

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«Санкт-Петербургский государственный университет  
промышленных технологий и дизайна»**  
**Высшая школа технологии и энергетики**  
**Кафедра автоматизированного электропривода и электротехники**

# **ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА**

## **Выполнение курсового проекта**

Методические указания для студентов всех форм обучения  
по направлению подготовки  
13.03.02 — Электроэнергетика и электротехника,  
профиль «Электропривод и автоматика»

Составитель  
Н. В. Роженцова

Санкт-Петербург  
2024

Утверждено  
на заседании кафедры АЭиЭ  
30.08.2024 г., протокол № 1/24-25

Рецензент Н. С. Благодарный

Методические указания соответствуют программам и учебным планам дисциплины «Электроэнергетика» для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (профиль «Электропривод и автоматика»). Методические указания содержат методику и примеры выполнения курсового проекта.

В указаниях рассмотрены примеры расчета электрических нагрузок в электроустановках напряжением до 1 кВ методом упорядоченных диаграмм для цеховых сетей промышленных предприятий, выбора числа и мощности цеховых трансформаторных подстанций с учетом компенсации реактивной мощности. Приведены примеры выбора сечений проводников по дополнительному нагреву электрическим током. Выполнен анализ видов защит электрических сетей и электроприемников напряжением до 1 кВ, а также приведены примеры выбора аппаратов защит: предохранителей, магнитных пускателей, автоматических выключателей. Рассмотрены вопросы проверки электрических сетей по допустимой потере напряжения с учетом требований ГОСТ 32144-2013.

Методические указания предназначены для бакалавров всех форм обучения.

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД в качестве  
методических указаний

Режим доступа: [http://publish.sutd.ru/tp\\_get\\_file.php?id=202016](http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016), по паролю.  
- Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 22.10.2024 г. Рег. № 5339/24

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД  
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	5
1. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАБОТЕ НАД ДИСЦИПЛИНОЙ «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА» .....	6
2. ТЕМАТИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ, ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНОЙ ЧАСТИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА .....	7
2.1. Содержание курсового проекта .....	7
2.2. Требования к оформлению расчетной и графической части курсового проекта .....	8
2.3. Варианты заданий к курсовому проекту .....	10
2.4. Защита курсового проекта.....	23
3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ОТДЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ .....	24
3.1. Введение и общая характеристика цеха и требования к электроснабжению .....	24
3.2. Расчет электрических нагрузок в электроустановках напряжением до 1 кВ методом упорядоченных диаграмм .....	25
3.2.1. Определение и обозначения основных величин.....	25
3.2.2. Порядок расчета электрических нагрузок .....	33
3.2.3. Расчет нагрузок осветительных приемников .....	37
4. ВЫБОР СХЕМЫ И КОНСТРУКТИВНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ВНУТРИЦЕХОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ...	39
4.1. Цеховые трансформаторные подстанции .....	43
4.1.1. Схемы цеховых трансформаторных подстанций .....	43
4.1.2. Выбор подстанций и трансформаторов .....	44
4.1.3. Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых ТП .....	46
4.2. Цеховые троллейные сети .....	49
4.2.1. Троллейные линии .....	49
4.2.2. Питание подъемно-транспортных устройств.....	52
4.2.3. Расчет троллейных линий .....	56
5. ВЫБОР НАПРЯЖЕНИЯ .....	59
6. ВЫБОР СЕЧЕНИЙ ПРОВОДНИКОВ .....	62
6.1. Выбор сечения проводов и кабелей по допустимому нагреву электрическим током.....	62

6.2. Расчет электрических сетей по потере напряжения.....	68
<b>7. ЗАЩИТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ .....</b>	<b>71</b>
7.1. Выбор плавких вставок предохранителей.....	72
7.2. Выбор расцепителей автоматических выключателей.....	73
7.3. Выбор тепловых реле магнитных пускателей.....	74
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....</b>	<b>76</b>

## ВВЕДЕНИЕ

В системах электроснабжения промышленных предприятий ведущую роль играют сети напряжением до 1000 В. Электроприводы различных технологических агрегатов, нагревательные устройства и другие приемники, непосредственно преобразующие электроэнергию в другие виды энергии, питаются в подавляющем большинстве случаев напряжением до 1 кВ.

Поскольку расход проводникового материала для передачи одной и той же мощности существенно возрастает с понижением номинального напряжения, очевиден огромный удельный вес сети напряжением до 1 кВ в общем балансе потерь электроэнергии и потребления проводниковых материалов в электрических сетях страны.

Совершенствование сетей до 1 кВ является одной из главных задач промышленной электроэнергетики. Ведущим техническим направлением в электроснабжении остается максимальное сокращение протяженности сетей до 1 кВ путем приближения трансформаторных подстанций 10/0, 660-0,4 кВ для нужд технологических процессов непосредственно к местам использования электроэнергии.

Настоящие методические указания являются пособием по изучению дисциплины «Электроэнергетика», где изложены основные вопросы, подлежащие изучению по данной дисциплине, даны положения и рекомендации, необходимые студенту.

Целью курсового проекта является закрепление и углубление знаний, полученных студентом при изучении дисциплины «Электроэнергетика».

Самостоятельная работа студента по проектированию служит хорошей подготовкой к выполнению дипломного проекта, закрепляет навыки инженерного проектирования.

# **1. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАБОТЕ НАД ДИСЦИПЛИНОЙ «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА»**

Работа студента по дисциплине «Электроэнергетика» состоит из следующих элементов: посещение лекций и практических занятий; самостоятельное изучение разделов и тем дисциплины по учебникам и учебным пособиям с последующей самопроверкой и выполнением курсового проекта; индивидуальные консультации (очные и письменные); сдача экзамена.

## **Самостоятельная работа с учебником**

Начинать изучение дисциплины необходимо с рассмотрения ее содержания по программе, затем приступить к рассмотрению отдельных тем. Сначала знакомятся с содержанием вопросов данной темы, их последовательностью, а затем уже приступают к изучению содержания темы. При первом чтении необходимо получить общее представление об излагаемых вопросах. При повторном чтении необходимо параллельно вести конспект, в который заносить все основные понятия, впервые встретившиеся термины с кратким пояснением их сущности. По возможности старайтесь систематизировать материал, представляйте его в виде блок-схем, таблиц – это облегчает запоминание материала и позволяет легко восстановить его в памяти при повторном обращении. Не старайтесь конспектировать отдельные факты и цифры, их всегда можно отыскать в соответствующих справочниках. Вникайте в сущность того или иного вопроса – это способствует более глубокому и прочному усвоению материала.

## **Консультации**

При возникновении затруднений при изучении теоретической части дисциплины, поиске ответов на вопросы для самопроверки или выполнении курсового проекта следует обращаться за письменной или устной консультацией к преподавателю в университет. При этом необходимо точно указать вопрос, вызывающий затруднение, место в учебнике, где он разбирается.

## **Курсовой проект**

В процессе изучения дисциплины «Электроэнергетика» студент должен выполнить курсовой проект. Курсовой проект необходимо выполнять по мере изучения соответствующих тем дисциплины. Неудача при выполнении проекта показывает, что тема недостаточно проработана. Необходимо вернуться к рассмотрению основных положений этой темы.

Курсовой проект должен выполняться самостоятельно, так как он является формой методической помощи студентам при изучении дисциплины. Преподаватель указывает студенту на недостатки в усвоении материала, что позволяет устранить их к экзамену.

## **Экзамен**

К сдаче экзамена допускаются студенты, имеющие зачетный курсовой проект.

## **2. ТЕМАТИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ, ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНОЙ ЧАСТИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

### **2.1. Содержание курсового проекта**

Для выполнения курсового проекта преподаватель выдает студенту индивидуальное задание.

Исходные данные для проектирования приведены в табл. 2.1–2.4.

Пояснительная записка расчетной части курсового проекта должна содержать следующие разделы:

1. Введение.
2. Характеристика приемников (режимы работы, категории потребителей).
3. Характеристика среды отделений цеха.
4. Требования к электроснабжению в соответствии со средой.
5. Определение расчетной мощности и нагрузок.
6. Определение месторасположения цеховой подстанции, ее типа, типа трансформаторов, их количество и мощность.
7. Обоснование напряжения распределения электроэнергии.
8. Конструктивное исполнение схемы:
  - а) выбор способа прокладки кабелей и проводов цеховой сети;
  - б) выбор типа шинпроводов, если схема магистральная;
  - в) выбор типа силовых распределительных пунктов.
9. Выполнение требования в соответствии с Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) о способах прокладки кабелей для взрывоопасных, пожароопасных, химически агрессивных и других сред.
10. Расчет и выбор параметров схемы:
  - а) выбор сечений проводов и кабелей линий, питающих цеховую ТП, силовые распределительные пункты, приемники от силовых распределительных пунктов и шинпроводы;
  - б) выбор коммутационных аппаратов на всех ступенях схемы и проведение согласования выбранного сечения проводника и токорасцепителя автомата или тока плавкой вставки предохранителей.

Графическая часть курсового проекта состоит из:

1 лист – план цеха с расположением силового оборудования и схемой их питания (необходимо показать шинпроводы, РП-0,4 кВ, кабели, их типы и параметры).

2 лист – однолинейная схема электроснабжения цеха и расчетная схема.

## 2.2. Требования к оформлению расчетной и графической части курсового проекта

### Оформление курсового проекта

Курсовой проект состоит из пояснительной записки и чертежей.

Оформление проекта производится в соответствии с правилами ЕСКД, ГОСТ 7.0.100-2018 и другим стандартами.

Пояснительная записка выполняется на одной стороне листов бумаги формата А4 (210×297) на компьютере. Объем записки – в пределах 30-50 страниц. Пояснительная записка должна в краткой и четкой форме раскрывать творческий замысел проекта, содержать методы исследований, принятые методы расчета и сами расчеты, технико-экономическое сравнение вариантов. Для придания излагаемому тексту ясности он сопровождается необходимыми иллюстрациями.

Графическая часть проекта выполняется одновременно с расчетной на стандартных листах чертежной бумаги формата А1 (594×841), А3 (297×420) или А4 аккуратно, с четкими и ясными изображениями. Все чертежи графической части проекта должны соответствовать требованиям ГОСТ по формату, масштабам, шрифтам, нанесению размеров, правилам выполнения электрических схем и условных графических обозначений и др. Чертежи выполняются с использованием современных графических редакторов и оформлением листов графики с помощью средств вычислительной техники.

Оформление пояснительной записки следует выполнять с использованием современных текстовых редакторов, например, Microsoft Word, Open Office и т. п. При этом необходимо определить следующие настройки для подготовки текста:

- размеры листа стандартные: 210×297 мм (формат А4);
- ориентация книжная;
- поля страницы: левое – 25 мм, верхнее – 20 мм, правое – 20 мм, нижнее – 20 мм;
- шрифт – Times New Roman;
- размер шрифта – 14 пунктов;
- межстрочный интервал – полуторный;
- абзацный отступ 1,27 см, должен быть одинаковым по всему.

Все слова внутри абзаца разделяются только одним пробелом. Перед знаком препинания пробелы не ставятся, после знака препинания – один пробел. Все буквенные обозначения величин в формулах должны соответствовать ГОСТ Р 2.105-2019. Буквы латинского алфавита набирают курсивом, греческого, русского – прямым независимо от применения обозначения: в основном тексте или в индексе формул.

Математические формулы набирают в редакторе формул (MS Equation). Шрифт Times New Roman. Размеры символов в формулах следующие: обычный – 14 пт; крупный индекс – 12 пт; мелкий индекс – 10 пт; крупный символ –

18 пт; мелкий символ – 12 пт. Открывающие и закрывающие скобки одного вида должны быть одинаковой высоты. В случае применения одинаковых по начертанию скобок, внешние скобки должны быть большего размера, чем внутренние.

Первым листом пояснительной записки является титульный лист, затем задание на курсовой проект, оглавление, текст, список литературы.

Все страницы курсового проекта нумеруются по порядку от титульного листа до последней страницы. На титульном листе цифра «1» не ставится, на листах задания цифра «2» также не ставится. Фактически нумерация начинается с листа с оглавлением с цифры «3». Порядковый номер печатается на середине верхнего поля страницы.

Основной текст должен быть разделен на параграфы. Заголовки располагают посередине страницы без точки на конце. Переносить слова в заголовках не допускается. Заголовки отделяют от текста сверху и снизу тремя интервалами. Библиографические ссылки в тексте оформляют в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.100-2018. Иллюстративный материал может быть представлен рисунками, фотографиями, графиками, чертежами, схемами, диаграммами и другим подобным материалом. Иллюстрации, используемые в проекте, размещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на них, или на следующей странице, а при необходимости – в приложении к проекту. Все иллюстрации должны иметь название и быть пронумерованы. Иллюстрации нумеруют арабскими цифрами сквозной нумерацией. Пример подписи рисунка: «Рис. 1. Схема электроснабжения цеха». Между текстом и рисунком, названием рисунка и текстом следует оставлять полуторный интервал. Между рисунком и названием рисунка интервал не требуется. На все иллюстрации должны быть приведены ссылки в тексте. При ссылке следует писать слово «рисунок» с указанием его номера. Иллюстративный материал оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105-2019.

Результаты однотипных расчетов сводятся в таблицы. Таблицы, используемые в проекте, размещают под текстом, в котором впервые дана ссылка на них, или на следующей странице, а при необходимости – в приложении. Таблицы нумеруют арабскими цифрами сквозной нумерацией или по разделам/параграфам. На все таблицы должны быть приведены ссылки в тексте. При ссылке следует писать слово «таблица» с указанием ее номера. Над правым верхним углом таблицы помещают надпись «Таблица» с указанием порядкового номера таблицы и ее названия, например, «Таблица 2. Ведомость электрических нагрузок». Между текстом, названием таблицы, самой таблицей следует оставлять полуторный интервал. Между названием таблицы и таблицей оставлять одинарный интервал. Допустимо уменьшение размера шрифта в таблицах до 10 пунктов при необходимости. Если таблица не помещается на одной странице, то ее продолжение необходимо выполнить со следующей страницы. При этом необходимо выполнить нумерацию столбцов таблицы, чтобы не повторять заголовков. Над правым верхним углом таблицы помещают надпись «Продолжение табл.» с указанием порядкового номера таблицы, например, «Продолжение табл. 2».

При оформлении формул в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими национальными стандартами. Пояснения символов должны быть приведены в тексте или непосредственно под формулой. Формулы в тексте следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией либо по разделам/параграфам. Номер заключают в круглые скобки и записывают на уровне формулы справа. Формулы оформляют в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105-19. Сокращение слов и словосочетаний на русском и иностранных европейских языках оформляют в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.12-2011. Применение в пояснительной записке к курсовому проекту сокращений, не предусмотренных стандартами, не допускается.

Список литературы должен включать библиографические ссылки на документы, использованные при работе над проектом. Список должен быть размещен в конце основного текста и сгруппирован систематическим способом (в порядке первого упоминания в тексте). Библиографические записи в списке литературы оформляют согласно ГОСТ Р 7.0.100-2018.

Изложение материала должно идти от первого лица множественного числа («определяем», «принимаем») или может быть использована неопределенная форма («определяется», «выбирается»). Сокращение слов в тексте, названия таблиц и иллюстраций, а также записей в них, за исключением утвержденных ГОСТ 2.316-2008, не допускается.

В расчетно-пояснительной записке следует соблюдать единую терминологию.

### **2.3. Варианты заданий к курсовому проекту**

Каждый студент выполняет курсовой проект по своему индивидуальному заданию, обозначенному двумя цифрами (первая цифра – номер задания, вторая цифра – номер варианта) (табл. 2.1–2.4).

Таблица 2.1 – Исходные данные на проектирование по вариантам

№ по плану цеха	Наименование отделения (участка) цеха и производственного оборудования	Модель или тип	Установленная мощность в единице, кВт	Количество (по вариантам), шт.										Участок предельной сети (по вариантам)	Освещение отделения (участка) цеха (по вариантам)
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>I. Механическое отделение</b>															
1	Токарно-винторезный станок	1К62	11,125	8	5	3	2	9	4	7	1	4	3	1 и 9	1 и 6
2	Токарно-винторезный станок	1Б61	4,625	3	4	5	6	1	3	2	6	3	4		
3	Токарно-винторезный станок	1А616П	4,6	4	1	2	-	-	1	2	3	2	1		
4	Токарно-винторезный станок	163	15,125	1	-	1	2	-	1	1	2	-	1		
5	Токарно-револьверный станок	1П326	5,475	4	3	2	5	4	3	2	2	1	3		
6	Долбежный станок	7А420	3,8	2	3	1	2	4	5	1	2	3	4		
7	Поперечно-строгальный станок	7М37	11,0	2	3	2	1	2	1	3	1	2	1		
8	Универсально-фрезерный станок	6В75	1,7	2	3	2	-	3	2	-	3	4	3		

Окончание табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
9	Универсально-фрезерный станок	6Н81	6,325	1	-	1	2	-	1	2	1	-		1 и 9	1 и 6
10	Горизонтально-фрезерный станок	6М80Г	3,525	2	1	3	4	2	1	3	2	4	3		
11	Вертикально-фрезерный станок	6М12П	12,925	1	2	1	1	2	3	1	2	1	2	2 и 10	
12	Зубофрезерный станок	5К301	0,725	2	4	3	5	2	4	5	6	2	3		
13	Универсальный зубофрезерный станок	5К32	7,0	1	-	1	-	3	1	-	-	3	2		
14	Кругло шлифовальный станок	3А164	19,45	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2		
15	Плоско шлифовальный станок	3740	12,65	1	2	1	-	1	2	-	3	2	1		
16	Внутри шлифовальный станок	3Б250	10,225	1	-	1	1	2	1	2	-	1	1		
17	Вертикально-сверлильный станок	2А125	2,925	3	4	2	3	1	2	5	3	4	2	3	
18	Радиально-сверлильный станок	2А55	6,925	1	2	2	1	3	4	1	2	-	3		
19	Настольно-сверлильный станок	2А106	0,6	5	7	6	4	3	2	1	8	7	5		
20	Координатно-расточный станок	2А450	6,52	1	2	-	3	2	1	4	-	2	1		
21	Карусельный станок	1531М	33,28	1	1	1	1	-	1	-	-	1	-		

Таблица 2.2 – Исходные данные на проектирование по вариантам

№ по плану цеха	Наименование отделения (участка) цеха и производственного оборудования	Модель или тип	Установленная мощность в единице, кВт	Количество (по вариантам), шт										Участок предельной сети (по вариантам)	Освещение отделения (участка) цеха (по вариантам)										
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16										
I. Механическое отделение																									
1	Токарно-винторезный станок	165	28	1	2	1	1	1	-	2	-	-	1	10	4 и 7										
2	Токарно-винторезный станок	1А616	4,6	3	2	4	5	3	4	1	3	4	2			9	4 и 7								
3	Токарно-винторезный станок	ТВ-320Г	2,925	4	3	1	2	3	2	4	3	2	1					9	4 и 7						
4	Токарно-винторезный станок	1К62Б	11,125	2	1	-	-	1	2	1	2	3	1							9	4 и 7				
5	Настольно-сверлильный станок	НС-12Б	0,6	4	5	3	4	2	3	2	1	3	6									9	4 и 7		
6	Горизонтально-расточный станок	2620А	18,95	1	1	1	-	1	2	1	1	1	2	9										4 и 7	
7	Поперечно-строгальный станок	7Б35	4,5	2	2	3	3	3	4	2	2	1	2			9									4 и 7
8	Универсально-фрезерный станок	6М80	3,4	3	1	2	3	2	2	1	1	3	1					9							
9	Координатно-расточный станок	2А430	2,25	4	2	3	2	1	2	3	3	1	2							9					

