

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**Учреждение образования**  
**«Гродненский государственный электротехнический колледж»**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ**  
**ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

**Специальность 2-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)»**

Автор: Гаро С.А.

Методические указания рассмотрены и одобрены на заседании предметной (цикловой) комиссии электротехнических дисциплин.

Протокол № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Председатель цикловой комиссии \_\_\_\_\_ И.А. Юшкевич

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| Общие сведения  | 4  |
| Требования к выполнению курсового проекта   | 4  |
| Содержание пояснительной записки  | 5  |
| Введение  | 5  |
| 1 Описание технологического процесса  | 5  |
| 2 Характеристика объекта электроснабжения   | 5  |
| 3 Выбор и обоснование схемы электроснабжения  | 6  |
| 4 Выбор электродвигателей, пусковых и защитных аппаратов                                      | 6  |
| 4.1 Выбор электродвигателей   | 6  |
| 4.2 Выбор магнитных пускателей и тепловых реле  | 7  |
| 4.3 Выбор защитных аппаратов  | 7  |
| 5 Расчет нагрузок цеха  | 9  |
| 5.1 Основные величины и коэффициенты электрических нагрузок                                   | 9  |
| 5.2 Метод расчётного коэффициента   | 10 |
| 5.3 Вспомогательные методы расчета электрических нагрузок                                     | 13 |
| 5.3.1 Метод коэффициента спроса   | 13 |
| 5.3.2 Метод удельного расхода электроэнергии на единицу продукции                             | 13 |
| 5.3.3 Определение расчетной нагрузки по удельной нагрузке на единицу производственной площади | 13 |
| 5.4 Расчетные нагрузки однофазных электроприемников в трехфазных сетях                        | 13 |
| 5.5 Определение расчетной нагрузки цеха   | 14 |
| 6 Выбор оборудования внутрицеховой распределительной сети                                     | 15 |
| 6.1 Выбор сечений жил проводов и кабелей  | 15 |
| 6.2 Выбор шинпроводов   | 16 |
| 6.3 Определение потерь напряжения в цеховой сети  | 17 |
| 6.4 Расчет троллейных линий   | 18 |
| 6.5 Выбор цеховых распределительных устройств   | 19 |
| 7 Расчет осветительной сети цеха  | 19 |
| 7.1 Выбор источников света и светильников   | 19 |
| 7.2 Выбор системы и вида освещения, нормируемой освещенности                                  | 20 |

|       |  |  |
|-------|--|--|
| 7.3   | Размещение светильников  | 21                                     |
| 7.4   | Расчет электрического освещения  | 22                                     |
| 7.4.2 | Точечный метод   | 23                                     |
| 7.5   | Расчет электрической осветительной сети и выбор осветительных щитков                             | 24                                     |
| 7.5.1 | Расчет сети по допустимому нагреву   | 24                                     |
| 7.5.2 | Расчет сети по потере напряжения   | 24                                     |
| 7.6   | Выбор осветительных щитков и мест их размещения  | 26                                     |
| 7.7   | Конструктивное исполнение осветительных электрических сетей                                      | 27                                     |
| 7.8   | Расчет аварийного освещения  | 27                                     |
| 8     | Компенсация реактивной мощности и выбор силовых трансформаторов                                  | 28                                     |
| 8.1   | Выбор силовых трансформаторов  | 28                                     |
| 8.2   | Расчет мощности компенсирующих устройств   | 29                                     |
| 8.3   | Определение мощности (НБК) низковольтных батарей конденсаторов                                   | 30                                     |
| 8.3.1 | Определение мощности батарей конденсаторов по условию оптимального числа цеховых трансформаторов | 30                                     |
| 8.4   | Определение мощности (ВБК) высоковольтных батарей конденсаторов                                  | 31                                     |
| 8.5   | Выбор автоматических выключателей для трансформаторов  | 31                                     |
| 9     | Расчет токов короткого замыкания   | 31                                     |
| 10.2  | Выбор сечений жил кабелей напряжением выше 1кВ   | 33                                     |
| 11    | Выбор электрических аппаратов  | 35                                     |
| 11.1  | Условия выбора электрических аппаратов   | 35                                     |
|       | Графическая часть  | 37                                     |
|       | Список используемых источников   | 38                                     |
|       | ПРИЛОЖЕНИЯ   |  |
|       |  | <b>Ошибка! Закладка не определена.</b> |

