12. Кравченко А. В. Экономика энергетики и управление энергопредприятием: учеб. пособие. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2019. 66 с.
13. Красник В. В. Эксплуатация электрических подстанций и распределительных устройств. М.: ЭНАС, 2018. 374 с.
14. Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. М.: Издательский дом «Энергия», 2013. 232 с.
15. Назарычев А. Н. Справочник инженера по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электрических станций и сетей. Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. 928 с.
16. Оперативно-диспетчерское управление в электроэнергетике. Правила безопасной организации работ оперативного персонала электроустановок. М.: Издательский дом «Энергия», Альвис, 2013. 800 с.
17. Павелко Н. Н. Правила безопасности в процессе монтажа, обслуживания и ремонта электрооборудования предприятий: справочное издание. М.: КноРус, 2018. 288 с.
18. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. М.: Издательский дом ЭНЕРГИЯ, 2017. 348 с.
19. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. М.: Центр охраны труда, промышленной безопасности, социального партнерства и профессионального образования, 2018. 268 с.
20. Правила устройства электроустановок. Новосибирск: Норматика, 2015. 464с.

21. Проектирование электроэнергетических систем: учебное пособие/ С. Н. Антонов [и др.]. Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, 2019. 104 с.

22. Сибикин Ю. Д., Сибикин М. Ю. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий. Вологда: Инфра-Инженерия, 2018. 464 с.

23. Сивков А. А., Герасимов Д. Ю., Сайгаш А. С. Основы электроснабжения: учебное пособие. Томск: Томский политехнический университет, 2019. 174 с.

24. Berg H. P., Frize N. Reliability of main transformers. Germany: Bundesamt fur Strahlenschutz, 2012.

25. Bialek, J. W. Tracing the Flow of Electricity. IEE Proc-Gener., Transm., and Distrib., vol. 143, pp. 310-320, Jul., 2006.

26. NAP – Best Practice Catalog – Main Power Transformer. Mesa associates, inc. and oak ridge national laboratory, 2019.

27. Carreira-Perpiñán M. A., Alizadeh. M. Review of Dimension Reduction Techniques // Technical Report CS-96-09. University of Sheffield: Dept. of Computer Science, 2017.

28. Olguin G. Voltage Dip (Sag) Estimation in Power Systems based on Stochastic Assessment and Optimal Monitoring: Doctoral Dissertation. Department of Electric Power Engineering: Chalmers University Of Technology. Sweden, 2019.