Продолжение табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
10	Копировально-фрезерный станок	6441Б	3,5	1	3	2	1	1	1	1	2	1	2	9	4 и 7
11	Плоско шлифовальный станок	С-541	2,8	2	1	3	3	3	3	3	2	2	1	8	
12	Внутри шлифовальный станок	3225БП	7,525	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2		
13	Кругло шлифовальный станок	3Б151	9,585	2	1	2	1	1	1	2	2	2	1		
14	Зубофрезерный станок	5312	10,55	1	1	1	-	1	1	-	-	-	2		
15	Горизонтально-фрезерный станок	6М82Г	8,7	2	1	2	2	1	1	2	2	2	-		
16	Настольно-резьбонарезной станок	ВС-11	0,6	3	4	2	1	3	3	2	1	2	4		
17	Таль электрическая	ТЭ-05	0,85	2	3	3	4	3	2	3	4	2	4		
18	Кран мостовой электрический	5m	24,2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
II. Электроремонтное отделение															
19	Шкаф электрический сушильный	-	0,6	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1	7	3 и 8
20	Трансформатор сварочный для пайки медных проводов	ОС-5/0,5	5	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1		
21	Балансировочный станок	ДБ-4	1,7	1	2	1	1	2	1	2	2	1	1		
22	Полуавтомат для рядовой многослойной намотки катушек (0,25–3 мм)	ПР-160	1	2	3	3	2	1	2	2	3	1	3		

Окончание табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
23	Намоточный станок (0,5–6 мм)	ТТ-20	2,8	1	-	2	3	2	2	2	-	2	1	7	3 и 8	
24	Точильный станок двух строчный	333А	1,7	2	3	2	3	3	1	1	2	2	1			
25	Ванна для пайки	-	2,8	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2			
26	Обдирочно-шлифовальный станок	3382	2,8	2	1	3	1	2	2	1	3	2	1	6		
27	Токарно-винторезный станок	1К62	11,125	1	1	1	-	1	1	-	-	1	1			
28	Вертикально-сверлильный станок	2Б118	1,7	2	1	2	2	1	1	2	2	2	1			
29	Таль электрическая	ТЭ-0,5	0,85	1	1	1	2	1	1	2	2	1	2			
III. Заготовительное отделение																
30	Станок отрезной с дисковой пилой	8Б66	8,825	1	1	2	1	1	-	2	2	1	-	4		6
31	Ножницы гильотинные	Н-475	7	1	1	1	1	2	2	1	2	1	2			
32	Пресс гидравлический	ПВ-474	4,5	1	2	1	2	2	3	1	2	2	1			
33	Механическая ножовка	872А	1,7	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1			
34	Вальцы чисто правильные	-	9	1	-	-	-	2	1	3	1	2	3	3		
35	Пресс одно-кривошипный двойного действия	К460Б	10	1	1	2	3	2	2	1	2	1	1			
36	Пресс фрикционный	ФА-122	4,5	1	2	1	1	2	1	2	1	2	2			
37	Вертикально-сверлильный станок	2А125	2,8	2	3	1	3	3	4	1	5	1	3			
38	Обдирочно-точильный станок	3М634	2,8	3	2	3	1	1	1	2	4	3	1			
39	Вентилятор	-	4,5	2	3	3	3	2	2	2	1	2	2			

Таблица 2.3 – Исходные данные на проектирование по вариантам

№ по плану цеха	Наименование отделения (участка) цеха и производственного оборудования	Модель или тип	Установленная мощность в единице, кВт	Количество (по вариантам), шт.										Участок предельной сети (по вариантам)	Освещение отделения (участка) цеха (по вариантам)
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
I. Заготовительное отделение															
1	Ножницы листовые с наклонным ножом	H-475	7	1	1	-	-	1	1	1	2	1	1	10	4 и 7
2	Зигмашина	C-273A	1,7	1	2	1	1	2	1	2	2	2	1		
3	Станок трубогибочный	C-288	7	1	1	2	2	1	1	2	2	1	-		
4	Фланцегибочный станок	C-249	4,5	1	2	1	2	2	2	1	1	2	2		
5	Трубоотрезной станок	C-246A	2,8	2	2	3	1	3	1	3	3	2	1		
6	Точильный станок двухсторонний	332A	1,7	3	4	2	3	3	4	2	2	4	1		
7	Вальцовка трехвалковая	C-235A	2,5	1	2	1	1	2	2	1	1	2	3		

Продолжение табл. 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
8	Настольно-сверлильный станок	НС-12А	0,6	5	4	2	3	4	6	7	5	4	3	10	4 и 7
9	Кран-балка	-	7,3	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2		
10	Вентилятор	-	7	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1		
II. Механическое отделение															
11	Радиально-сверлильный станок	2А55	6,925	2	2	2	2	2	2	3	2	2	1	8	5 и 8
12	Вертикально-сверлильный станок	2Б118	7,1	3	1	3	3	3	2	1	3	2	3		
13	Настольно-сверлильный станок	НС-12А	0,6	4	2	5	3	4	6	5	2	2	4		
14	Универсально-фрезерный станок	6М83	12,8	1	1	2	1	1	-	1	1	2	1		
15	Горизонтально-фрезерный станок	6М81Г	6,325	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1		
16	Вертикально-фрезерный станок	6М121	11,825	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2		
17	Копировально-фрезерный станок	6М42К	4,65	2	1	2	3	2	3	1	2	2	1		
18	Поперечно-строгальный станок	7М36	8	1	1	-	-	1	-	-	1	2	3	9	
19	Продольно-строгальный станок	7210	40	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		

Окончание табл. 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
20	Токарно-револьверный станок	1П326	5,475	2	4	3	2	4	6	3	2	2	3	9	5 и 8
21	Токарно-затыловочный полуавтомат	1811	3,8	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	
22	Токарно-винторезный станок	1А616	4,6	2	3	4	2	4	6	3	2	5	3		
23	Токарно-винторезный станок	1К62	11,125	4	2	4	1	2	4	1	2	1	2		
24	Токарно-карусельный станок	1531М	33,28	1	1	1	1	-	1	-	-	-	1		
25	Координатно-расточный станок	2А-430	2,25	2	1	2	2	2	1	1	2	2	1		
26	Вентилятор	-	2,8	2	3	2	4	5	1	2	3	4	5		
27	Вентилятор	-	7	2	1	2	1	-	3	2	2	-	-		
28	Таль электрическая	ТЭ-0,5	0,85	2	3	2	3	2	1	2	2	5	5		
29	Кран мостовой электрический	10m	36	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-		
III. Заточный участок															
30	Универсально-заточный Станок	3А64М	1,75	2	3	4	3	4	2	2	1	3	2	2	9
31	Полуавтомат для заточки червячных фрез	3662	3,45	2	1	2	2	1	2	2	1	2	1		
32	Полуавтомат для заточки пил	3692	2,3	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1		

Таблица 2.4 – Исходные данные на проектирование по вариантам

№ по плану цеха	Наименование отделения (участка) цеха и производственного оборудования	Модель или тип	Установленная мощность в единице, кВт	Количество (по вариантам), шт										Участок предельной сети (по вариантам)	Освещение отделения (участка) цеха (по вариантам)
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>I. Электроремонтное отделение</b>															
1	Механические щетки травяные для зачистки концов обмоток от полуды	-	0,6	2	1	1	2	2	3	2	2	3	3	7	8 и 10
2	Ножницы вибрационные	-	0,52	1	2	2	1	1	2	2	2	1	2		
3	Пресс кривошипный	КА-213	1,7	2	1	1	1	2	1	1	1	2	2		
4	Намоточный станок	ПР-159	1,7	3	2	3	4	2	2	3	3	1	2		
5	Намоточный станок	СНТ-08	0,36	2	3	2	1	2	2	1	2	3	2		
6	Настольно-токарный станок	С-28	0,25	2	1	3	2	2	2	3	3	1	2		
7	Шкаф электрический сушильный	-	4	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2		

Продолжение табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
8	Балансировочный станок	ДБ-4	1,7	1	1	1	2	1	1	-	2	1	1	3	8 и 10
9	Поперечно-строгальный Станок	7М36	8	1	1	-	1	1	-	1	1	1	2		
10	Полуавтомат для рядовой многослойной намотки катушек	ПР-160	1	1	1	2	1	2	1	1	2	3	1		
11	Обдирочно-точильный станок	3М-634	2,8	2	1	2	3	2	2	1	2	2	2		
12	Таль электрическая	ТЭ-0,5	0,85	1	1	1	2	1	2	1	1	2	3		
13	Вентилятор	-	2,8	2	1	2	1	2	2	1	2	3	2		
<b>II. Заготовительно-сварочное отделение</b>															
13	Пресс двух-кривошипный	К372Г	20	1	1	2	1	1	2	1	2	1	2	5	3 и 4
14	Ножницы высечные	М-533	2,8	1	1	2	1	2	1	2	1	1	2		
15	Пресс правильный	ПА-15	14	1	1	2	1	1	2	1	2	2	1		
16	Вальцовка трехвалковая	3М3	2,5	1	1	1	1	1	-	1	1	1	-		
17	Вертикально-сверлильный станок	2А125	2,925	2	1	2	2	3	2	3	3	2	1		
18	Станок трубонарезной	914М	7	1	1	1	1	-	-	-	1	1	-		
19	Пресс ножницы комбинированные	НА-633	4,5	1	1	2	1	2	1	1	2	2	1		
20	Обдирочно-точильный станок	3М636	7	1	1	1	-	-	1	1	-	-	1		

Продолжение табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
21	Автомат для дуговой сварки, шланговый	НДШМ-М500	0,2	2	1	2	2	1	2	2	2	3	2	2	3 и 4
22	Машина электросварочная точечная	МТП-100	100 кВа	2	1	1	1	-	-	-	1	1	1		
23	Машина электросварочная шовная	МШП-200	200 кВа	1	1	-	-	1	1	1	-	-	-		
24	Машина электросварочная стыковая	МСПТ-25	25 кВа	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2		
25	Вентилятор	-	7	2	1	2	2	3	3	3	2	1	2		
26	Кран мостовой электрический	5т	24,2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
III. Механосборочное отделение															
27	Карусельный станок одностоечный	1541	28	1	1	1	-	1	1	-	-	1	-	1	6 и 7
28	Универсально-фрезерный Станок	675П	1,7	2	3	2	4	2	3	3	4	4	1		
29	Настольно-фрезерный станок	Ф-57М	0,6	3	2	4	3	5	6	3	6	2	7		
30	Зубофрезерный автомат	630А	0,5	1	2	1	3	2	1	2	3	1	3		

Окончание табл. 2.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
31	Поперечно-строгальный станок	736	2,8	2	2	3	3	2	3	2	1	2	1	10	6 и 7
32	Токарно-винторезный станок	ТВ-320	8	1	1	2	1	1	-	-	-	1	1		
33	Токарно-винторезный станок	1В61М	4,5	1	2	1	2	2	3	2	2	1	1		
34	Токарный многорезцовый полуавтомат	1А720	7	1	-	-	1	1	-	-	2	1	2		
35	Резьбонарезной станок	С-225	2,2	2	1	2	2	1	3	2	1	1	2		
36	Радиально-сверлильный станок	2А55	6,925	1	1	-	1	-	1	2	1	2	1		
37	Вертикально-сверлильный станок	2118А	1	2	3	1	2	4	2	5	3	3	2		
38	Вентилятор	-	4,5	2	1	3	2	2	3	3	1	1	2		
39	Кран-балка	-	7,3	1	2	1	1	2	1	2	1	1	2		
40	Таль электрическая	ТЭ-0,5	0,85	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1		
IV. Заточно-шлифовальный участок															
41	Наждачный станок	3326	1,7	2	3	2	2	3	2	1	1	1	2	8	5
42	Координатно-шлифовальный станок	2А420	0,25	3	2	3	3	2	4	1	2	3	4		
43	Резьбошлифовальный станок	5821	5,18	1	1	1	-	-	1	-	1	2	1		

## **2.4. Защита курсового проекта**

Полностью оформленный курсовой проект (пояснительная записка и чертежи) представляется студентом преподавателю в установленный учебным планом срок. После проверки преподавателем курсового проекта студент при необходимости дорабатывает его и защищает.

При защите выполненного курсового проекта студент должен сделать краткий доклад по результатам своей работы, ответить на вопросы, после чего объявляется результат (оценка) защиты. При неудовлетворительном результате защиты курсового проекта студент его дорабатывает, готовится к повторной защите и защищает в установленном порядке [9].

### 3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ОТДЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ

Рассмотрим основные обязательные пункты расчетно-пояснительной записки.

#### 3.1. Введение и общая характеристика цеха и требования к электроснабжению

В этом разделе должны быть отражены:

- особенности технологического процесса, режимы работы и требования к системе электроснабжения отдельных установок в отношении надежности;
- требования к бесперебойности электроснабжения цеха (классификация объектов электроснабжения по категориям);
- характеристика среды производственных помещений.

Классификацию по степени бесперебойности электроснабжения производственных отделений цеха и их характеристику среды необходимо свести в таблицы по примеру таблицы 3.1.

Таблица 3.1 – Классификация производственных помещений цеха по степени бесперебойности

№ по плану	Наименование отделения	Категория электропотребления	Производственная среда
1.	Ремонтное отделение	III	нормальная
2.	Столярный участок	III	нормальная

Согласно Правилам устройства электроустановок (ПУЭ) [1], приемники электроэнергии промышленных предприятий по требуемой степени бесперебойности электроснабжения подразделяются на три категории.

Электроприемники первой категории (I) – электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой опасность для жизни людей, угрозу для безопасности государства, значительный материальный ущерб, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства, объектов связи и телевидения.

Электроприемники второй категории (II) – электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

Электроприемники третьей категории (III) – все остальные электроприемники, не подпадающие под определения первой и второй категорий.

По средам цеха подразделяются на: нормальные (сухие), влажные, сырые, особо сырые, жаркие, пыльные, с химически активной или органической средой.

Сухие помещения – помещения, в которых относительная влажность воздуха не превышает 60 %. При отсутствии в таких помещениях условий, указанных в жарких, пыльных помещениях, а также в помещениях с химически активной средой, они называются нормальными.

Влажные помещения – помещения, в которых относительная влажность воздуха более 60 %, но не превышает 75 %.

Сырые помещения – помещения, в которых относительная влажность воздуха превышает 75 %.

Особо сырые помещения – помещения, в которых относительная влажность воздуха близка к 100 % (потолок, стены, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой).

Жаркие помещения – помещения, в которых под воздействием различных тепловых излучений температура превышает постоянно или периодически (более 1 сут.)  $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$  (помещения с сушилками, обжигательными печами, котельные).

Пыльные помещения – помещения, в которых по условиям производства выделяется технологическая пыль, которая может оседать на токоведущих частях, проникать внутрь машин, аппаратов и т. п. Пыльные помещения разделяются на помещения с токопроводящей пылью и помещения с нетокопроводящей пылью.

Помещения с химически активной или органической средой – помещения, в которых постоянно или в течение длительного времени содержатся агрессивные пары, газы, жидкости, образуются отложения или плесень, разрушающие изоляцию и токоведущие части электрооборудования [1].

По режиму работы оборудование разделяем на А – повторно-кратковременный и Б – продолжительный.

## **3.2. Расчет электрических нагрузок в электроустановках напряжением до 1 кВ методом упорядоченных диаграмм**

### **3.2.1. Определение и обозначения основных величин**

Для представления электрических величин и коэффициентов, характеризующих электропотребление, принята следующая система обозначений: показатели электропотребления индивидуальных электроприемников (ЭП) обозначаются строчными буквами, а групп ЭП – прописными буквами латинского или греческого алфавита ( $P, Q, I; p, q, i$ ).

Номинальная (установленная) мощность одного ЭП – это мощность, обозначенная на заводской табличке или в его паспорте. Применительно к

агрегату с многодвигательным приводом под номинальной мощностью подразумевают наибольшую сумму номинальных мощностей, одновременно работающих двигателей агрегата.

Групповая номинальная (установленная) активная мощность – сумма номинальных активных мощностей группы ЭП:

$$P_H = \sum_1^n p_H, \quad (3.1)$$

где  $n$  – число электроприемников.

Номинальная реактивная мощность  $g_H$  одного ЭП – реактивная мощность, потребляемая из сети или отдаваемая в сеть при номинальной активной мощности и номинальном напряжении, а для синхронных двигателей – при номинальном токе возбуждения.

Групповая номинальная реактивная мощность – алгебраическая сумма номинальных реактивных мощностей, входящих в группу ЭП:

$$Q_H = \sum_1^n g_n = \sum_1^n p_H \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (3.2)$$

где  $\operatorname{tg} \varphi$  – паспортное или справочное значение коэффициента реактивной мощности.

Групповая средняя активная или реактивная мощность за период времени  $T$  определяется как частное от деления расхода активной ( $W_a$ ) или реактивной ( $W_p$ ) энергии всех входящих в группу ЭП на длительность периода:

$$P_c = \frac{W_a}{T}; \quad Q_c = \frac{W_p}{T}. \quad (3.3)$$

Средняя активная (или реактивная) мощность группы равна сумме средних активных (или реактивных) мощностей, входящих в группу ЭП (кроме резервных):

$$P_c = \sum_1^n P_c; \quad Q_c = \sum_1^n g_c. \quad (3.4)$$

В дальнейшем под термином «средняя активная (или реактивная) мощность» имеется в виду наибольшее возможное значение средней активной (или реактивной) мощности за наиболее загруженную смену продолжительностью  $T = T_{см}$  ( $T_{см}$  – продолжительность смены), то есть смену с наибольшим потреблением энергии группой ЭП, цехом или предприятием в целом.

Коэффициентом использования отдельного электроприемника ( $k_H$ ) или группы ЭП ( $K_H$ ) называется отношение средней активной мощности отдельного ЭП ( $p_c$ ) или группы ЭП ( $P_c$ ) за наиболее загруженную смену к ее номинальному значению:

$$k_u = \frac{P_c}{P_H}. \quad (3.5)$$

В справочных материалах, содержащих расчетные коэффициенты для определения электрических нагрузок промышленных предприятий, справочные значения коэффициентов использования приведены по характерным (однородным) категориям ЭП. К одной характерной категории относятся ЭП, имеющие одинаковое технологическое назначение, а также одинаковые верхние границы возможных значений  $k_u$  (табл. 3.2) и коэффициентов реактивной мощности  $\operatorname{tg} \varphi$ . Например, сверлильные станки относятся к характерной категории «металлорежущие станки», которая представлена в справочных материалах расчетными коэффициентами  $k_u = 0,14$  и  $\operatorname{tg} \varphi = 2,3$ . Это означает, что активная и реактивная средняя (за максимально загруженную систему) мощность любого станка, относящегося к указанной характерной категории может быть выше  $P_c = P_H \cdot k_u$  и  $g_c = P_H \cdot k_u \cdot \operatorname{tg} \varphi$  с вероятностью превышения не более 0,05.