## **Общие сведения**

Учебным планом по дисциплине «Электроснабжение» для специальности 2 - 43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)» предусмотрено выполнение курсового проекта. Выполнение курсового проекта – это квалификационная работа учащегося, предназначенная для объективного контроля степени подготовленности его к самостоятельному решению вопросов проектирования систем электроснабжения. В настоящем методическом пособии даны указания по подготовке и порядку выполнения курсового проекта.

Основной целью пособия является ознакомление учащихся с примерной тематикой курсовых проектов и характером требований, предъявляемых к курсовому проекту, что поможет учащемуся внести планомерность в работу и позволит стимулировать творческий подход к разработке всех разделов курсового проекта.

В период курсового проектирования, учащиеся должны показать умение использовать полученные в процессе обучения в колледже свои знания, умение пользоваться научно-технической литературой, технически грамотно оформлять результаты своей работы.

Работа над курсовым проектом осуществляется под контролем руководителя курсового проектирования, который выдает учащемуся задание на курсовое проектирование, и консультирует его.

Курсовой проект состоит из пояснительной записки и графической части.

Рекомендуемые темы проекта

1. Электроснабжение завода.
2. Электроснабжение цеха (участка) предприятия.
3. Электроснабжение гражданского здания.

### **Требования к выполнению курсового проекта**

Пояснительная записка оформляется на листах формата А4 в количестве 25-30 листов. Высота строчных букв в основном тексте не менее 3,5 мм (при выполнении на ПЭВМ шрифт Times New Roman №14, интервал – полуторный).

Каждый лист текстового документа должен иметь рамку. Расстояние от рамки до границы текста: в начале строк – не менее 5 мм; в конце строк – не менее 3,5 мм; при абзаце или красной строке – слева не менее 15 мм от рамки.

Расстояния от верхней или нижней строки текста до нижней или верхней внутренней рамки листа должно быть не менее 10 мм.

Пояснительная записка делится на разделы и подразделы. Каждый раздел рекомендуется начинать с нового листа. Разделы и подразделы должны иметь заголовки. Заголовки следует начинать с прописной буквы без точки в конце. Переносы слов в заголовках не допускаются.

Разделы должны иметь порядковые номера, обозначенные арабскими цифрами в пределах всей ПЗ. Изложение материала должно идти от первого лица множественного числа. Сокращение слов в тексте и подписях под иллюстрациями не допускаются; исключение составляют общепринятые сокращения. Оформление текста ПЗ и графической части производится в соответствии с действующими стандартами ЕСКД.

Рекомендуется применять сплошную нумерацию рисунков, схем, таблиц. Все рисунки и таблицы должны иметь названия, которые пишутся над ними, а у рисунков – под ними.

Слово «Таблица» указывают один раз слева над первой частью таблицы, над другими частями пишут слова «Продолжение таблицы» с указанием номера таблицы.

Если в конце страницы таблица прерывается и ее продолжение будет на следующей странице, в первой части таблицы нижнюю горизонтальную линию, ограничивающую таблицу, не проводят.

Листы ПЗ нумеруют, начиная с листа с основной надписью (введение). Нумерация страниц ПЗ и приложений должна быть сквозная. Первый лист – титульный, второй – задание, третий – содержание, четвертый – введение.

В формулах в качестве символов следует применять обозначения, установленные соответствующими стандартами.

Если в документе имеется более одной формулы, то их нумеруют арабскими цифрами в пределах разделов или сквозной нумерацией, номер ставят с правой стороны листа на уровне формулы в круглых скобках.

Значение символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, должны быть приведены непосредственно под формулой. Значение каждого символа с новой строки дается в той последовательности, в какой они приведены в формуле.

Первая строка расшифровки должна начинаться со слов «где», без двоеточия после него. Ссылки в тексте на порядковый номер формулы дают в скобках.

## **Содержание пояснительной записки**

### **Введение**

Во введении дается краткая характеристика производства отражается значение электроснабжения того отделения (цеха), по которому пишется проект, обосновываются актуальность разрабатываемой темы, преимущества предлагаемой к внедрению схемы электроснабжения и целесообразность ее применения.

### **1 Описание технологического процесса**

В разделе дается описание технологического процесса производства продукции проектируемого отделения (цеха).

### **2 Характеристика объекта электроснабжения**

В разделе дается характеристика основных приемников электроэнергии цеха по роду тока, напряжению, режиму работу и требованиям, предъявляемым к бесперебойности электроснабжения, размеры цеха, способы питания силовой и осветительной нагрузок. Для решения вопросов по выбору исполнения электрических сетей, подстанций и электрооборудования необходимо дать характеристику производственной среды с классификацией помещений по окружающей среде.

Исходные данные для проектирования

Исходные данные приводятся в виде таблицы по форме таблицы 1 на основании выданного варианта задания.

Таблица 1 – Исходные данные

| Наименование, тип | Номер на плане | $P_{эп}$ , кВт | Примечание |
|-------------------|----------------|----------------|------------|
| Кран-балка        | 18             | 15             | ПВ=60%     |
| Заточной станок   | 41,42          | 1,5            | 1-фазный   |
| Токарный станок   | 12,14          | 2,5            |            |
| Насос             | 15             | 4              |            |
| Вентилятор        | 2              | 4,5            |            |

### 3 Выбор и обоснование схемы электроснабжения

В этом разделе следует разработать принципиальную схему электроснабжения потребителей цеха.

Необходимо обосновать применение радиальной, магистральной и цепочечной схемы или их сочетаний. При этом следует учитывать характеристику окружающей среды, мощность и режим работы потребителей, требования надежности и качество напряжения.

### 4 Выбор электродвигателей, пусковых и защитных аппаратов

В этом разделе необходимо выбрать:

- электродвигатели для электроприемников;
- пускатели для всех электродвигателей;
- автоматические выключатели для всех электроприемников;
- автоматы для групп электроприемников;
- распределительные пункты (РП) или шкафы распределительные (ШР).

#### 4.1 Выбор электродвигателей

Электродвигатели для привода производственных механизмов выбираются по напряжению, режиму работы, частоте вращения и условиям окружающей среды [2].

Электродвигатели необходимо выбирать таким образом, чтобы его номинальная мощность  $P_{нд}$  соответствовала мощности приводного механизма  $P_{мех}$ , т.е.

$$P_{нд} \geq P_{мех}$$

При этом номинальная мощность электродвигателей повторно-кратковременного режима работы (краны, подъемники и т.п.) определяется по формуле:

$$P_{нд} = P_{п} \cdot \sqrt{ПВп} \quad (4.1)$$

где  $ПВп$  – паспортная продолжительность включения в относительных величинах;

$P_{п}$  – паспортная мощность электродвигателя.

При выборе электродвигателей по частоте вращения необходимо учитывать частоту вращения приводного механизма. Обычно применяются двигатели с частотой вращения 1500 об/мин. Для нерегулируемых приводов следует широко применять асинхронные электродвигатели переменного тока серии АИ.

Электродвигатели, устанавливаемые в помещениях с нормальной средой, как правило, должны иметь исполнение IP23 или IP44.

#### 4.2 Выбор магнитных пускателей и тепловых реле

Магнитные пускатели предназначены для дистанционного управления асинхронными короткозамкнутыми электродвигателями. С их помощью также осуществляется нулевая защита. В комплекте с тепловым реле пускатели выполняют защиту двигателей от перегрузки.