Для группы, состоящей из ЭП различных категорий (т.е. с разными  $k_u$ ), средневзвешенный коэффициент использования определяется по формуле:

$$K_n = \frac{\sum_1^n k_u \cdot p_n}{\sum_1^n p_H} = \frac{\sum_1^n p_c}{\sum_1^n p_H},$$

где  $n$  – число характерных категорий ЭП, входящих в данную группу.

Эффективное число электроприемников  $n_{\text{э}}$  – это такое число, однородных по режиму работы электроприемников одинаковой мощности, которое обуславливает те же значения расчетной нагрузки, что и группа различных по мощности и режиму работы электроприемников.

Величина  $n_{\text{э}}$  определяется по выражению:

$$n_{\text{э}} = \frac{\left( \sum_{i=1}^m n_i \cdot P_{H \cdot i} \right)^2}{\sum n_i \cdot P_{H \cdot i}^2}. \quad (3.6)$$

Таблица 3.2 – Коэффициенты использования и коэффициенты мощности некоторых механизмов и аппаратов

Электроприемники	Коэффициенты	
	использования ( $k_u$ )	мощности ( $\cos \varphi$ )
1. Metallорежущие станки мелкосерийного производства, мелкие токарные, строгальные, долбежные, фрезерные, сверлильные, карусельные, точильные и др.	0,12-0,14	0,4-0,5
2. То же при крупносерийном производстве	0,16	0,5-0,6

Электроприемники	Коэффициенты	
	использования ( $k_u$ )	мощности ( $\cos\varphi$ )
3. То же при тяжелом режиме работы: штамповочные прессы, автоматы, револьверные, обдирочные, зубофрезерные, а также крупные токарные, строгальные, фрезерные, карусельные, расточные станки	0,17	0,65
4. То же с особо тяжелым режимом работы: приводы молотов, ковочных машин, волочильных станков, очистительных барабанов и др.	0,2-0,24	0,65
5. Многошпиндельные автоматы	0,2	0,6
6. Краны мостовые, грейферные, кран-балки, тельферы, лифты	0,15-0,35	0,5
7. Вентиляторы, санитарно-гигиеническая вентиляция	0,65-0,8	0,8
8. Насосы, компрессоры, двигатель-генераторы	0,7	0,85
9. Сварочные трансформаторы дуговой электросварки	0,2	0,4
10. Печи сопротивления, сушильные шкафы, нагревательные приборы	0,75-0,8	1,0
11. Индукционные печи низкой частоты	-	0,35
12. Индукционные печи высокой частоты	-	0,65-0,8
13. Элеваторы, транспортеры, конвейеры	0,4-0,55	0,75
14. Дуговые сталеплавильные печи	0,5-0,75	0,8-0,9
15. Гальванические установки	0,4-0,5	0,6-0,8

Если найденное по этой формуле число  $n_3$  окажется больше  $n$ , то следует принимать  $n_3 = n$ . В случае, если  $P_{н.макс}/P_{н.мин} \leq 3$ , также принимается  $n_3 = n$ .

Расчетная реактивная мощность определяется следующим образом:

в зависимости от значения  $n_3$ :

$$\text{при } n_3 \leq 10, Q_p = 1.1 \sum_{i=1}^{n_3} k_{ui} p_{Hi} \operatorname{tg} \varphi_i, \quad (3.7)$$

$$\text{при } n_3 \geq 10, Q_p = \sum_{i=1}^{n_3} k_{ui} p_{Hi} \operatorname{tg} \varphi_i, \quad (3.8)$$

где  $\operatorname{tg} \varphi_i$  – коэффициент реактивной мощности  $i$ -го электроприемника, принимаемый по табл. 3.2 по значению  $\cos \varphi$ .

При определении  $p_n$  для многодвигательных приводов учитываются одновременно работающие электродвигатели данного привода.

Для электродвигателей с повторно-кратковременным режимом работы их номинальная мощность приводится к длительному режиму ( $PВ = 100 \%$ ).

для двигателей повторно-кратковременного режима:

$$P_y = \sqrt{PВ} \cdot P_{н.п}; \quad (3.9)$$

для трансформаторов электропечей:

$$P_y = S_n \cdot \cos \varphi_n; \quad (3.10)$$

для трансформаторов сварочных машин и сварочных трансформаторов ручной сварки:

$$P_y = \sqrt{PВ} \cdot S_n \cdot \cos \varphi_n, \quad (3.11)$$

где  $PВ$  – номинальная (паспортная) продолжительность включения, отн. ед.;

$P_{н.п}$  – паспортная мощность электродвигателя при относительной номинальной продолжительности включения, кВт;

$S_n$  – паспортная мощность трансформатора, кВ·А;

$\cos \varphi_n$  – коэффициент мощности электропечи, сварочного аппарата или сварочного трансформатора при номинальных условиях.

При включении однофазного ЭП на фазное напряжение он учитывается как эквивалентный трехфазный ЭП номинальной мощностью:

$$p_n = 3p_{н.о}, \quad q_n = 3q_{н.о}, \quad (3.12)$$

где  $p_{н.о}$ ,  $q_{н.о}$  – активная и реактивная мощности однофазного ЭП.

При включении однофазного ЭП на линейное напряжение он учитывается как эквивалентный ЭП номинальной мощностью:

$$p_n = \sqrt{3}p_{н.о}; \quad q_n = \sqrt{3}q_{н.о} \text{ – для одного электроприемника}; \quad (3.13)$$

$$p_n = 3p_{н.о}; \quad q_n = 3q_{н.о} \text{ – для нескольких электроприемников.}$$

При наличии группы однофазных ЭП, которые распределены по фазам с неравномерностью не выше 15 % по отношению к общей мощности (трехфазных и однофазных ЭП в группе), они могут быть представлены в расчете как эквивалентная группа трехфазных ЭП с той же суммарной номинальной мощностью.

В случае превышения указанной неравномерности номинальная мощность эквивалентной группы трехфазных ЭП принимается равной тройному значению мощности наиболее загруженной фазы [4, 9].

К расчетной активной и реактивной мощности силовых ЭП напряжением до 1 кВ должны быть при необходимости добавлены расчетные осветительные нагрузки  $P_{p.o}$  и  $Q_{p.o}$ .

Значение токовой расчетной нагрузки, по которой выбирается сечение линии по допустимому нагреву, определяется по выражению:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_H}, \quad (3.14)$$

где  $S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}$  полная расчетная мощность узла нагрузки, кВА.

Расчетная мощность  $P_p$ ,  $Q_p$  – это мощность, соответствующая такой неизменной токовой нагрузке  $I_p$ , которая эквивалентна фактической изменяющейся во времени нагрузке по возможному наибольшему тепловому воздействию на элемент системы электроснабжения. Вероятность превышения фактической нагрузки над расчетной не превышает 0,05 на интервале осреднения, длительность которого принята равной трем постоянным времени нагрева ( $3T_0$ ) элемента системы электроснабжения, через которые передается ток нагрузки (кабель, провод, шинопровод, трансформатор и т. д.).

Для оценочных ЭП расчетная мощность принимается равной номинальной. Для одиночных ЭП повторно-кратковременного режима расчетная мощность принимается равной номинальной мощности, приведенной к длительному режиму.

Коэффициентом расчетной мощности ( $K_p$ ) называется отношение расчетной активной мощности  $P_p$  к значению средней мощности  $P_c$  группы ЭП с эффективным числом ЭП  $n/\varepsilon \geq 2$ :

$$K_p = \frac{P_p}{P_c}. \quad (3.15)$$

Коэффициент расчетной мощности зависит от эффективного числа электроприемников, средневзвешенного коэффициента использования, а также от постоянной времени нагрева сети, для которой производится расчет электрических нагрузок.

$T_0 = 10$  мин – для сетей напряжением до 1 кВ, питающих распределительные шинопроводы, пункты, сборки, щиты. Значения  $K_p$  для этих сетей принимаются по табл. 3.4;  $T_0 = 2,5$  часа – для магистральных шинопроводов и цеховых трансформаторов. Значение  $K_p$  для этих сетей принимается по табл. 3.5;  $T_0 \geq 30$  мин – для кабелей напряжением 6 кВ и выше, питающих цеховые трансформаторные подстанции и распределительные устройства. Расчетная мощность для этих элементов определяется при  $K_p = 1$  [9].

Коэффициентом спроса ( $K_c$ ) группы ЭП называется отношение расчетной активной мощности к номинальной мощности группы:

$$K_c = \frac{P_p}{P_H}. \quad (3.16)$$

Таблица 3.3 – Значения коэффициентов расчетной нагрузки  $K_p$  для питающих сетей напряжением до 1000 В

$K_H$ $P_0$	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
2	8,0	5,3	4,0	2,66	2,0	1,6	1,33	1,14	1,0
3	4,52	3,2	2,55	1,9	1,56	1,41	1,28	1,14	1,0
4	3,42	2,47	2,0	1,53	1,3	1,24	1,14	1,08	1,0
5	2,84	2,1	1,78	1,34	1,16	1,15	1,08	1,03	1,0
6	2,64	1,96	1,62	1,28	1,14	1,12	1,06	1,01	1,0
7	2,5	1,86	1,54	1,25	1,12	1,10	1,04	1,0	1,0
8	2,37	1,78	1,48	1,19	1,10	1,08	1,02	1,0	1,0
9	2,26	1,7	1,43	1,16	1,08	1,07	1,01	1,0	1,0
10	2,18	1,65	1,39	1,13	1,06	1,05	1,0	1,0	1,0
11	2,1	1,6	1,35	1,1	1,05	1,04	1,0	1,0	1,0
12	2,04	1,56	1,32	1,08	1,04	1,03	1,0	1,0	1,0
13	1,98	1,52	1,29	1,06	1,03	1,02	1,0	1,0	1,0
14	1,93	1,49	1,27	1,05	1,02	1,01	1,0	1,0	1,0
15	1,9	1,46	1,25	1,03	1,01	1,0	1,0	1,0	1,0
16	1,85	1,43	1,23	1,02	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
17	1,81	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
18	1,78	1,38	1,19	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
19	1,75	1,36	1,17	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	1,72	1,34	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
21	1,7	1,32	1,15	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
22	1,66	1,31	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
23	1,65	1,29	1,12	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
24	1,62	1,28	1,11	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	1,6	1,27	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
30	1,51	1,21	1,05	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
35	1,44	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
40	1,4	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
45	1,35	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
50	1,3	1,07	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
60	1,25	1,03	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
70	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
80	1,16	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
90	1,13	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
100	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблица 3.4 – Значения коэффициентов максимума  $K_M$  для питающих сетей напряжением до 1 кВ для постоянной времени нагрева  $T_o = 10$  мин

Эффективное число электроприемников $n_э$	Коэффициент максимума $K_M$ при $K_{II}$									
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
4	3,43	3,11	2,64	2,14	1,87	1,65	1,46	1,29	1,14	1,05
5	3,23	2,87	2,42	2,0	1,76	1,57	1,41	1,26	1,12	1,04
6	3,04	2,64	2,24	1,88	1,66	1,51	1,37	1,23	1,1	1,04
7	2,88	2,48	2,1	1,8	1,58	1,45	1,33	1,21	1,09	1,04
8	2,72	2,31	1,99	1,72	1,52	1,4	1,3	1,2	1,08	1,04
9	2,56	2,2	1,9	1,65	1,47	1,37	1,28	1,18	1,08	1,03
10	2,42	2,1	1,84	1,6	1,43	1,34	1,26	1,16	1,07	1,03
12	2,24	1,96	1,75	1,52	1,36	1,28	1,23	1,15	1,07	1,03
16	1,99	1,77	1,61	1,41	1,28	1,23	1,18	1,12	1,07	1,03
20	1,84	1,65	1,5	1,34	1,24	1,2	1,15	1,11	1,06	1,03
25	1,71	1,55	1,4	1,28	1,21	1,17	1,14	1,1	1,06	1,03
30	1,62	1,46	1,34	1,24	1,19	1,16	1,13	1,1	1,05	1,03
40	1,5	1,37	1,27	1,19	1,15	1,13	1,12	1,09	1,05	1,02
50	1,4	1,3	1,23	1,16	1,14	1,11	1,1	1,08	1,04	1,02
60	1,32	1,25	1,19	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,03	1,02
100	1,21	1,17	1,12	1,1	1,08	1,08	1,07	1,05	1,02	1,02
140	1,17	1,15	1,11	1,08	1,06	1,06	1,06	1,05	1,02	1,02
200	1,15	1,12	1,09	1,07	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01	1,01
240	1,14	1,11	1,08	1,07	1,05	1,05	1,05	1,03	1,01	1,01
300	1,12	1,1	1,07	1,06	1,04	1,04	1,04	1,03	1,01	1,01

Таблица 3.5 – Значения коэффициентов максимума  $K_M$  на шинах низкого напряжения цеховых трансформаторов и для магистральных шинопроводов напряжением до 1 кВ

$n_э$	Коэффициент использования $K_{II}$							
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7 и более
1	8,00	5,33	4,00	2,67	2,00	1,60	1,33	1,14
2	5,01	3,44	2,69	1,9	1,52	1,24	1,11	1,0
3	2,94	2,17	1,8	1,42	1,23	1,14	1,08	1,0
4	2,28	1,73	1,46	1,19	1,06	1,04	1,0	0,97
5	1,31	1,12	1,02	1,0	0,98	0,96	0,94	0,93
6-8	1,2	1,0	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
9-10	1,1	0,97	0,91	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
10-25	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,9	0,9
25-50	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,8	0,85	0,85
Более 50	0,65	0,65	0,65	0,7	0,7	0,75	0,8	0,8

### 3.2.2. Порядок расчета электрических нагрузок

Электрические нагрузки являются исходными данными для решения комплекса вопросов при проектировании системы электроснабжения цеха и в целом промышленного предприятия. Определение электрических нагрузок является первым этапом проектирования любой системы электроснабжения и производится для выбора трансформаторов цеховых ТП, токоведущих элементов, компенсирующих установок, защитных устройств и т. д.

Исходными данными для расчета являются:

- план объекта с расположением технологического оборудования и электроприемников;
- количество электроприемников;
- номинальные (установленные) мощности электроприемников.

Для определения расчетных (максимальных) нагрузок на различных ступенях системы электроснабжения используется таблица по форме Ф636-92 [7] (табл. 3.6).

Порядок заполнения таблицы следующий.

Выделяются электроприемники, питающиеся от рассматриваемого узла системы электроснабжения – шинпровода, распределительного пункта, трансформатора трансформаторной подстанции. В графу 1 табл. 3.6 записываются наименование узла нагрузки, отдельные электроприемники или группы электроприемников с одинаковыми значениями  $K_H$  и  $\cos\varphi$ , запитанные от данного узла нагрузки.

В графе 2 указывается количество рабочих электроприемников.

В графу 3 по каждой подгруппе электроприемников записываются: при одинаковой мощности электроприемников – номинальная установленная мощность в кВт одного электроприемника, а при электроприемниках различной мощности – номинальные мощности наименьшего и наибольшего. Установленные мощности должны быть приведены к ПВ = 100 %.

В графе 4 приводится суммарная установленная мощность электроприемников всей подгруппы.

Графы 5 и 6. Значения коэффициентов использования  $K_H$  и мощности  $\cos\varphi$  находятся по табл. 3.2. и справочникам.

Графа 7. Произведение суммарной установленной мощности электроприемников всей подгруппы и коэффициента использования:

$$K_H (\text{из графы 5}) \cdot P_H (\text{из графы 4}). \quad (3.17)$$

Графа 8. Произведение суммарной установленной мощности электроприемников всей подгруппы, коэффициента использования и коэффициента мощности:

$$K_H \cdot P_H (\text{из графы 7}) \cdot \text{tg}\varphi (\text{из графы 6}). \quad (3.18)$$

Графа 9. Произведение количества рабочих электроприемников и квадрата номинальной установленной мощности одного электроприемника:

$$n (\text{из графы 2}) \cdot p_H^2 (\text{из графы 3, возведенное в квадрат}). \quad (3.19)$$

После определения значений в графах 7 и 8 по отдельным электроприемникам и подгруппам электроприемников производится расчет для группы электроприемников рассматриваемого узла нагрузки [4].

Таблица 3.6 – Расчетные нагрузки на различных ступенях системы электроснабжения

Исходные данные				Расчетные величины			Эффективное число ЭП** $n_{\Sigma}$	Коэффициент расчетной нагрузки $K_P$	Расчетная мощность			Расчетный ток, А $I_P$		
по заданию технологов		по справочным данным		$K_{II}$	$K_{II} \cdot P_H \cdot \text{tg}\varphi$	$n \cdot P_H^2$			активная, кВт $P_P$	реактивная, квар** $Q_P$	полная, кВА $S_P$			
Наименование ЭП	Количество ЭП, шт.* $n$	Номинальная (установленная) мощность, кВт* одно-го ЭП $P_H$ общая $P_H$					коэффициент использования $K_{II}$	коэффициент реактивной мощности $\cos\varphi/\text{tg}\varphi$						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ШМА 1/1														
ШРА 1/1-1														
Раздаточные печи	3	94	282	0,7	0,95/0,33	197,4	64,9	26508						
Кокильные станки	6	11,1	66,6	0,21	0,9/0,484	14	6,8	739						
<b>Итого по ШРА 1/1-1</b>	9	94/11,1	348,6	0,61	-/0,339	211,4	71,7	27247	4	1,12	236,8	78,8	249,6	379
ШРА 1/1-2														
Задвижки	4	8,25	33	0,7	0,8/0,75	23,1	17,3	272						
Вентильная система	1	17	17	0,7	0,8/0,75	11,9	8,9	289						
Раздаточные печи	3	50	150	0,7	0,95/0,33	105	34,5	7500						
Кокильные станки	6	11,1	66,6	0,21	0,9/0,484	14	6,8	739						
<b>Итого по ШРА 1/1-2</b>	14	50/8,25	266,6	0,58	-/0,438	154	67,5	8800	8	1,03	158,6	74,3	175,5	266

Окончание табл. 3.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ШРА 1/1-3														
Раздаточные печи	2	108	216	0,7	0,95/0,33	151,2	49,7	23328						
Карусельный станок	2	8,5	17	0,76	1,0/0	12,9	0	144,5						
<b>Итого по ШРА 1/1-3</b>	<b>4</b>	<b>108/8,5</b>	<b>233</b>	<b>0,7</b>	<b>-/0,303</b>	<b>164,1</b>	<b>49,7</b>	<b>23473</b>	<b>2</b>	<b>1,14</b>	<b>187,1</b>	<b>54,7</b>	<b>194,9</b>	<b>296</b>
ШРА 1/1-4														
Стержневые машины	12	19,2/22	245,6	0,8	0,8/0,75	196,5	147,4	5027						
Бегуны	1	18	18	0,7	0,8/0,75	12,6	9,5	324						
Тележка	1	4	4	0,55	0,75/0,88	2,2	1,9	16						
Автоматическая линия	1	37	37	0,55	0,75/0,88	20,4	17,9	1369						
Тельфер	1	2,2	2,2	0,1	0,5/1,17	0,2	0,3	5						
Агрегатный станок	1	40	40	0,7	0,8/0,75	28,0	21,0	1600						
Вентильная система	1	22	22	0,7	0,8/0,75	15,4	11,6	484						
<b>Итого по ШРА 1/1-4</b>	<b>18</b>	<b>40/ 2,2</b>	<b>368,8</b>	<b>0,75</b>	<b>-/0,76</b>	<b>275,3</b>	<b>209,6</b>	<b>8825</b>	<b>15</b>	<b>1</b>	<b>275,3</b>	<b>209,5</b>	<b>345,9</b>	<b>526</b>
<b>Итого по ШМА 1/1</b>	<b>45</b>	<b>108/2,2</b>	<b>1217</b>	<b>0,66</b>	<b>-/0,5</b>	<b>804,8</b>	<b>398,5</b>	<b>-</b>	<b>22</b>	<b>0,9</b>	<b>724,3</b>	<b>362,2</b>	<b>809,8</b>	<b>1230</b>
<b>Итого по цеху</b>	<b>106</b>	<b>120/0,5</b>	<b>2456</b>	<b>0,56</b>	<b>-/0,46</b>	<b>1378</b>	<b>634,4</b>	<b>-</b>	<b>40</b>	<b>0,83</b>	<b>1143,7</b>	<b>526,1</b>	<b>1258,9</b>	<b>1913</b>

\* Резервные ЭП, а также ЭП, работающие кратковременно, в расчете не учитываются.