При длительном режиме работы или редких включениях двигателя номинальный ток нагревательного элемента теплового реле  $I_{HЭ}$  выбирает исходя из номинального тока двигателя  $I_H$  из соотношения:

$$I_{HЭ} \geq I_H \quad (4.2)$$

Необходимо учитывать место установки реле (в защищенном кожухе магнитного пускателя или на открытой панели) и температуру помещения.

#### 4.3 Выбор защитных аппаратов

В качестве аппаратов защиты электроприемников и электрических сетей промышленных предприятий от коротких замыканий следует широко использовать плавкие предохранители, не допуская необоснованного применения автоматических выключателей. Автоматы должны устанавливаться в случаях:

- необходимости автоматизации управления;
- необходимости обеспечения более быстрого по сравнению с предохранителями восстановления питания, если при этом не имеют решающего значения вероятность неселективных отключений и отсутствие эффекта ограничения тока короткого замыкания;
- частых аварийных отключений (испытательные, лабораторные и т. п. установки).

В остальных случаях рекомендуется применять предохранители с наполнителем типа НПН2 и ПН2. Предохранители с закрытой плавкой вставкой без наполнителя (например, ПР2) допускаются применять в небольших, преимущественно передвижных, установках и при расширении действующих установок с такими предохранителями.

Номинальный ток плавкой вставки  $I_{ВС}$  предохранителя определяется по величине длительного расчетного тока  $I_{ДЛ}$ :

$$I_{ВС} \geq I_{ДЛ} \quad (4.3)$$

и по условию перегрузок пусковыми токами:

$$I_{ВС} \geq I_{КР}/\alpha \quad (4.4)$$

где  $I_{КР}$  – максимальный кратковременный (пиковый) ток;

$\alpha$  – коэффициент кратковременной тепловой перегрузки, который при легких условиях пуска принимается равным 2,5, при тяжелых – 1,6 - 2,0, для ответственных электроприемников – 1,6.

Из условий (4.3) и (4.4) по расчетной величине  $I_{ВС}$  по табл.1 приложения выбирается стандартное значение номинального тока плавкой вставки.

При выборе предохранителя для одного электродвигателя в качестве  $I_{ДЛ}$  принимается его номинальный ток  $I_H$ , а в качестве  $I_{КР}$  – пусковой ток  $I_{ПУСК}$ .

Номинальный ток электродвигателя в А определяется по выражению:

$$I_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{\sqrt{3} U_H \cdot \cos \varphi_H \cdot \eta_H} \quad (4.5)$$

где  $P_H$  – номинальная мощность двигателя, кВт;

$U_H$  – номинальное напряжение, В;

$\eta_H$  – КПД при номинальной нагрузке;

$\cos \varphi_H$  – номинальный коэффициент мощности.

Пусковой ток двигателя:

$$I_{ПУСК} = K_{ПУСК} \cdot I_H \quad (4.6)$$

где  $K_{ПУСК}$  – кратность пускового тока по отношению к  $I_H$ .

Для магистральных линий, питающих группу электроприемников, максимальный кратковременный ток:

$$I_{КР} = I_{ПУСК} + I_{ДЛ} \quad (4.7)$$

где  $I_{ПУСК}$  – пусковой ток двигателя или группы одновременно включаемых двигателей, при пуске которых кратковременный ток линии достигает наибольшей величины;

$I_{ДЛ}$  – длительный расчетный ток линий, определяемый без учета рабочего тока пускаемых электродвигателей.

При числе электроприемников в группе больше трех пиковый ток линии может определяться по формуле:

$$I_{КР} = I_{ПМ} + (I_{ДЛ} - K_{И} \cdot I_{НМ}) \quad (4.8)$$

$I_{ПМ}$  – наибольший из пусковых токов приемников в группе;

$I_{НМ}$  – номиналы или (при ПВ = 100%) ток электроприемника, имеющего наибольший пусковой ток;

$K_{И}$  – коэффициент использования, характерный для приемника  $I_{ПМ}$ .

Номинальный ток плавкой вставки предохранителя, защищающего ответвление к сварочному аппарату, выбирается из соотношения:

$$I_{ВС} \geq 1,2 \cdot I_{НС} \cdot \sqrt{ПВ} \quad (4.9)$$

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

Для защиты ответвлений к прочим приемникам, не имеющим пиковых токов, номинальный ток плавкой вставки выбирается из условия:

$$I_{ВС} \geq I_H \quad (4.10)$$

где  $I_H$  – номинальный ток при ПВ = 100%.

По условию селективности номинальные токи плавких вставок двух последовательно расположенных предохранителей по направлению потока энергии должны различаться не менее чем на две ступени.

В случае осуществления защиты автоматическими выключателями в цеховых распределительных устройствах, на ответвлениях от магистральных шинопроводов, а также в щитах трансформаторных подстанций (ТП) рекомендуется применять выключатели серии ВА, технические данные которых приводятся в табл.2 и 3 приложения.

Номинальные токи автомата  $I_{НА}$  и его расцепителей  $I_{НР}$  выбирают по длительному расчетному току линии:

$$I_{HA} \geq I_{ДЛ} \quad (4.11)$$

$$I_{HP} \geq I_{ДЛ} \quad (4.12)$$

Ток срабатывания (отсечки) электромагнитного расцепителя  $I_{CPЭ}$  проверяется по максимальному кратковременному току линии:

$$I_{CPЭ} \geq 1,25 \cdot I_{KP} \quad (4.13)$$

Выбирая автоматические выключатели, нужно по возможности обеспечивать селективность их работы. При наличии у выключателей, расположенных последовательно друг за другом, только электромагнитных расцепителей при коротких замыканиях селективное отключение, как правило, не обеспечивается.

## 5 Расчет нагрузок цеха

Определение электрических нагрузок производится с целью выбора числа и мощности трансформаторов, выбора кабелей и шинопроводов, проверки их по нагреву и потере напряжения, для расчета отклонений и колебаний напряжения, выбора коммутационно-защитной аппаратуры и компенсирующих устройств. Для расчета электрических нагрузок рекомендуется применять следующие методы: метод коэффициента максимума и средней мощности.

### 5.1 Основные величины и коэффициенты электрических нагрузок

Электрические нагрузки промышленных предприятий определяют выбор всех элементов системы электроснабжения: линий электропередачи, трансформаторных подстанций, питающих и распределительных сетей. Поэтому определение электрических нагрузок является важным этапом проектирования систем электроснабжения промышленных предприятий. Завышение расчетных нагрузок приводит к перерасходу проводникового материала, увеличению мощности трансформаторов и, следовательно, к ухудшению технико-экономических показателей электроснабжения. Занижение нагрузок ведет к уменьшению пропускной способности электрических сетей, увеличению потерь мощности, и может вызвать нарушение нормальной работы силовых и осветительных электроприемников.

Дадим определение основных величин и укажем значения коэффициентов, применяемых при подсчете электрических нагрузок.

Номинальная (установленная) мощность электродвигателей длительного режима представляет собой паспортную мощность двигателя в киловаттах, обозначенную на заводской табличке. Для двигателей повторно-кратковременного режима номинальная мощность приводится к длительному режиму ( $PВ = 100\%$ ) по формуле (4.1.)

Для сварочных трансформаторов номинальная мощность в киловаттах:

$$P_H = S_{П} \cdot \cos \varphi_{П} \cdot \sqrt{ПВ_{П}} \quad (5.1)$$

где  $S_{П}$  – паспортная мощность трансформатора, кВ·А;

$\cos \varphi_{П}$ ,  $ПВ_{П}$  – соответственно паспортные значения коэффициента мощности и продолжительности включения.

Коэффициент использования одного ( $K_{и}$ ) или группы ( $K_{г}$ ) приемников представляет собой отношение средней активной мощности одного ( $P_{СМ}$ ) или

группы ( $P_{CM}$ ) приемников за наиболее загруженную смену к номинальной мощности одного ( $P_H$ ) или группы ( $P_H$ ) приемников:

$$k_{II} = P_{CM}/P_H \quad (5.2)$$

$$K_{II} = P_{CM}/P_H \quad (5.3)$$

Для электроприемников одного режима работы значение индивидуального  $k_{II}$  и группового  $K_{II}$  коэффициентов совпадают.