\*\* При расчете электрических нагрузок для магистральных шинопроводов, на шинах цеховых трансформаторных подстанций, в целом по цеху, корпусу, предприятию:

допускается определять  $n_{\Sigma}$  по выражению:  $n_{\Sigma} = 2 \sum P_H / P_{H, \max}$ ;

расчетная реактивная мощность принимается равной  $Q_P = K_P K_{II} P_H \operatorname{tg} \varphi = P_P \operatorname{tg} \varphi$ .

**Итоговая строка «Итого по ШРА».** В графе 2 итоговой строки суммируется общее число электроприемников данной группы. В графе 3 записываются номинальные мощности наибольшего и наименьшего электроприемников группы. В графе 4 – суммарная номинальная мощность всей группы. Для заполнения граф 5 и 6 итоговой строки необходимо предварительно подвести итоги по графам 7 и 8 – просуммировать по вертикали полученные значения. По полученным данным определяется среднее значение коэффициента использования по группе (графа 5):

$$K_{Исп} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{Иi} P_{Hi} \text{ (из графы 7)}}{\sum_{i=10}^m P_{Hi} \text{ (из графы 4)}} \quad (3.20)$$

и среднее значение  $\text{tg } \varphi_{CP}$  (графа 6):

$$\text{tg } \varphi_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{Иi} P_{Hi} \text{tg } \varphi_i \text{ (из графы 8)}}{\sum_{i=1}^n K_{Иi} P_{Hi} \text{ (из графы 7)}}. \quad (3.21)$$

Графа 9. Сумма по вертикали полученных значений.

Графа 10. Определяется приведенное число электроприемников  $n_{\Sigma}$  рассматриваемой группы.

Графа 11. Коэффициент расчетной нагрузки  $K_P$  находится по соответствующей кривой  $K_P = f(n_{\Sigma}, K_{Исп})$  или таблице, при этом коэффициент  $K_{Исп}$  берется из графы 5 итоговой строки, а число  $n_{\Sigma}$  – из графы 10.

Графа 12. Расчетная активная нагрузка трехфазных электроприемников, подключенных к ШРА:

$$P_P = K_P \text{ (из графы 11)} \cdot \sum_{i=1}^n K_{Иi} \text{ (из графы 7)}. \quad (3.22)$$

Графа 13. Расчетная реактивная нагрузка трехфазных электроприемников узла нагрузки вычисляется по одному из выражений (3.2) или (3.3).

В графы 14 и 15 записываются полная расчетная нагрузка  $S_P$ , определяемая по результатам пунктов 12 и 13 и расчетный ток  $I_P$  для электроприемников рассчитываемого узла нагрузки:

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} U_H}. \quad (3.23)$$

**Итоговая строка «Итого по ШМА»** получается соответствующей обработкой расчетных данных итоговых строк по всем ШРА, а именно:

- суммируются номинальные мощности  $P_H$ , произведения  $K_{Иi} \cdot P_{Hi}$  и  $K_{Иi} \cdot P_{Hi} \cdot \text{tg } \varphi_i$ ,
- вычисляются средние по ШМА значения коэффициентов  $K_{Исп}$ ,  $\text{tg } \varphi_{CP}$ ;

- определяется приведенное число электроприемников  $n_{\Sigma}$ , подключенных к магистральному шинопроводу;
- находится значения коэффициента расчетной нагрузки  $K_P$  как функция  $K_P = f(n_{\Sigma}, K_{ИСП})$ ;
- вычисляется полная расчетная нагрузка ШМА  $S_P$  и расчетный ток  $I_P$ .

Полученные данные используются для выбора коммутационных аппаратов, питающих кабелей, шинопроводов отделения цеха предприятия.

Подобным образом рассчитываются электрические нагрузки по остальным магистральным шинопроводам, распределительным пунктам и щитам управления 0,4 кВ, а также щитам низкого напряжения цеховых трансформаторных подстанций ТП 6...10/0,4 кВ.

Осветительная нагрузка цеха записывается отдельной строкой.

Для определения расчетной нагрузки в целом по цеху предприятия суммируются номинальные активные мощности по всем ТП, произведения  $K_{И} \cdot P_{Н}$  и  $K_{И} \cdot P_{Н} \cdot \operatorname{tg} \varphi$  и вычисляются средние для цеха значения коэффициентов  $K_{ИСП}$ ,  $\operatorname{tg} \varphi_{СР}$ ,  $\cos \varphi_{СР}$ . Далее определяются с учетом осветительной нагрузки полная расчетная мощность  $S_P$  и расчетный ток  $I_P$  цеха.

Расчетные данные  $P_P$ ,  $Q_P$ ,  $S_P$ ,  $I_P$  используются в дальнейшем для выбора цеховых трансформаторов, а также коммутационных и защитных аппаратов и питающих линий.

Пример расчета электрических нагрузок трехфазных электроприемников по цеху приведен в табл. 3.6 [4].

### 3.2.3. Расчет нагрузок осветительных приемников

Расчетная нагрузка осветительных приемников цеха определяется по установленной мощности и коэффициенту спроса, кВт:

$$P_{p.o} = P_{н.o} \cdot K_{с.o}, \quad (3.24)$$

где  $K_{с.o}$  – коэффициент спроса для освещения, принимаемый по справочным данным [4];

$P_{н.o}$  – установленная мощность приемников электрического освещения, которая может быть определена по формуле, кВт:

$$P_{p.o} = P_{уд.o} \cdot F, \quad (3.25)$$

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

$P_{уд.o}$  – удельная нагрузка, Вт/м<sup>2</sup> [9].

Полная расчетная мощность силовых и осветительных приемников без учета КУ определяется из соотношения, кВт · А:

$$S_p = \sqrt{(P_p + P_{p.o})^2 + Q_p^2}. \quad (3.26)$$

Приемники напряжением выше 1000 В учитываются отдельно.

Суммарные расчетные активные и реактивные нагрузки потребителей 0,38/0,22 и 6–10 кВ определяются суммированием [2, 3].

### Вопросы для самопроверки

1. Дайте классификацию приемников электроэнергии по уровню напряжения.
2. Дайте классификацию приемников электроэнергии по режиму работы.
3. Назовите категории приемников электроэнергии по степени бесперебойности в электроснабжении.
4. Назовите характерные приемники электроэнергии на промышленных предприятиях.
5. Что характеризует коэффициент загрузки? Дайте определение.
6. Что понимается под коэффициентом использования ( $K_{и}$ )?
7. Что такое эффективное число электроприемников ( $n_{э}$ )?
8. Как осуществляется приведение к длительному режиму приемников, работающих в кратковременном режиме?
9. Как определяется расчетная активная мощность ( $P_p$ )?
10. Как определяется расчетная реактивная мощность ( $Q_p$ )?
11. Как определяется полная расчетная мощность ( $S_p$ )?
12. Назовите порядок расчета электрических нагрузок.
13. Как осуществляется приближенный расчет осветительных нагрузок?

#### **4. ВЫБОР СХЕМЫ И КОНСТРУКТИВНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ВНУТРИЦЕХОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ**

Основной тенденцией в проектировании электроснабжения является сокращение протяженности сетей низшего напряжения путем максимального приближения высшего напряжения (трансформаторной подстанции) к потребителям электроэнергии.

Сети напряжением до 1 кВ подразделяются на питающие, прокладываемые от трансформаторной подстанции или вводного устройства до силовых пунктов, и распределительные к которым присоединяются электроприемники. В комплекс внутрицехового электроснабжения входят питающие и распределительные линии, РП напряжением до 1 кВ, аппаратура коммутации и защиты сетей и ответвлений к отдельным электроприемникам. Питающие и распределительные сети могут быть выполнены по радиальным, магистральным и смешанным схемам.

Радиальные схемы наиболее часто используются для питания отдельных относительно мощных электроприемников (двигатели компрессорных и насосных установок, печи и т. д.), а также в случаях, когда мелкие по мощности электроприемники распределяются по цеху неравномерно и сосредоточены группами на отдельных участках (ремонтные мастерские, отдельные участки с непоточным производством и т. п.). Радиальные схемы предпочтительны для взрывоопасных, пожароопасных и пыльных помещений. К достоинствам радиальных схем относятся: высокая надежность питания (выход из строя одной линии не сказывается на работе потребителей, питающихся от других линий), а также возможность автоматизации переключений и защиты (рис. 4.1.)

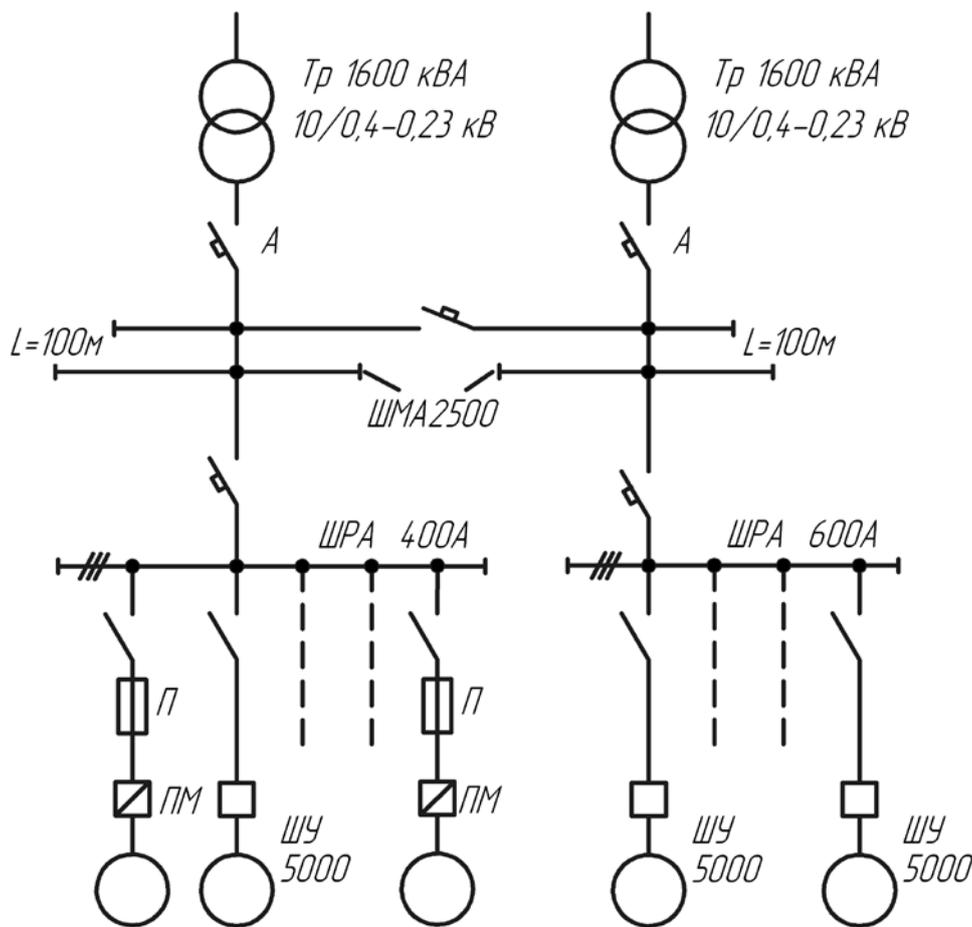


Рисунок 4.1 – Пример радиальной схемы распределения электроэнергии в сетях до 1000 В при однотономных подстанциях

При выполнении радиальных схем приходится сооружать распределительные щиты (пункты) с большим количеством защитных автоматов и большой щит низкого напряжения в ТП. Применение в радиальных сетях проводки, выполненной кабелем или проводом в трубах, ограничивает возможность перемещения оборудования при перестройке или реконструкции производства.

Магистральные схемы применяются для питания электроприемников, обслуживающих один агрегат и связанных единым технологическим процессом, когда прекращение питания любого из этих электроприемников вызовет необходимость прекращения работы всего технологического агрегата. Магистральные схемы находят широкое применение для питания большого числа мелких электроприемников, распределенных относительно равномерно по площади цеха (металлорежущие станки в цехах механической обработки металлов и другие потребители (рис. 4.2).

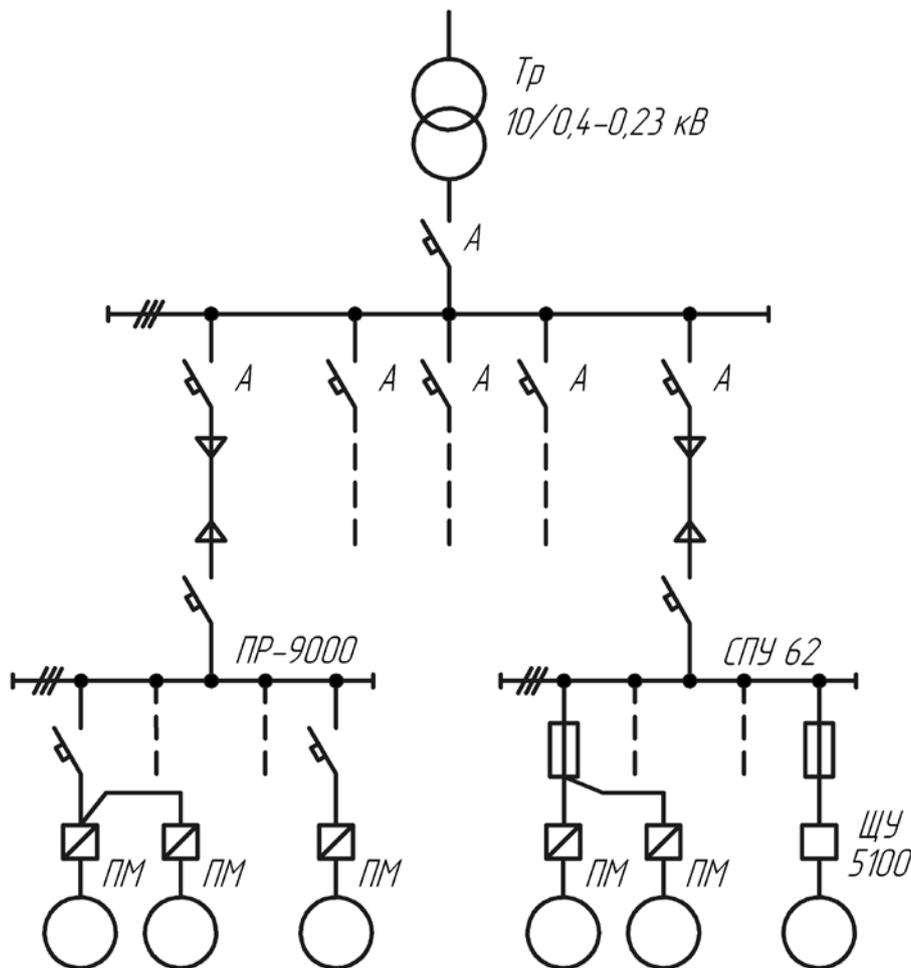


Рисунок 4.2 – Пример магистральной схемы распределения электроэнергии в сетях до 1000 В при двухтрансформаторных подстанциях

Магистральные схемы позволяют отказаться от применения громоздкого и дорогого распределительного устройства или щита на ТП. В этом случае возможно применение схемы блока трансформатор-магистраль, где в качестве питающей линии используются шинопроводы. Схемы, выполненные шинопроводами ШМА, не подвергаются переделке при перестановках оборудования и добавлении новых электроприемников в цехе в связи с изменениями технологии производства. С помощью нормально разомкнутых перемычек между магистралями разных ТП в местах их сближения можно обеспечить надежное питание потребителей 2-й и даже 1-й категории. Питающие магистрали подключаются к шинам шкафов КТП, специально сконструированным для магистральных схем. К питающим магистралям или при отсутствии их непосредственно к шинам КТП присоединяют распределительные магистрали, выполненные шинопроводами типа ШРА, к которым через автоматический выключатель или предохранитель подключаются электроприемники.

При проектировании следует, прежде всего, рассматривать применение схем блоков трансформатор-магистраль, по возможности без

распределительных устройств напряжением до 1 кВ и без распределительных щитов.

На практике наибольшее распространение находят смешанные схемы, сочетающие в себе элементы радиальных и магистральных схем. Смешанные схемы характерны для крупных цехов металлургических заводов, для литейных, кузнечных и механосборочных цехов машиностроительных заводов.

Питание электродвигателей передвижных цеховых подъемно-транспортных механизмов (кранов, кран-балок, тельферов) производится с помощью неизолированных проводников-троллеев. В зависимости от расчетной нагрузки троллейные линии питаются от щита ТП или от распределительного пункта, либо от магистрального или распределительного шинпровода. В начале или в конце ответвления к троллейной линии устанавливается рубильник или блок рубильник-предохранитель.

Для удобства эксплуатации при наличии двух и более кранов производится секционирование троллейных линий. Подвод питания лучше осуществлять к средней части секции троллея. Допустимо подводить питание к любой точке троллея, если это не противоречит условиям потери напряжения и рационально с точки зрения конструкции сети.

Конструктивно радиальные сети выполняются: а) изолированными проводами, продолженными открыто на изолирующих опорах по фермам перекрытий либо по колоннам цеха в высоте не менее 3,5 м; б) изолированными проводами в металлических трубах, проложенными по стенам цеха или в полу; в) кабелем, проложенным открыто по стенам цеха или каналах в полу. Распределительные пункты (шкафы) устанавливаются в местах, удобных для обслуживания, возможно ближе к центру нагрузок присоединяемых приемников. Конструктивно РП могут быть размещены на полу, у стен, колонн, на стенах, в нишах. Типы выпускаемых РП и шкафов приведены в справочниках и каталогах.

Магистральные сети могут быть выполнены магистральными шинпроводами типа ПГМА, проложенными на высоте не ниже 3,5 м, а также комплектными шинпроводами типа ШРА на высоте не ниже 2,5 м от уровня пола. Шинпровода крепятся к стенам, колоннам, фермам или прокладываются на стойках.

Присоединение приемников к шинпроводу производится с помощью ответвлений, выполненных кабелями или проводами, проложенными в трубах. В головной части ответвления на шинпроводе устанавливаются ответвительные коробки с предохранителями или автоматическими выключателями. Распределительные шинпровода подключаются к магистральным с помощью вводных коробок. При схемах блок трансформатор-магистраль магистральный токопровод может подключаться к трансформатору наглухо [5].

## 4.1. Цеховые трансформаторные подстанции

### 4.1.1. Схемы цеховых трансформаторных подстанций

Цеховые подстанции, питающие сеть НН, состоят из следующих обязательных частей: ввода (или вводов) высокого напряжения (ВН), трансформатора (или трансформаторов), распределительного устройства низкого напряжения (НН).

Кроме этих частей, в состав подстанции могут входить распределительное устройство ВН (если к подстанции подключены приемники ВН), конденсаторная батарея (если в цехе применяется централизованная компенсация реактивной мощности), вспомогательные устройства и подсобные помещения.

Число трансформаторов на цеховых подстанциях определяется соображениями приближения подстанций к центрам нагрузки и сокращения этим длины линий в сетях НН, надежности питания приемников. Оба требования могут решаться путем применения однотрансформаторных подстанций, питающих замкнутую сеть НН или имеющих между собой нормально отключенные линии взаимного резервирования. Применение однотрансформаторных комплектных подстанций, размещаемых в центрах нагрузок своих участков, позволяет добиться минимальных приведенных годовых затрат цеховых систем электроснабжения.

Ввод ВН в трансформаторные подстанции может осуществляться от радиальных или магистральных линий. В первом случае в конце линии не требуется коммутационных аппаратов, линия может наглухо соединяться с зажимами ВН трансформатора. Все коммутационные аппараты и защитные устройства блока «линия-трансформатор» находятся в начале линии (например, на ГПП предприятия). Для удобства проведения ремонтных работ и профилактических испытаний кабельных линий могут предусматриваться разъединители между кабелем и трансформатором. Для удобного заземления кабеля во время ремонтных работ разъединитель может снабжаться заземляющими ножами. Вместо заземляющих ножей разъединителя могут предусматриваться переносные заземления.

В случае подвода к подстанции магистральных линий в присоединении к трансформатору необходимо предусмотреть защитные и коммутационные аппараты. Коммутационные аппараты предусматриваются и в кабельной магистральной линии с обеих сторон присоединения.

Когда требуется отключение тока нагрузки со стороны ВН, вместо разъединителя применяется выключатель нагрузки. Для защиты от токов короткого замыкания устанавливается предохранитель.

Соединение трансформаторов со сборными шинами распределительного устройства НН может осуществляться следующим образом: без применения коммутационных аппаратов, если исключена подача напряжения на трансформатор со стороны НН, а отключение трансформатора в нормальных и в аварийных режимах производится аппаратами ВН; с применением

неавтоматических аппаратов (например, рубильников), если на трансформатор не может подаваться напряжение со стороны НН, то требуется ручное отключение нагрузки или ручное отделение трансформатора со стороны НН; с применением аппаратов защиты (плавких предохранителей или автоматических выключателей), если на трансформатор может быть подано напряжение со стороны НН.

Шины НН двухтрансформаторных подстанций секционированы. Если параллельная работа секций не предусматривается, то между секциями могут применяться неавтоматические аппараты. В противном случае между секциями необходимо предусмотреть защитные аппараты и, если требуется автоматическое включение резервного питания при аварии с одним трансформатором, автоматические выключатели с приводом включения.

Отходящие линии НН могут содержать неавтоматические выключатели с плавкими предохранителями, плавкие предохранители с механическим приводом (предохранители-рубильники и т. п.), резьбовые или другие вынимаемые предохранители без дополнительных аппаратов, неподвижные автоматические выключатели, автоматические выключатели на выдвигаемых или выкатных узлах [3, 9].

#### **4.1.2. Выбор подстанций и трансформаторов**

Выбор типа, мощности и других параметров подстанций, а также их расположение должны обуславливаться величиной и характером электрических нагрузок, и размещением их на генеральном плане предприятия. При этом должны учитываться также архитектурно-строительные и эксплуатационные требования, конфигурация производственных помещений, расположение технологического оборудования, условия окружающей среды, охлаждения, пожарной и электрической безопасности.

Подстанции, как правило, должны проектироваться с учетом эксплуатации их без постоянного дежурного персонала с применением простейших устройств автоматики, сигнализации и т. п.

При проектировании надлежит предусматривать, как правило, применение комплектного электрооборудования напряжением до и выше 1000 В.

При выборе типов, схем и исполнении комплектных устройств следует исходить из экономии дорогих и дефицитных аппаратов и защит в соответствии с действительной необходимостью их применения на проектируемом объекте.

Комплектные трансформаторные подстанции (КТП) и цеховые трансформаторы должны размещаться с наибольшим приближением к центру питаемой ими нагрузки, предпочтительно с некоторым смещением в сторону источника питания. При этом должны соблюдаться требования: минимума занимаемой полезной площади цеха, отсутствия помех производственному процессу, соблюдения электрической и пожарной безопасности.

В цехах с интенсивным движением транспорта, а также при насыщенности цеха оборудованием, готовыми изделиями и т. п. следует

предусматривать ограждения КТП. Применять съемные ограждения следует только перед фронтом управления аппаратами без проходов в пределах ограждения. Установку КТП мощностью 630 кВ·А и более следует предусматривать без крепления к полу.

Внутрицеховые подстанции должны применяться в многопролетных цехах большой ширины с расположением их преимущественно у колонн или возле постоянных внутрицеховых помещений так, чтобы не занимать площадей, обслуживаемых кранами. При шаге колонн, не достаточным для размещения между ними подстанции, допускается такое размещение их на площади цеха, при котором одна из колонн основного здания находится в пределах периметра помещения подстанций. При этом колонна должна быть рассчитана с пределом огнестойкости не менее 1,5 часа. При равномерном распределении и большой плотности нагрузки и при загруженности цеха технологическим оборудованием целесообразно выделять специальный пролет для размещения приспособлений.

Транспортировка узлов электрооборудования подстанций (транспортных блоков КТП) должна предусматриваться по возможности с помощью кранов или других цеховых транспортных приспособлений.

При выдаче чертежей строительных зданий на помещения, в которые устанавливаются трансформаторы, комплектные устройства и другое крупноблочное электрооборудование, должны указываться нагрузки от наиболее тяжелых частей этих устройств и места приложения этих нагрузок. Необходимо также указывать зоны передвижения этого электрооборудования при монтаже и эксплуатации.

Встроенные в цех или пристроенные к цеху закрытые трансформаторные подстанции или подстанции с открытой установкой трансформаторов возле наружной стены цеха должны предусматриваться, как правило, при недопустимости или затруднительности размещения внутрицеховых подстанций. Преимущественное применение должны найти цеховые КТП с наружной установкой трансформаторов возле цеха в случаях, когда этому не препятствуют требования архитектурного оформления цехов или обеспечения необходимых проездов и разрывов между зданиями, а также условия агрессивности среды.

В цехах с производствами категорий А, Б и В (по главе СНиП на проектирование производственных зданий промышленных предприятий) цеховые подстанции следует, как правило, размещать в специальных пролетах (коридорах), отделенных от производственных помещений несгораемыми стенами с пределом огнестойкости 1,5 часа и имеющих выход непосредственно наружу. В энергоемких корпусах следует, как правило, предусматривать специальные пролеты для размещения электрооборудования подстанций.

Применение отдельно стоящих (внешних) цеховых подстанций должно ограничиваться следующими случаями:

– питание от одной подстанции нескольких цехов, если центр их нагрузок находится вне пределов этих цехов, а пристройка подстанций к одному из цехов или же сооружение самостоятельных подстанций в каждом цехе экономически не оправданы;

– полная невозможность размещения подстанций внутри цехов или у их наружных стен по соображениям производственного характера [2, 3].

#### 4.1.3. Выбор числа и мощности трансформаторов цеховых ТП

Выбор трансформаторов цеховых ТП является важным этапом проектирования, существенно влияющим на основные технико-экономические показатели разрабатываемой схемы электроснабжения промышленного предприятия. В общем случае выбор трансформаторов представляет собой достаточно сложную задачу, которая может иметь не одно, а несколько решений, из которых следует выбрать наилучшее. Основой расчетов при этом служит, как правило, технико-экономическое сравнение вариантов.

**Методика выбора числа и мощности трансформаторов цеховых ТП с учетом компенсации реактивной мощности:**

1. Определяют активную и реактивную мощности трансформаторной подстанции путем суммирования расчетных активных и реактивных мощностей цеха, где установлена ТП.

2. Определяют расчетную мощность компенсирующих устройств.

3. По справочнику выбирают стандартное значение мощности КУ и определяют некомпенсированную мощность.

4. Определяют полную мощность трансформаторной подстанции.

5. Выбирают мощность трансформаторов и проверяют ее по коэффициентам загрузки в нормальном и аварийном режимах.

Определение расчетной мощности с учетом мощности КУ дает возможность уменьшить мощность трансформаторов и их количество.

1. Определяем потери мощности в трансформаторах ЦТП (данные для расчета берем из итога (см. табл. 3.6).

Потери активной и реактивной мощности на цеховых трансформаторных подстанциях рассчитываются по формулам:

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{ЦТП}} &= 0,02 \cdot S_{\text{p}\Sigma} \\ \Delta Q_{\text{ЦТП}} &= 0,1 \cdot S_{\text{p}\Sigma} \end{aligned} \quad (4.1)$$

где  $S_{\text{p}\Sigma}$  – полная расчетная мощность цеха.

2. Производим расчет нагрузки для всего цеха:

Расчетная активная мощность цеха, кВт:

$$P'_p = P_{\text{p}\Sigma} + P_{\text{po}} + \Delta P_{\text{ЦТП}}, \quad (4.2)$$

где  $P_{\text{p}\Sigma}$  – суммарная активная мощность;

$P_{\text{po}}$  – активная мощность осветительной нагрузки;

$\Delta P_{\text{ЦТП}}$  – потери активной мощности в трансформаторах ЦТП.

Расчетная реактивная мощность цеха, кВАр:

$$Q'_p = Q_{p\Sigma} + \Delta Q_{\text{ЦТП}}, \quad (4.3)$$

где  $\Delta Q_{\text{ЦТП}}$  – потери реактивной мощности в трансформаторах ЦТП.

Расчетная полная мощность, кВА:

$$S'_p = \sqrt{P'^2_p + Q'^2_p}, \quad (4.4)$$

В целях уменьшения потерь активной мощности и электроэнергии в трансформаторах и на всех высших ступенях электроснабжения реактивная нагрузка компенсируется при помощи статических конденсаторов.

Определим расчетную мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{\text{ку}} = P_p (\text{tg}\varphi_p - \text{tg}\varphi_n), \quad (4.5)$$

где  $\text{tg}\varphi_p = \frac{Q_{p\Sigma}}{P_{p\Sigma}}$  – соответствует средневзвешенному  $\cos\varphi$ ;

$\text{tg}\varphi_n = 0,35$  – соответствует нормативному значению  $\cos\varphi_n$ .

Выбираем компенсирующее устройство по справочным данным.

Определяем реактивную мощность после компенсации, кВАр:

$$Q''_p = Q'_p - n \cdot Q_{\text{ст.ку}}, \quad (4.6)$$

где  $Q_{\text{ст.ку}}$  – стандартная установочная мощность конденсаторной батареи;

$n$  – количество конденсаторных батарей.

Определяем полную мощность с учетом компенсации реактивной мощности, кВА:

$$S_p = \sqrt{P'^2_p + Q''^2_p}. \quad (4.7)$$

Определение расчетной мощности с учетом мощности КУ дает возможность уменьшить мощность трансформаторов и их количество.

Число цеховых трансформаторов определяется по формуле:

$$n_{\text{тр}} = \frac{S_p}{S_{\text{н.тр}} \cdot K_3}, \quad (4.8)$$

где  $S_{\text{н.тр}}$  – номинальная мощность трансформатора, кВ·А;

$S_p$  – расчетная мощность цеха, кВ·А;

$K_3$  – коэффициент загрузки трансформатора, который согласно СН – 174-75, рекомендуется применять в следующих пределах:

- для цехов с преобладающей нагрузкой I категории при двух трансформаторных подстанциях – 0,65 – 0,7;

- для цехов с преобладающей нагрузкой II категории при одно-трансформаторных подстанциях с взаимными резервированием – 0,7–0,8;
- для цехов с преобладающей нагрузкой II категории при возможности использования централизованного резерва трансформаторов и для цехов с нагрузками III категории – 0,9–0,95.

Определяется коэффициент загрузки трансформатора в нормальном режиме  $K_{з.н}$  – при двух трансформаторных ТП [4]:

$$K_{з.н} = \frac{S_p}{2S_{н.т}}, \quad (4.9)$$

где  $S_p$  – расчетная мощность цеха, кВ·А;

$S_{н.т}$  – номинальная мощность трансформатора, кВ·А.

Коэффициент загрузки в аварийном режиме:

$$K_{з.а} = \frac{S_p}{2S_{н.т}}. \quad (4.10)$$

где  $K_{з.ав} \geq 1,4$  – для обеспечения перегрузки трансформатора не более 40 % (масляных типа ТМ и ТМЗ) и не более 20 % (сухих типа ТСЗ)

Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов должен производиться на основании технико-экономических расчетов, исходя из удельной плотности нагрузок, полной расчетной нагрузки (корпуса, отделения, цеха) и других факторов.

Существующая связь между экономически целесообразной мощностью отдельного трансформатора  $S_{ЭТ}$  цеховой ТП и плотностью  $\sigma$  электрической нагрузки цеха представлена в табл. 4.1.

Таблица 4.1 – Зависимость экономически целесообразной мощности отдельного трансформатора  $S_{ЭТ}$  цеховой ТП и плотности  $\sigma$  электрической нагрузки цеха

Плотность электрической нагрузки цеха $\sigma$ , кВА/м <sup>2</sup>	< 0,05	0,05-0,1	0,1-0,2	0,2-0,3	> 0,3
Экономически целесообразная мощность одного трансформатора цеховой подстанции $S_{ЭТ}$ , кВА	400	630	1000	1600	1600 или 2500

Здесь принято:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_{ц}}, \quad (4.11)$$

где  $S_p$  – расчетная электрическая нагрузка цеха;

$F_{ц}$  – площадь цеха [4].

Величина  $\sigma$  рассчитывается в предположении, что электрические нагрузки распределены равномерно по площади цеха.

При плотности нагрузки напряжением 380 В до 0,2 кВ·А/м<sup>2</sup> целесообразно применять трансформаторы мощностью до 1000 кВ·А включительно, при плотности 0,2-0,3 кВ·А/м<sup>2</sup> – мощностью 1600 кВ·А.

При плотности более 0,3 кВ·А/м<sup>2</sup> целесообразность применения трансформаторов мощностью 1600 кВ·А или 2500 кВ·А должна определяться технико-экономическим расчетом [4].

## 4.2. Цеховые троллейные сети

### 4.2.1. Троллейные линии

Питание двигателей нормальных мостовых кранов, кран-балок, тельферов и передаточных тележек производится от троллейных линий жесткой конструкции, которые выполняются из стальных прокатных профилей с подпитки алюминиевой шиной или без нее, из алюминиевого сплава АДЗП, а также из закрытых комплектных троллейных шинопроводов.

Чаще всего при открытых троллейных линиях используются стальные уголки 50×50×5 и 63×63×5 без подпитки или с подпиточными алюминиевыми шинами сечением от 40×5 до 80×6 мм.

Для тяжелых кранов, в том числе для мощных кранов с высоковольтными двигателями применяются более мощные прокатные профили: швеллер, двутавровая балка или рельс с подпиточными шинами большего сечения.

Троллеи из прокатных профилей закрепляются на специальных кронштейнах, которые, в свою очередь, крепятся к подкрановым балкам.

В производственных помещениях, не содержащих токопроводящую пыль, применяются также закрытые троллейные шинопроводы типа ШТА с алюминиевыми троллеями и ШТМ с медными троллеями.

Основные технические данные троллейных шинопроводов приведены в табл. 4.2.

В зависимости от трассы троллейные линии комплектуются из различных прямых и угловых секций. Каждая секция шинопровода представляет собой стальной короб, имеющий снизу сплошную щель. Внутри короба в пазах изоляторов установлены троллеи.

Соединение секций между собой осуществляется муфтами. Для секционирования троллей применяется разъединительная секция, в середине которой троллеи имеют воздушный разрыв.

Таблица 4.2 – Основные технические данные троллейных шинопроводов

Показатели	ШТМ 73		ШТМ 72		ШТМ 75	
	ШТМ 73	ШТМ 72	ШТМ 75	ШТМ 73	ШТМ 72	ШТМ 75
Номинальный ток, А	250	400	250	400	250	400
Номинальное напряжение, В	660	660	660	660	660	660
Электродинамическая стойкость ударному току КЗ, кА	25	100	25	100	25	100
Номинальный ток токосъемной каретки, А	25	100	25	100	25	100
То же спаренных кареток, А	50	200	50	200	50	200
Сопротивление фазы, Ом/км:						
Активное	0,315	0,197	0,474	0,315	0,197	0,217
Индуктивное	0,180	0,120	0,150	0,180	0,120	0,170
Полное	0,360	0,230	0,496	0,360	0,230	0,254
Степень защиты	IP2	IP2	IP2	IP2	IP2	IP2
Климатическое исполнение	УЗ	УЗ	УЗ	УЗ	УЗ	УЗ

Компенсация температурных расширений производится в компенсационных секциях, которые устанавливаются через 25 м для шинопроводов 250 А и 50 м для шинопроводов 400 А, а также между разделительными и угловыми секциями.

Питание токоприемников осуществляется токосъемными каретками, передвигающимися по направляющим полкам вдоль щели короба.

Для контроля напряжения на троллейных линиях устанавливаются светофоры. Расстояние между светофорами принимается не более 60 м по трассе троллей. Номенклатура элементов троллейных шинопроводов приведена в табл. 4.3.

Шинопроводы крепятся на двутавровых балках путей подвесных кранов, кран-балок, тельферов, на металлических и ж/б подкрановых балках, на стенах и колоннах при помощи специальных кронштейнов. Расстояние между точками крепления не более 3000 мм.

Вместо троллей при небольшой длине подкрановых путей и небольшой мощности мостовых кранов, кран-балок или тельферов, а также во взрывоопасных зонах подвод питания может осуществляться при помощи гибкого кабеля, подвешенного на тросе или на специальных каретках, перемещающихся по стальным направляющим [3, 5, 9].

Таблица 4.3 – Номенклатура элементов троллейных шинопроводов

Наименование	ШТМ 73, 250А	ШТМ 75, 250А	ШТМ 72, 400А	ШТМ 75, 400А
1	2	3	4	5
Секции прямые				
$L = 750$ мм	У230I	У260I	–	–
$L = 3000$ мм	У2304	У2604	У220I	У2704
$L = 6000$ мм	У2305	У2605	У2209	У2705
Секции угловые				
Радиус 1000 мм, угол 45°	У23II	У26II	–	–
” 1000 мм, ” 90°	У23I2	У26I2	–	–
” 1200 мм, ” 45°	У23I3	У26I3	–	–
” 1200 мм, ” 90°	У23I4	У26I4	–	–
” 1400 мм, ” 45°	У23I5	У26I5	–	–
” 1400 мм, ” 90°	У23I6	У26I6	–	–
” 1600 мм, ” 45°	У23I7	У26I7	–	–
” 1600 мм, ” 90°	У23I8	У26I8	–	–
” 1800 мм, ” 45°	У23I9	У26I9	–	–
” 1800 мм, ” 90°	У23I0	У26I0	–	–
Комплект для подключения питания	У2323	У2623	У2207	У27II
Секции				
разъединительные	У2325	У2625	У22I5	У27I5
концевая	У2306	У2606	У2206	У2706
компенсационная	У2326	У2626	У22I4	У27I4
каретка токосъемная	У2328	У2628	У22II	У27II
светофор троллейный	У2329	У2629	У22I8	У27I8
Кронштейны				
для крепления шинопровода на двутавровой балке	К775	К775	У222I	У222I
для крепления шинопровода на стенах, колоннах и железобетонных подкрановых балках	К777	К777	–	–
для крепления шинопровода на металлических подкрановых балках	К78	К78	У2220	У2220
промежуточная подвеска	К780	К780	У2223	У2223

#### 4.2.2. Питание подъемно-транспортных устройств

Питание устанавливаемых в цехах промышленных предприятий подъемно-транспортных устройств (ПТУ): мостовых кранов, кран-балок, передаточных тележек, электрических талей и т. п. осуществляется, как правило, от внутрицеховых питающих электрических сетей общего назначения 380/220 В переменного тока через открытые главные троллеи, троллейные и монотроллейные шинопроводы или с помощью гибких кабелей. Открытые главные троллеи следует применять: для питания ПТУ, работающих с жидким или горючим металлом, в помещениях, содержащих токопроводящую пыль, в производственных помещениях с температурой окружающей среды в зоне прохода троллеев выше 40 °С, во всех других помещениях.

Троллейные и монотроллейные шинопроводы рекомендуется применять для питания ПТУ, имеющих скорость передвижения менее 1 м/с и грузоподъемность до 50 т: в производственных помещениях с нормальной средой, кроме особо сырых, в помещениях с улучшенной отделкой, в электротехнических помещениях, в сборочных цехах для питания передвижного электроинструмента (только троллейные шинопроводы). Допускается применение троллейных и монотроллейных шинопроводов, если это предусмотрено ТУ, в пожароопасных зонах классов П-Па и П-Пб, в производственных помещениях с пыльной средой, в наружных установках (под навесом).

В производственных или других помещениях, когда применение открытых главных троллей недопустимо из-за повышенной опасности поражения электрическим током или по условиям стесненности, могут быть применены троллейные и монотроллейные шинопроводы при условиях, отличающихся от указанных выше, при предварительном согласовании с организацией-разработчиком теплопровода.

Питание гибким кабелем рекомендуется применять для одиночных редко работающих ПТУ с расчетными токами до 100 А и с ограниченной длиной перемещения (до 40 метров), а также во взрывоопасных пожароопасных зонах.

Выбор сечения главных троллеев, гибких, кабельных троллейных и монотроллейных шинопроводов производится по расчетному току с учетом допустимых потерь напряжения.

Расчетная мощность одного ПТУ принимается равной сумме номинальных мощностей двух наиболее мощных электроприводов, приведенных к ПВ = 1:

$$P_p = P_{н1}\sqrt{ПВ1} + P_{н2}\sqrt{ПВ2}, \quad (4.12)$$

где  $P_{н1}$ ,  $P_{н2}$  – номинальные мощности двух наиболее мощных электроприводов при паспортной продолжительности включения  $P_{н1}$  и  $P_{н2}$ .

Расчетный ток одного ПТУ:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3}U_n \cos \varphi}, \quad (4.13)$$

где  $U_n$  – номинальное напряжение сети;

$\cos \varphi$  – принимается равным 0,6 для двигателей с фазным ротором и 0,7 – для короткозамкнутых.

Расчетная мощность нескольких ПТУ, подключенных к главным троллеям, к троллейному или монотроллейному шинопроводу, определяется согласно указаниям по расчету электрических нагрузок.

Определение потерь напряжения выполняется при типовом токе. Расчетное значение типового тока группы электродвигателей определяется как сумма пускового тока наибольшего электродвигателя группы и расчетного тока всех остальных электродвигателей группы. При отсутствии заводских данных следует принимать кратность пускового тока двигателя с фазным ротором – 2,5, короткозамкнутого двигателя – 6, двигателя постоянного тока – 2,5.

Допустимое значение потерь напряжения на зажимах крановых двигателей должны быть не более 15 % номинального напряжения. Для ориентировочных расчетов допускается принимать одинаковую допустимую потерю напряжения 5 % в питающей сети, главных троллеях и в пределах крана.

Токоъемник ПТУ, питающийся от троллейного шинопровода, выбирается по расчетному току двух наиболее мощных электродвигателей ПТУ.

Токоъемник ПТУ, питающийся от открытых главных троллеев, поставляется комплектно с ПТУ.

Допускается параллельная работа двух токоъемников для одного ПТУ.

Схема троллеев и их конструктивное исполнение принимаются в зависимости от числа ПТУ, режимов их работы, значений расчетных токов и потерь напряжения, количества вводов питания и протяженности крановых пролетов.

При проектировании троллейных линий рекомендуется руководствоваться следующими положениями.

При одном ПТУ и незначительной длине пролета, как правило, следует применять не секционированную троллейную мощность ремонтных участков с одним вводом питания. При необходимости снижения потерь напряжения следует выполнить индукционную подпитку с помощью алюминиевой шины, прокладываемой параллельно с главными троллеями.

При одном ПТУ и значительной длине пролета, когда выполнение индукционной подпитки не обеспечивает требуемое снижения потерь напряжения, следует секционировать троллейную линию, при этом количество вводов питания должно соответствовать числу секций.

При двух ПТУ и незначительной длине пролета может быть принята несекционированная троллейная линия с двумя ремонтными участками в торцах, с одним вводом питания. При необходимости может быть выполнена индукционная подпитка.

При двух ПТУ и значительной длине пролета рекомендуется принимать секционированную (в середине пролета) троллейную линию с двумя ремонтными участками в торцах, с двумя вводами питания. При недостаточности индукционной подпитки следует рассмотреть целесообразность увеличения числа секций троллейной линии.

При трех ПТУ рекомендуется выполнять секционированную троллейную линию с тремя ремонтными участками (в торцах и середине), с двумя вводами питания. При недостаточности индукционной подпитки может быть увеличено число секций троллейной линии.

При питании ответственных ПТУ, например, работающих с жидким металлом, следует независимо от числа ПТУ секционировать главные троллеи, а вводные линии выполнить взаиморезервируемыми и рассчитанными на питание всех ответственных ПТУ.

На вводах питания рекомендуется устанавливать автоматические выключатели, на ремонтных участках – рубильники. Для секционирования главных троллеев могут быть применены автоматические выключатели или рубильники.

Главные троллеи, как правило, следует выполнять из стального уголка, прокладываемого на тролледержателях. На проложенных троллейных линиях следует через каждые 30–40 м, а также в местах температурных швов здания устанавливать температурные компенсаторы.

Для сигнализации наличия напряжения на троллеях следует устанавливать светофоры. Светофоры устанавливаются через каждые 60–80 м на рабочих секциях и на каждом ремонтном участке.

Питание главных троллеев, троллейных и монотроллейных шинопроводов с расчетным шагом порядка 100 А и более рекомендуется осуществлять радиальными кабельными линиями от цеховых ТП или магистральных шинопроводов.

Питание ПТУ меньшей мощности может быть также выполнено и от вторичных РУ до 1 кВ и распределительных шинопроводов.

Питание напольных тележек рекомендуется выполнять с помощью троллейных шинопроводов, размещаемых в небольших каналах с частично съемным перекрытием, снимаемым во время ремонта троллеев. Ширину щели следует принимать не более 70 мм.

Питание электрических талей грузоподъемностью 10 т и однорельсовых тележек с кабиной грузоподъемности 2–10 т может осуществляться как от открытых троллеев, так и от троллейных шинопроводов. Электрические тали меньшей грузоподъемности получают питание от троллейных шинопроводов. При изогнутых монорельсах троллейные шинопроводы не применяются.

В обоснованных случаях питания ПТУ может выполняться на напряжении 220 В выпрямленным током от специально устанавливаемых выпрямительных статистических преобразовательных устройств.

Питание электропривода главного подъема мостового крана значительной грузоподъемности (порядка 300 т) рекомендуется осуществлять от стационарно установленного тиристорного преобразователя по специальной

троллейной линии, прокладываемой на стороне пролета, противоположной главным троллеям.

При протяженной троллейной линии, питающей несколько мощных кранов с тяжелым режимом работы, рекомендуется применять схему питания троллея по рис. 4.3.

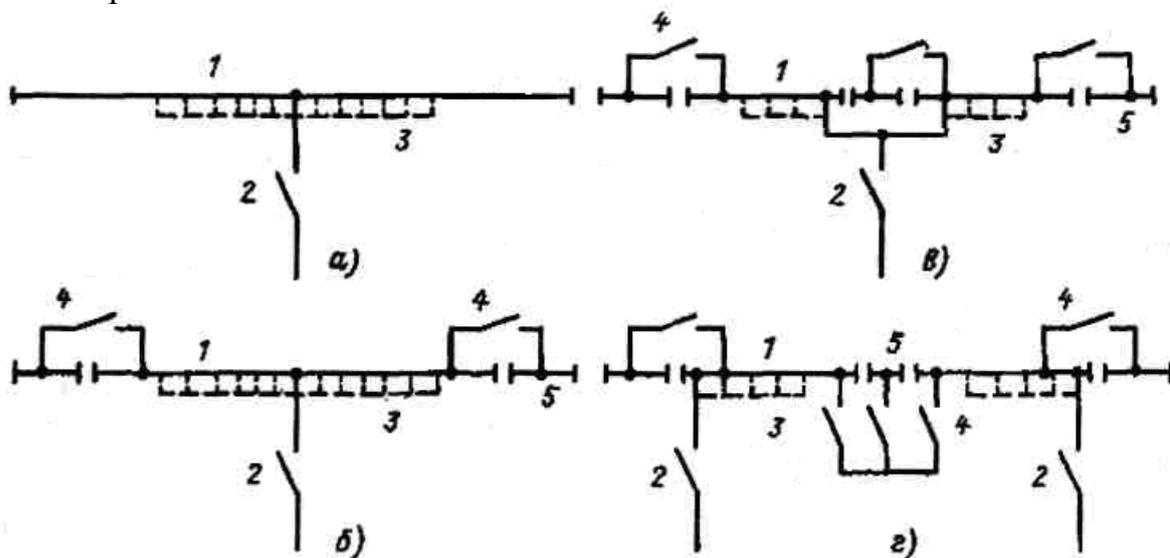


Рисунок 4.3 – Схемы питания и секционирования троллейных линий:  
*а* – для одного крана; *б* – для двух кранов; *в* – для трех и более кранов;  
*г* – секционирование с питанием от двух источников и взаимным резервированием; *1* – троллейная линия; *2* – выключатель; *3* – подпитка; *4* – секционный выключатель; *5* – ремонтная секция

Если же и такая схема не обеспечивает требуемый уровень напряжения троллейной линии, то допускается применение троллея из швеллерных или двутавровых балок с безындукционной подпиткой. Типы троллейных секций приведены в таблице 4.3.

Допускается применять троллейные шинопроводы в пожароопасных зонах классов П-Па и П-Ш при условии, что шинопроводы не должны располагаться над местами скопления горючих материалов. Троллейные шинопроводы имеют более высокую степень индустриальной готовности, чем другие троллейные конструкции. Если по характеристике среды (пожароопасная, взрывоопасная) не могут быть применены троллейные линии из угловой стали или троллейные шинопроводы, подвод питания к крановым установкам должен осуществляться гибким шланговым кабелем. При большой протяженности крановых путей и мощных кранах гибкий кабель крепится на каретках, перемещающихся по специально проложенному вдоль подкранового пути монорельсу (рисунок 4.4*б*). Гибкий шланговый кабель упрощенной конструкции на скобах, передвигающихся по стальному тросу (рисунок 4.4*а*), как простое и дешевое устройство должен применяться в любых средах, кроме взрывоопасных, для всех кранов, кран-балок и передаточных тележек при

длине подкранового пути 36–42 м, если этому не препятствуют условия и строительные конструкции [3, 9].

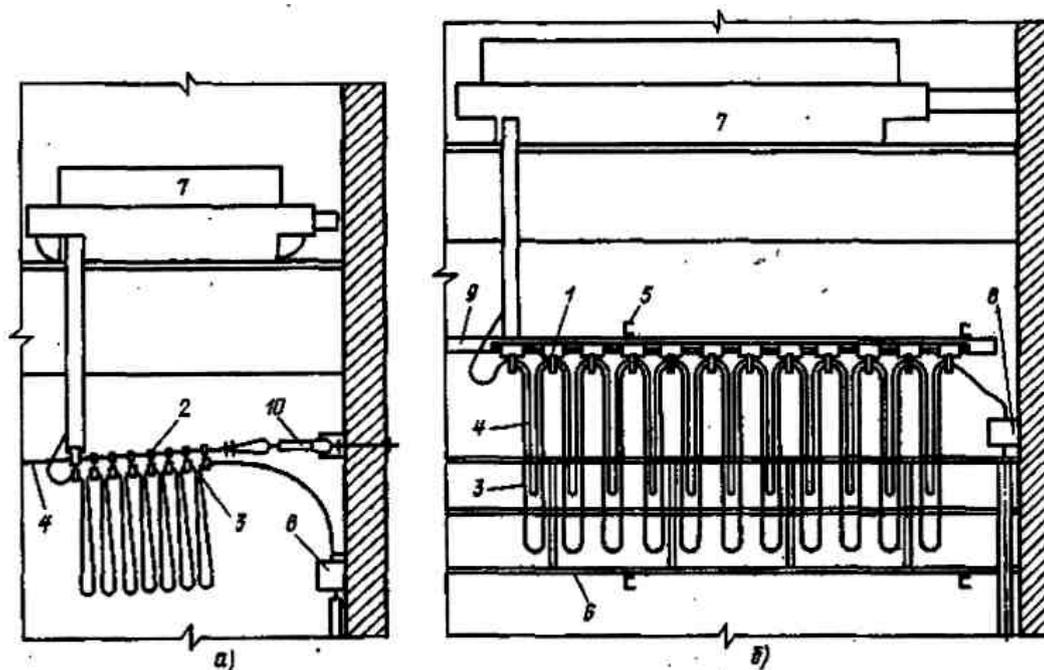


Рисунок 4.4 – Питание передвижных механизмов гибким кабелем:  
*а* – на подвижных скобах; *б* – на каретках; 1 – каретка; 2 – скобы для подвески кабеля; 3 – кабель гибкий марки КРПТ; 4 – струна; 5 – консоль; 6 – площадка обслуживания кабеля; 7 – кран; 8 – вводная коробка; 9 – балка двутавровая; 10 – натяжная муфта

### 4.2.3. Расчет троллейных линий

Если в пролете имеются два крана и более, то цеховые троллеи должны иметь ремонтные участки, изолированные от главных троллей при помощи изолированных стыков, в качестве которых обычно принимают воздушные зазоры, соединенные с ними посредством разъединяющих аппаратов таким образом, чтобы во время нормальной работы эти участки могли быть включены под напряжение, а при остановке кранов на ремонт надежно отключены.

Число ремонтных участков должно соответствовать числу кранов в пролете.

При большой мощности кранов и при длинных пролетах применяют секционирование троллейных линий с питанием от двух источников.

Троллеи и подводящие провода выбираются по нагреву и проверяются на потерю напряжения. Троллейные линии защищаются только от токов короткого замыкания. Ток, потребляемый группой крановых двигателей  $I_p$ , А, при напряжении 380 В может быть найден приближенно по формуле:

$$I_p = K_1 P_3 + K_2 P_n, \quad (4.14)$$

где  $P_3$  – суммарная мощность трех наибольших двигателей при ПВ = 25 %, кВт;

$P_n$  – суммарная мощность всех двигателей в группе, кВт;

$K_1$  – коэффициент, равный 0,6 для кранов легкого и среднего режима и 0,9 – для кранов тяжелого и весьма тяжелого режима;

$K_2$  – коэффициент, равный 0,18 для кранов легкого режима; 0,27 – среднего режима; 0,33 – тяжелого режима; 0,54 – весьма тяжелого режима работы.

Найденный таким образом рабочий ток не должен превышать длительно допустимый для питающих проводов и троллейных линий. При расчете потерь напряжения для группы двигателей обычно принимают, что пускается один наибольший двигатель в группе, а остальные двигатели потребляют нормальный рабочий ток.

При кратности пускового тока наибольшего двигателя  $K_{\text{п}} = I_{\text{пуск}}/I_{\text{н}}$  максимальный ток группы, по которому производится расчет на потерю напряжения, будет:

$$I_{\text{мах}} = I_{\text{р}} + (K_{\text{п}} - 1) \cdot I_{\text{н}},$$

где  $I_{\text{р}}$  – рабочий ток группы двигателей, А;

$I_{\text{н}}$  – номинальный ток наибольшего двигателя, А.

Допускается следующая потеря напряжения в силовых сетях подъемно-транспортных машин:

- 3 % – в нормальных условиях (установившийся режим);
- 12 % – при редко работающих устройствах (установившийся режим);
- 10 % – при частных пусках;
- 15 % – при редких пусках.

Потерю напряжения в стальных троллеях определяют с учетом как активного, так и реактивного сопротивления [3, 5, 9].

### Вопросы для самопроверки

1. Назовите основные элементы схем внутрицехового электроснабжения.
2. Из каких основных конструктивных элементов состоит трансформаторная подстанция?
3. Как осуществляется выбор числа и мощности трансформаторов и типа подстанций?
4. Как нормируется допустимая аварийная перегрузка трансформаторов?
5. Дайте характеристику радиальным, магистральным и смешанным схемам электроснабжения.
6. Назовите условия выбора троллеев.
7. В каких случаях целесообразно применение шинопроводов?
8. Назовите условия выбора шинопроводов.
9. Как производится выбор распределительных шкафов и пунктов?
10. Объясните процесс потребления реактивной мощности.
11. Каковы наиболее характерные средства компенсации реактивной мощности?
12. Каковы способы снижения потребления реактивной мощности?
13. Где рекомендуется устанавливать компенсирующие устройства?

14. Как должны размещаться цеховые подстанции по отношению к питаемой или нагрузке?

15. Какие типы подстанции применяются на промышленных предприятиях?

16. Как осуществляется питание передвижных приемников (подъемно-транспортных устройств)?

17. Что представляет собой троллейный шинопровод?

18. Как кренятся троллейные шинопроводы?

19. Когда применяются гибкие кабели?

## 5. ВЫБОР НАПРЯЖЕНИЯ

Выбор напряжения питающих и распределительных сетей зависит от мощности, потребляемой предприятием, его удаленности от источника питания, напряжения источника питания (особенно для небольших и средних предприятий), количество и единичной мощности электроприемников (электродвигатели, электропечи, преобразователи и др.)

Напряжения 10 и 6 кВ применяются в питающих и распределительных сетях небольших и средних предприятий и на второй и последующих ступенях распределительных сетей крупных предприятий.

Напряжение 6 кВ может применяться в исключительных случаях, например:

1) при преобладании на проектируемом предприятии электроприемников 6 кВ (в частности, электродвигателей), а также исходя из условий их постановки (в соответствии с требованиями технологии или при комплектной поставке с производственным оборудованием);

2) при напряжении генераторов заводской ТЭЦ 6 кВ, особенно когда от нее питается значительная часть электроприемников предприятия.

При применении напряжении 660 В следует принимать во внимание следующее:

– перевод питания электроприемников с 380 на 660 В снижает затраты на сооружение низковольтной кабельной сети примерно на 30 % и сокращает потери электроэнергии в этой сети в 1,3–1,4 раза;

– внедрение напряжения 660 В обеспечивает снижение капитальных затрат относительно общей стоимости электроустановок (электрооборудования и электромонтажных работ) строящегося предприятия на 0,5–15 %;

– эффективность при внедрении напряжения 660 В тем выше, чем больше доля электроприемников 380 В в общем составе устанавливаемых электроприемников. Например, для прокатного широкополосного стана, где преобладающую часть устанавливаемых электроприемников составляют тиристорные электроприводы и электродвигатели 6–10 кВ, применение напряжения 660 В обеспечивает эффективность около 0,5%, для кислородно-конвертерного цеха 1,5 %.

Для предприятий нефтехимии, где в основном устанавливаются электродвигатели 380 В, внедрение напряжения 660 В обеспечивает эффективность в пределах 10–15 %;

– эффективность внедрения напряжения 660 В прямо пропорциональна протяженности питающей и распределительной низковольтной сети;

– при мощности устанавливаемых на предприятии электродвигателей преимущественно до 10 кВт эффективность внедрения напряжения 660 В незначительна.

В целях более широкого внедрения напряжения 660 В при проектировании электроустановок промышленных предприятий рекомендуется:

1. Применять в первую очередь напряжение 660 В для вновь строящихся промышленных объектов, характеризующихся следующими признаками:

- основную часть электроприемников составляют низковольтные электродвигатели переменного тока нерегулируемые мощностью выше 10 кВт;
- технологические механизмы поставляются комплектно с электродвигателями, а заказ пускорегулирующей аппаратуры производится согласно разрабатываемому проекту;
- длины кабелей питающей и распределительной сети низкого напряжения имеют большую протяженность. К таким объектам могут быть отнесены предприятия химии, нефтехимии, лесотехнические комплексы, системы водоснабжения.

2. Когда целесообразность применения напряжения 660 В (см. п. 1) не столь очевидна, необходимо выбрать напряжение низковольтной сети производить на основании технико-экономических расчетов. При эффективности более 5 % следует применять напряжение 660 В. Наиболее целесообразно сочетание напряжения 660 В с первичным напряжением 10 кВ.

3. Питание единичных электродвигателей мощностью 250–500 кВт следует выполнять, как правило, непосредственно на напряжении 10 кВ или от индивидуальных или групповых понизительных трансформаторов 10/6 кВ.

При значительном количестве электродвигателей 6 кВ следует рассматривать возможность их питания от трансформаторов с обмотками напряжением 110–220/6/10 кВ.

4. Технологическое оборудование, комплектуемое в настоящее время электрооборудованием и системами управления на напряжение 380 В (станки, агрегаты, автоматические линии, прессы, термическое и сварочное оборудование, краны и т. п.), может быть переведено на напряжение 660 В после получения соответствующего подтверждения от заводов-поставщиков.

5. На напряжение 660 В не переводятся:

- осветительные установки, выполненные люминесцентными светильниками и лампами накаливания;
- тиристорные преобразователи электроприводов, питаемые на напряжении 380 В;
- установки КИП, средства автоматизации, исполнительные механизмы, электродвигатели до 0,4 кВт.

Питание этих электроприемников должно осуществляться от трансформаторов 10/0,4 кВ.

6. Установки 660 В следует применять с глухозаземленной нейтралью.

7. Цепи управления электродвигателями нужно принимать на напряжение 220 В с питанием от индивидуальных понизительных трансформаторов 660/220 В.

8. При рассмотрении целесообразности применения напряжения 660 В для реконструируемых объектов необходимо оценивать возможности действующего предприятия по ремонту и резервированию электрооборудования 660 В;

– напряжение не выше 42 В (36 или 24 В) применяется в помещениях с повышенной опасностью и особо опасных, для стационарного местного освещения и ручных переносных ламп;

– напряжение 12 В применяется только при особо неблагоприятных условиях в отношении опасности поражения электрическим током, например, при работе в котлах или других металлических резервуарах с использованием ручных переносных светильников [3, 6, 9].

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какие величины напряжений применяются в питающих сетях?
2. Какие напряжения применяются в распределительных сетях?
3. Какие преимущества имеет напряжение 660 В по сравнению с 380 В?
4. Когда целесообразно применять напряжение 660 В?

## 6. ВЫБОР СЕЧЕНИЙ ПРОВОДНИКОВ

### 6.1. Выбор сечения проводов и кабелей по допустимому нагреву электрическим током

При протекании по проводнику (провод, кабель, шина) электрического тока происходит его нагрев. Нагрев изменяет физические свойства проводника. Чрезмерный нагрев опасен для изоляции, вызывает перегрев контактных соединений, перегорание проводника, что может привести к пожару или взрыву при неблагоприятных условиях окружающей среды.

Максимальная температура нагрева проводника, при которой изоляция его сохраняет диэлектрические свойства и обеспечивается надежная работа контактов, называется **предельно допустимой**, а наибольший ток, соответствующий этой температуре, **длительно допустимым током по нагреву**.

Величина длительно допустимого тока для проводников зависит от его материала, сечения, изоляции, условий охлаждения и т. д.

Установлена длительно допустимая температура жилы проводника – 50...80 °С (в зависимости от типа изоляции и напряжения). Установлена также нормативная (условная) температура окружающей среды (25 °С – при прокладке проводников внутри и вне помещений в воздухе, 15 °С – при прокладке в земле и в воде).

Длительно допустимый ток по нагреву при заданных температурных условиях (допустимой температуры нагрева жил и температуры окружающей среды по нормам) материала проводника и его сечения определяется из уравнения теплового баланса для проводника.

Для практических расчетов пользуются готовыми таблицами длительно допустимых токов по нагреву проводников из различных материалов при различных условиях прокладки.

Для выбора сечения проводника по условиям нагрева пиками нагрузки сравниваются расчетный ( $I_p$ ) и допустимый ( $I_{\text{доп}}$ ) токи для проводника принятой марки и с учетом условий его прокладки. При этом должно соблюдаться соотношение:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{I_p}{K_{\Pi}}, \quad (6.1)$$

где  $K_{\Pi}$  – поправочный коэффициент на условия прокладки проводов и кабелей, зависящий от фактической температуры земли и воздуха (табл. 6.1);

$I_p$  – расчетный ток длительного режима работы электроприемника (электроприемников);

для одиночного электроприемника за расчетный ток принимается его номинальный ток;

для группы электроприемников – расчетный ток, определяемый одним из существующих методов расчета (обычно методом упорядоченных диаграмм показателей графиков электрических нагрузок).

$I_p = I_{ПВ} \sqrt{ПВ}$  – расчетный ток повторно-кратковременного режима работы электроприемников с продолжительностью включения (ПВ) более 0,4;

$I_p = I_{ПВ} \frac{\sqrt{ПВ}}{0,875}$  – расчетный ток повторно-кратковременного режима работы электроприемников с  $ПВ \leq 0,4$  для медных проводников сечением более 6 мм<sup>2</sup>, для алюминиевых – более 10 мм<sup>2</sup>;

$I_{ПВ}$  – ток повторно-кратковременного режима работы [4].

Во взрывоопасных помещениях сечения проводников для ответвлений к электродвигателям с короткозамкнутым ротором принимаются исходя из условия:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{1,25I_p}{K_{П}}$$

Для проводов и кабелей с резиновой или пластмассовой изоляцией, проложенных в коробах, а также в лотках пучками, для их длительно допустимых токов вводятся снижающие коэффициенты 0,6...0,85 в зависимости от количества положенных рядом проводов или кабелей (п. 1.3.10, 1.3.11 ПУЭ) [1].

Допустимые длительные токи для проводов и кабелей, проложенных в коробах, а также в лотках пучками, должны приниматься по табл. 1.3.4 и 1.3.5 ПУЭ [1], как для проводов, проложенных в трубах, для кабелей – по табл. 1.3.6–1.3.8 ПУЭ [1], как для кабелей, проложенных в воздухе. При количестве одновременно нагруженных проводов более четырех, проложенных в трубах, коробах, а также в лотках пучками, токи для проводов должны приниматься по табл. 1.3.4 и 1.3.5 ПУЭ [1], как для проводов, проложенных открыто (в воздухе) с введением снижающих коэффициентов 0,68 для 5 и 6; 0,63 для 7-9 и 0,6 для 10-12 проводов.

Допустимые длительные токи для проводов, проложенных в лотках, при однорядной прокладке (не в пучках) следует принимать как для проводов, проложенных в воздухе.

Допустимые длительные токи для проводов и кабелей, прокладываемых в коробах, следует принимать по табл. 1.3.4–1.3.7 ПУЭ [1], как для одиночных проводов и кабелей, проложенных открыто (в воздухе) с применением снижающих коэффициентов, указанных в табл. 6.2.

Основной критерий выбора кабельной линии: расчетный ток должен быть меньше или равен длительно допустимому току, то есть  $I_p \leq I_{\text{доп}}$ .

Выбор сечения кабельной линии питающей сети выполняется по итоговому расчетному току  $I_p$  для узла, а выбор сечения кабельной линии распределительной сети – по расчетному току  $I_p$  двигателя.

Таблица 6.1 – Поправочные коэффициенты на токи для кабелей неизолированных и изолированных проводов и шин в зависимости от температуры земли и воздуха

Условная температура среды, °С	Нормированная температура жил, °С	Поправочные коэффициенты на токи при расчетной температуре среды, °С											
		-5 и ниже	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
15	80	1,14	1,11	1,08	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	0,73	0,68
25	80	1,24	1,20	1,17	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74
25	70	1,29	1,24	1,20	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67
15	65	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63	0,55
25	65	1,32	1,27	1,22	1,17	1,12	1,06	1,00	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61
15	60	1,20	1,15	1,12	1,06	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67	0,57	0,47
25	60	1,36	1,31	1,25	1,20	1,13	1,07	1,00	0,93	0,85	0,76	0,66	0,54
15	55	1,22	1,17	1,12	1,07	1,00	0,93	0,86	0,79	0,71	0,61	0,50	0,36
25	55	1,41	1,35	1,29	1,23	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
15	50	1,25	1,20	1,14	1,07	1,00	0,93	0,84	0,76	0,66	0,54	0,37	-
25	50	1,48	1,41	1,34	1,26	1,18	1,09	1,00	0,89	0,78	0,63	0,45	-

Таблица 6.2 – Снижающий коэффициент для проводов и кабелей, прокладываемых в коробах

Способ прокладки	Количество проложенных проводов и кабелей		Снижающий коэффициент для проводов и кабелей, питающих	
	одно-жильный	много-жильный	отдельные электроприемники с коэффициентом использования до 0,7	группы электроприемников и отдельные приемники с коэффициентом использования более 0,7
Много-слойно и пучками	-	До 4	1,0	-
	2	5-6	0,85	-
	3-9	7-9	0,75	-
	10-11	10-11	0,7	-
	12-14	12-14	0,65	-
	15-18	15-18	0,6	-
Однослойно	2-4	2-4	-	0,67
	5	5	-	0,6

При выборе снижающих коэффициентов контрольные и резервные провода и кабели не учитываются.

Длительно допустимые токи кабелей с бумажной изоляцией, проложенные в траншее, корректируются поправочными коэффициентами, учитывающими удельное сопротивление земли (табл. 6.3) и совместное количество работающих кабелей (табл. 6.4).

На период ликвидации послеаварийного режима продолжительностью не более 6 ч в сутки в течение 5 суток допускается перегрузка для кабелей: с полиэтиленовой изоляцией до 10 % номинальной нагрузки, с поливинилхлоридной – до 15 %, с бумажной – до 25 %

В сетях, защищаемых от перегрузок [1], выбранные по условию (6.1) проводники должны быть согласованы с их защитными аппаратами.

В сетях, не требующих защиты от перегрузки, выбранные по условию (6.1) проводники также согласовываются с их защитными аппаратами, при этом допускается не выполнять расчетной проверки кратности тока короткого замыкания (КЗ) [1].

Таблица 6.3 – Поправочный коэффициент на допустимый длительный ток для кабелей, проложенных в земле, в зависимости от удельного сопротивления земли

Характеристика земли	Удельное сопротивление, см · К/Вт	Поправочный коэффициент
Песок влажностью более 9 %, песчано-глинистая почва влажностью более 1 %	80	1,05
Нормальная почва и песок влажностью 7-9 %, песчано-глинистая почва влажностью 12-14 %	120	1,00
Песок влажностью более 4 и менее 7 %, песчано-глинистая почва влажностью 8-12 %	200	0,87
Песок влажностью до 4 %, каменистая почва	300	0,75

Таблица 6.4 – Поправочный коэффициент на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле (в трубах или без труб)

Расстояние между кабелями в свету, мм	Коэффициент при количестве кабелей					
	1	2	3	4	5	6
100	1,00	0,90	0,85	0,80	0,78	0,75
200	1,00	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
300	1,00	0,93	0,90	0,87	0,86	0,85

**Пример** выбора сечения проводников по допустимому нагреву электрическим током.

Силовой пункт (распределительный шкаф ШР-11) питается от щита (распределительного устройства) 0,4/0,23 кВ подстанции по кабелю с бумажной изоляцией марки ААШв, проложенному в земле (траншее). Фактическая температура среды не отличается от нормативной. В траншее находятся еще три рабочих кабеля, питающие других потребителей электроэнергии.

Удельное сопротивление земли 200 см · К/Вт.

От ШР-11 питаются электроприемники суммарной расчетной нагрузкой 82 А. Электропроводка от ШР-11 к одному из электродвигателей ЭД1 ( $P_{н1} = 3$  кВт,  $\cos\varphi_{н1} = 0,83$ ,  $\eta_{н1} = 83,5$  %) выполняется кабелем марки ВВГнг, проложенным в пластмассовой трубе. Проводка от ШР-11 к ЭД2 ( $P_{н2} = 2,2$  кВт,  $\cos\varphi_{н2} = 0,83$ ,  $\eta_{н2} = 82,5$ %,  $ПВ = 40$  %) выполняется кабелем ВВГнг, проложенным в лотке. Общее количество проводов в виде пучка в лотке составляет 9.

Проводка к электродвигателям 1 и 2 выполняется в нормальном производственном помещении с температурой воздуха +30 °С.

Необходимо по допустимому нагреву выбрать сечение жил кабеля и проводов для питания указанных электроприемников.

### **Решение**

Выбираем сечение проводов для электродвигателя 1 (ЭД1). Расчетный ток электродвигателя ЭД1:

$$I_P = i_H = \frac{3 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,83 \cdot 0,825} = 6,7 \text{ А.}$$

Для ЭД1 принимаем кабель с медной жилой с изоляцией жил из поливинилхлоридного пластика пониженной пожароопасности ВВГнг, проложенный в пластмассовой трубе.

По табл. 6.1 в зависимости от нормированной (условной) температуры среды (+25 °С), нормированной температуры жил (+65 °С) и фактической (расчетной) температуры среды (+30 °С) находим значение поправочного коэффициента 0,94.

Тогда условие выбора сечения провода:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{6,7}{0,94} = 7,13 \text{ А.}$$

По табл. 1.3.5 (ПУЭ) [1] при условии прокладки четырех одножильных проводов в одной трубе (при определении числа проводов, прокладываемых в одной трубе, нулевой рабочий провод четырехпроводной сети или заземляющая жила в расчет не принимается) находим ближайшее большее или равное 7,13 А значение допустимого тока – 17 А и соответствующее ему сечение токопроводящей жилы – 1,5 мм<sup>2</sup>. При выборе сечения необходимо учитывать условие механической прочности, по которому минимальное сечение проводов с алюминиевыми жилами составляет 4 мм<sup>2</sup>, с медными – 2,5 мм<sup>2</sup>, при прокладке кабелей с алюминиевыми жилами в траншеях – 6 мм<sup>2</sup>.

Окончательно для питания ЭД1 принимаем кабель сечением 2,5 мм<sup>2</sup> – ВВГнг 4(1×4).

Произведем выбор сечения проводов для питания второго электродвигателя (ЭД2). Расчетный ток ЭД2 с учетом ПВ = 40 %:

$$I_P = i_{H1} = \frac{2,2 \cdot 10^2 \cdot \sqrt{0,4}}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,83 \cdot 0,825 \cdot 0,875} = 3,52 \text{ А.}$$

Условие выбора с учетом поправочного коэффициента на температуру окружающей среды (см. выбор сечения провода для ЭД1) и коэффициента, учитывающего способ прокладки (9 проводов пучком в лотке)

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{3,52}{0,94 \cdot 0,64} = 5,94 \text{ А.}$$

По табл. 1.3.5 [1] ближайшее значение допустимого тока – 26 А (принимается как для проводов, проложенных открыто). Для питания ЭД2 принимается сечение кабеля 2,5 мм<sup>2</sup> – ВВГнг (5×2,5).

Выбираем сечение кабеля, питающего ШР-11. Расчетная нагрузка распределительного шкафа 82 А. Кабель ААШв с бумажной изоляцией. В траншее находятся четыре рабочих кабеля. Удельное сопротивление земли 200 см·К/Вт.

По табл. 6.4 поправочный коэффициент на количество работающих кабелей с бумажной изоляцией, лежащих рядом в земле, – 0,8. По табл. 6.3 поправочный коэффициент на допустимый длительный ток в зависимости от удельного сопротивления земли – 0,87. Поправочный коэффициент на температуру окружающей среды равен 1. Тогда условие выбора сечения кабеля

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{82}{0,8 \cdot 0,87 \cdot 1} = 117,82 \text{ А.}$$

По табл. 1.3.16 ПУЭ [1] ближайшее большее значение 135 А, что соответствует сечению токопроводящей жилы 35 мм<sup>2</sup>.

Для питания ШР-11 принимается кабель ААШв (3×35+1×16 мм<sup>2</sup>).

## 6.2. Расчет электрических сетей по потере напряжения

**Краткие теоретические сведения.** Электрические сети, рассчитанные по допустимому нагреву, проверяют по потере напряжения. При передаче электроэнергии по проводам часть напряжения теряется на сопротивлении проводов и в результате в конце линии, т. е. у электроприемников, напряжение становится меньшим, чем в начале линии.

Согласно ГОСТ 32144-2013 [8], в электрических сетях до 1 кВ в нормальном режиме допускаются отклонения напряжения от номинального в пределах от -5 до +5 %, т. е. для того чтобы электроприемники могли нормально работать и выполнять заложенные в них функции, напряжение на их выводах должно быть не менее 95 %  $U_n$  и не более 105 %  $U_n$ .

Таким образом, выбранное сечение проводников должно соответствовать также условиям обеспечения электроприемников качественной электрической энергией.

Потери напряжения в элементах системы электроснабжения не нормируются. Однако допускается считать, что потери напряжения не должны превышать 1,5...1,8 % в магистральном шинном проводе; 2...2,5 % в распределительном шинном проводе с равномерной нагрузкой; 4...6 % в сетях 0,38 кВ (от ТП до ввода в здания).

В общем случае допустимая потеря напряжения в электрических сетях до 1 кВ от источника питания (ТП) до электроприемника определяется по формуле:

$$\Delta U_{\text{доп}} \% = U_{xx} \% - \Delta U_T \% - U_{\text{min}}, \quad (6.2)$$

где  $U_{xx}$  – напряжение холостого хода трансформатора,  $U_{xx} = 105$  %;

$\Delta U_T$  – потеря напряжения в питающем трансформаторе;

$U_{\text{min}}$  – минимально допустимое напряжение на зажимах электроприемника,  $U_{\text{min}} = 95$  %.

$$\Delta U_{\text{доп}} \% = 10 - \Delta U_T \% ; \quad (6.3)$$

$$\Delta U_T \% = \beta_T (\Delta U_a \% \cos \varphi_T - \Delta U_p \% \sin \varphi_T), \quad (6.4)$$

где  $\beta_T = \frac{S_p}{S_{H.T}}$  – коэффициент загрузки трансформатора;

$U_a \% = \frac{100 \cdot \Delta P_k}{S_{H.T}}$  – активная составляющая напряжения КЗ трансформатора;

$\Delta P_k$  – номинальные потери мощности КЗ трансформатора;

$\Delta U_p \% = \sqrt{U_k^2 \% - U_a^2 \%}$  – реактивная составляющая напряжения КЗ трансформатора;

$U_k \%$  – напряжение КЗ трансформатора  $S_{H.T}$ ;

$\cos \varphi_T$  – коэффициент мощности нагрузки трансформатора.

Фактические потери напряжения в трехфазной линии переменного тока можно определить по формуле:

$$\Delta U_\phi = \sqrt{3} \cdot I_p L (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi), \quad (6.5)$$

где  $I_p$  – расчетный ток линии, А;

$L$  – длина линии, км;

$r_0, x_0$  – соответственно активное и реактивное сопротивление 1 км проводника линии, Ом/км (табл. 6.5).

Таблица 6.5 – Активное и индуктивное сопротивление проводов с медными и алюминиевыми жилами

Сечение проводника, мм <sup>2</sup>	Активное сопротивление, Ом/км $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$		Индуктивное сопротивление (меди и алюминия), Ом/км	
	меди	алюминия	для воздушных линий при расстоянии между проводами 15 см	для проводов, проложенных в трубах, и кабелей
2,5	8,00	13,39	0,335	0,098
4	5,00	8,35	0,332	0,095
6	3,00	5,56	0,323	0,09
10	2,00	3,33	0,308	0,073
16	1,25	2,08	0,286	0,067
25	0,8	1,335	0,272	0,066
35	0,572	0,952	0,262	0,064
50	0,4	0,668	0,25	0,062
70	0,287	0,477	0,24	0,061
95	0,211	0,352	0,228	0,06
120	0,167	0,278	0,223	0,06
150	0,133	0,222	0,214	0,059

Фактическая потеря напряжения должна быть меньше допустимой потери напряжения. Если окажется, что фактическая потеря напряжения больше допустимой величины, то выбирают проводник (проводники) большего на одну ступень сечения и повторяют поверочный расчет [4, 9].

**Пример.** В упрощенной форме (без учета способа прокладки, условий окружающей среды) по допустимому нагреву выбрать кабель, питающий распределительный шкаф (ШР) и проверить его по потере напряжения. Длина кабельной линии ( $L$ ) 42 м. Данные нагрузки распределительного шкафа: установленная мощность 28,6 кВт;  $\cos \varphi = 0,85$ ;  $K_c = 0,8$ . Допустимая потеря напряжения для рассчитываемого участка сети 4 %.

**Решение**

Определяем расчетную мощность ШР:

$$P_p = K_c \cdot P_{уст} = 0,8 \cdot 28,6 = 22,9 \text{ кВт}$$

Расчетный ток распределительного шкафа:

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3}U \cos \varphi} = \frac{22,9}{1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,85} = 40,9 \text{ А}$$

Выбираем по нагреву кабель ВВГнг 5×6 мм<sup>2</sup> с длительно допустимым током 46 А. Фактическая потеря напряжения в кабеле, питающем ШР, определяется по формуле (7.12):

$$\Delta U_\phi = 1,73 \cdot 40,9(3,33 \cdot 0,85 + 0,073 \cdot 0,52)0,042 = 8,53 \text{ В}$$
$$\Delta U_\phi \% = \frac{\Delta U_\phi}{U_\phi} \cdot 100 = \frac{8,53}{380} \cdot 100 = 2,2 \% \quad \Delta U_\phi = 2,2\% < \Delta U_{доп} = 4 \%$$

Выбранный по допустимому нагреву кабель удовлетворяет допустимой потере напряжения [4].

### Вопросы для самопроверки

1. По каким условиям выбирается сечение проводов и кабелей?
2. Как осуществляется выбор сечений по нагреву?
3. Как производится проверка сечений проводников по потере напряжения?
4. На сколько процентов допускается понижение напряжения от  $U_n$ ?
5. Как определяется потеря напряжения?

## 7. ЗАЩИТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1 кВ

Основными видами защит электрических сетей и электроприемников напряжением до 1 кВ являются защиты от перегрузки и токов короткого замыкания (КЗ).

В качестве аппаратов защиты применяются автоматические выключатели и предохранители. Для защиты электродвигателей от перегрузки и от токов, возникающих при обрыве одной из фаз, применяются также тепловые реле магнитных пускателей.

Выбор аппаратов защиты (предохранителей, автоматов) выполняется с учетом следующих основных требований:

1. Номинальный ток и напряжение аппарата защиты должны соответствовать расчетному длительному току и напряжению электрической цепи.

2. Номинальные токи расцепителей автоматических выключателей и плавких вставок предохранителей необходимо выбирать по возможности меньшими по длительным расчетным токам с округлением до ближайшего большего стандартного значения.

3. Аппараты защиты не должны отключать установку при кратковременных перегрузках, возникающих в условиях нормальной работы, например, при пусках электродвигателей.

4. Время действия аппаратов защиты должно быть по возможности меньшим, и должна быть обеспечена селективность (избирательность) действия защиты при последовательном расположении аппаратов защит в электрической цепи.

5. Ток защитного аппарата (номинальный ток плавкой вставки, номинальный ток или ток срабатывания расцепителя автомата) должен быть согласован с допустимым током защищаемого проводника.

6. Аппараты защиты должны обеспечивать надежное отключение в конце защищаемого участка двух- и трехфазных КЗ при всех видах режима работы нейтрали сетей, а также однофазных КЗ в сетях с глухозаземленной нейтралью.

Надежное отключение токов КЗ в сети напряжением до 1 кВ обеспечивается в том случае, если отношение наименьшего однофазного расчетного тока КЗ ( $I'_{кз}$ ) к номинальному току плавкой вставки предохранителя ( $I_{н.вст}$ ) или расцепителя автоматического выключателя ( $I_{н.р}$ ), имеющего обратозависимую от тока характеристику, будет не менее 3, а во взрывоопасных зонах соответственно:

$$\frac{I'_{кз}}{I_{н.вст}} \geq 4; \frac{I'_{кз}}{I_{н.р}} \geq 6. \quad (7.1)$$

При защите сетей автоматическими выключателями, имеющими только электромагнитный расцепитель (отсечку), для автоматов с номинальным током до 100 А кратность тока КЗ относительно уставки тока мгновенного

срабатывания ( $I_{ср.э}$ ) должна быть не менее 1,4, а для автоматов с номинальным током более 100 А – не менее 1,25.

Однако в сетях, защищаемых только от токов КЗ (не требующих защиты от перегрузки), за исключением протяженных сетей, допускается не выполнять расчетной проверки кратности токов КЗ к токам защитных аппаратов, если обеспечено согласование защитного аппарата с допустимым током защищаемого проводника [4].

### 7.1. Выбор плавких вставок предохранителей

Номинальный ток плавкой вставки предохранителя определяется по величине длительного расчетного тока ( $I_p$ ):

$$I_{н.вст} \geq I_p, \quad (7.2)$$

и по условию перегрузок пиковыми токами:

$$I_{н.вст} \geq \frac{I_n}{a}, \quad (7.3)$$

где  $I_n$  – пиковый (максимальный кратковременный) ток;

$a$  – коэффициент кратковременной тепловой перегрузки;

$a = 2,5$  – для легких пусков с длительностью пуска до 5 с, а также при редких пусках (насосы, вентиляторы, станки и т. п.) и при защите магистрали;

$a = 2$  – для тяжелых условий пуска, а также при частых (более 15 раз в час) пусках (краны, дробилки, центрифуги и т. п.);

$a = 1,6$  – для ответственных электроприемников.

При выборе предохранителя для одиночного электроприемника в качестве  $I_p$  принимается его номинальный ток  $i_n$ , а в качестве  $I_n$  – пусковой ток  $i_{пуск}$ .

Для линий, питающих группу электроприемников, максимальный пиковый ток определяется:

$$I_n = I'_{пуск} + I'_p, \quad (7.4)$$

где  $I'_{пуск}$  – пусковой ток электроприемника или группы одновременно включаемых электроприемников, при пуске которых кратковременный ток линии достигает наибольшей величины;

$I_p$  – длительный расчетный ток, определяемый без учета рабочего тока пускаемых электроприемников.

При отсутствии данных о количестве одновременно пускаемых электроприемников пиковый ток линии может быть определен по формуле:

$$I_n = i_{n.max} + (I'_p - k_u i_{un}), \quad (7.5)$$

где  $i_{n.max}$  – наибольший пусковой ток электроприемника группы;

$I'_p$  – расчетный по нагреву ток группы электроприемников;

$i_{un}$  – номинальный ток электроприемника с наибольшим пусковым током;

$k_u$  – коэффициент использования электроприемника с наибольшим пусковым током.

Номинальный ток плавкой вставки предохранителя, защищающего

ответвление к сварочному аппарату, выбирается из соотношения:

$$I_{н.вст} \geq 1,2 \cdot i_{НС} \sqrt{ПВ}, \quad I_{н.вст} \geq 1,2 \cdot i_{НС} \sqrt{ПВ}, \quad (7.6)$$

где  $i_{НС}$  – номинальный ток сварочного аппарата при паспортной продолжительности включения (ПВ).

Выбранные плавкие вставки должны обеспечивать также селективность (избирательность) срабатывания. Это значит, что при КЗ на каком-либо участке сети должна перегореть плавкая вставка предохранителя только этого поврежденного участка. В общем случае защита считается селективной, когда характеристики срабатывания аппаратов защиты, последовательно расположенных в цепи с учетом зон разброса характеристик, не пересекаются.

Учитывая, что разница во времени срабатывания плавких вставок с ростом тока КЗ и в области больших токов КЗ уменьшается, а также тот фактор, что с многократным повторением циклов нагрева время срабатывания предохранителя высшей ступени может уменьшаться, для обеспечения селективности срабатывания каждый предохранитель на схеме сети по мере приближения к ИП должен иметь плавкую вставку не менее чем на две ступени выше, чем предыдущий.

**Пример.** Рассчитать ток и выбрать плавкий предохранитель для защиты линии, по которой питается электроприемник (электродвигатель) со следующими данными:

$$p_H = 18,5 \text{ кВт}; \cos \varphi_H = 0,82; \eta_H = 87 \%; \frac{I_{II}}{I_H} = 7; U_H = 380 \text{ В.}$$

### **Решение**

Определяем длительный расчетный ток линии:

$$I_P = i_H = \frac{p_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi \cdot \eta_H}; \quad I_P = \frac{18,5}{1,73 \cdot 0,380 \cdot 0,82 \cdot 0,87} = 39,6 \text{ А};$$

Пусковой ток:

$$I_{II} = i_H \frac{I_{II}}{I_H}; \quad I_{II} = 39,6 \cdot 7 = 277,2 \text{ А.}$$

По длительному току

$$I_{н.вст} \geq 39,6 \text{ А.}$$

По кратковременному току с учетом условий пуска

$$I_{н.вст} \geq \frac{I_n}{\alpha} \geq \frac{277,2}{2,5} \geq 110,9 \text{ А.}$$

Выбираем предохранитель ПН2-250 с  $I_{н.вст} = 125 \text{ А}$  [4].

## **7.2. Выбор расцепителей автоматических выключателей**

Номинальные токи расцепителей выбирают по длительному расчетному току линии:

$$I_{н.р} \geq I_p. \quad (7.7)$$

Ток срабатывания (отсечки) электромагнитного или комбинированного расцепителя ( $I_{ср.э}$ ) проверяется по пиковому току линии  $I_{кр}$ :

$$I_{ср.э} \geq K_n I_{кр}, \quad (7.8)$$

где  $K_n$  – коэффициент надежности отстройки отсечки от пикового тока, учитывающий: наличие апериодической составляющей в пиковом токе; возможный разброс тока срабатывания отсечки относительно уставки; некоторый запас по току.

Значения  $K_n$  принимаются в зависимости от типа автомата. При отсутствии таких данных можно принять  $K_n = 1,25 \dots 1,5$ .

Селективность срабатывания последовательно включенных автоматических выключателей обеспечивается в тех случаях, когда их защитные характеристики не пересекаются. При отсутствии защитных характеристик каждый автомат на схеме сети по мере приближения к источнику питания должен иметь номинальный ток расцепителя не менее чем на ступень выше, чем предыдущий.

**Пример.** Рассчитать ток и выбрать автоматический выключатель для защиты от перегрузки и токов короткого замыкания линии, по которой питается асинхронный двигатель мощностью 11 кВт,  $\cos \varphi_n = 0,87$ ;  $\eta_n = 87,5 \%$ ;  $I_n / I_n = 7,5$ .

**Решение**

Определяем длительный расчетный ток:

$$I_p = i_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H}; I_p = \frac{11}{1,73 \cdot 0,380 \cdot 0,87 \cdot 0,875} = 22A.$$

Выберем номинальный ток расцепителя из условия:

$$I_{n,p} \geq I_p \geq 22A.$$

Автоматический выключатель серии А3710Б с  $I_{n,p} = 25 A$ .

Устанавливаем невозможность срабатывания автоматического выключателя при пуске:

$$I_{ср.э} \geq 1,25I_{кр}.$$

На электромагнитном расцепителе ток трогания установлен на  $10I_{нр}$ , значит  $I_{ср.эл} = 250 A$ .

Максимальный кратковременный ток:

$$I_{кр} = I_p = 22 \cdot 7,5 = 165A; I_{ср.э} > 1,25;$$

$$I_{кр} = 1,25 \cdot 165 = 206,3A; 250A > 206,3A.$$

### 7.3. Выбор тепловых реле магнитных пускателей

Тепловая защита отключает электродвигатель от электрической сети, если вследствие протекания в электрической цепи повышенных токов имеет место более высокий нагрев его обмоток.

Такая перегрузка возникает при увеличении нагрузки на валу электродвигателя или при обрыве одной из фаз трехфазного электродвигателя.

Тепловая защита от перегрузки двигателей может быть осуществлена с помощью тепловых реле, которые устанавливаются в комплекте с

электромагнитными пускателями.

Номинальные токи тепловых элементов реле выбирают по длительному расчетному току ( $I_p$ ) или номинальному току электродвигателя ( $I_n$ ):

$$I_{н.т} \geq I_p \text{ или } I_{н.т} \geq I_n.$$

**Пример.** Рассчитать ток и выбрать уставку теплового реле серии РТЛ магнитного пускателя ПМЛ, защищающего от перегрузки электродвигатель мощностью 5,5 кВт,  $\cos \varphi_n = 0,85$ ,  $\eta_n = 85,5 \%$ .

**Решение.** Определяем длительный расчетный ток электродвигателя

$$I_p = i_n = \frac{p_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n}; I_p = \frac{5,5}{1,73 \cdot 0,380 \cdot 0,85 \cdot 0,855} = 11,6 \text{ А.}$$

Выбираем магнитный пускатель серии ПМЛ200004 второй величины с РТЛ-101604,  $I_{н м} = 12 \text{ А}$  [4].

### Вопросы для самопроверки

1. По каким основным техническим параметрам выбирают автоматические выключатели?
2. Какие автоматические выключатели по исполнению Вам известны? Их отличительная особенность и назначение.
3. Как выбирается номинальная установка на ток срабатывания теплового расцепителя выключателя?
4. Что такое селективность выключателей по току? Как она реализуется в радиальной схеме электроснабжения потребителей?
5. Назовите условия выбора предохранителей.
6. Назовите назначение и условие выбора магнитного пускателя.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. – Текст: непосредственный.
2. Роженцова, Н. В. Подготовка к государственной итоговой аттестации выпускников по профилю 13.03.02 «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений» направления подготовки «Электроэнергетика и электротехника»: учебно-методическое пособие / Н. В. Роженцова, А. Р. Денисова, Л. В. Фетисов – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. – 182 с. – Текст: непосредственный.
3. Сидоренко, С. Р. Системы электроснабжения напряжением до 1 кВ: учебн. пос. по курсу «Электроснабжение». – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т., 2003. – С. 74. – Текст: непосредственный.
4. Вахнина, В. В. Системы электроснабжения: учебно-методическое пособие для практических занятий и курсового проектирования / В. В. Вахнина, А.Н. Черненко. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2015. – 53 с. – Текст: непосредственный.
5. Рожин, А. Н. Внутрицеховое электроснабжение: учеб. пособие для выполнения курсового и дипломного проектов / А. Н. Рожин, Н. С. Бакшаева. – Киров: Изд-во ВятГУ, 2006. – 259 с. – Текст: непосредственный.
6. Шеховцов, В. П. Расчет и проектирование схем электроснабжения: методическое пособие для курсового проектирования. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М. – 214 с. – Текст: непосредственный.
7. Инструкция по проектированию городских электрических сетей. РД 34.20.185-94. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 54 с. – Текст: непосредственный.
8. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. 2014-07-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 16 с. – Текст: непосредственный.
9. Роженцова, Н. В. Проектирование внутрицехового электроснабжения: программа, методические указания, задания на контрольную работу и курсовой проект. Для студентов-заочников / Н. В. Роженцова, А. Р. Денисова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2008. – 72 с. – Текст: непосредственный.