Для группы электроприемников с разными режимами работы групповой коэффициент использования:

$$K_{II} = \sum P_{CM} / \sum P_H \quad (5.4)$$

где  $\sum P_{CM}$  – суммарная средняя активная мощность;

$\sum P_H$  – суммарная номинальная активная мощность.

Средние значения коэффициента использования  $K_{II}$  и мощности  $\cos\varphi$  для различных приёмников электроэнергии приведены в (табл. 11 приложения).

Расчётный коэффициент  $K_P$  ( $K'_P$ ) представляет собой отношение расчётного максимума активной (реактивной) мощности нагрузки группы электроприёмников к средней мощности нагрузки за наиболее загруженную смену:

$$K_P = P_P/P_{CM} \quad (5.5)$$

$$K'_P = Q_P/Q_{CM} \quad (5.6)$$

где  $P_P, Q_P$  – расчётные активная и реактивная нагрузки;

$Q_{CM}$  – средняя реактивная нагрузка за наиболее загруженную смену.

Средние нагрузки за наиболее загруженную смену силовых электроприёмников одинакового режима работы определяются по формулам:

$$P_{CM} = K_{II} \cdot P_H \quad (5.7)$$

$$Q_{CM} = P_{CM} \cdot \operatorname{tg}\varphi \quad (5.8)$$

где  $\operatorname{tg}\varphi$  - среднее значение коэффициента реактивной мощности для электроприёмников данного режима работы.

Коэффициент спроса по активной мощности  $K_C$  характеризуется отношением расчётного максимума активной мощности нагрузки группы электроприёмников к их суммарной мощности:

$$K_C = P_P/P_H = K_{II} \cdot K_P \quad (5.9)$$

Величины коэффициентов спроса для различных приёмников электроэнергии приведены в табл. 22 приложения.

## 5.2 Метод расчётного коэффициента

В настоящее время этот метод является основным при определении электрических нагрузок промышленных предприятий. Согласно данному методу активная нагрузка группы электроприёмников  $P_P$  определяется по формуле:

$$P_P = K_P \cdot K_{II} \cdot P_H \quad (5.10)$$

где  $K_{II}$  – групповой коэффициент использования;

$P_H$  – суммарная номинальная нагрузка группы электроприёмников, кВт;

$K_P$  – расчётный коэффициент.

Величину  $K_P$  находят по таблице (5.1) в зависимости от величины группового коэффициента использования за наиболее загруженную смену и эффективного числа электроприёмников в группе  $n_{\Sigma}$ .

Эффективное (приведённое) число электроприёмников определяется по формуле:

$$n_{\text{Э}} = (\sum P_H)^2 / \sum P_H^2 \quad (5.11)$$

Допускается принимать  $n_{\text{Э}} = n$  при величине отношения:

$$m = P_{H \max} / P_{H \min} \leq 3 \quad (5.12)$$

где  $P_{H \max}$  и  $P_{H \min}$  – соответственно номинальная мощность наибольшего и наименьшего электроприёмника в группе.

При определении величины  $m$  могут быть исключены наименьшие электроприёмники группы, суммарная мощность которых не превышает 5% номинальной мощности всей группы. Число этих наименьших электроприёмников при определении  $n_{\text{Э}}$  также не учитывается. Существуют приближенные способы нахождения  $n_{\text{Э}}$ . При  $m > 3$  и  $K_H \geq 0,2$   $n_{\text{Э}}$  определяется по формуле:

$$n_{\text{Э}} = (2 \sum P_H) / P_{H \max} \quad (5.13)$$

Если найденное по этой формуле  $n_{\text{Э}}$  окажется больше  $n$ , следует принимать  $n_{\text{Э}} = n$ . При  $m > 3$  и  $K_H < 0,2$  эффективное число электроприёмников находится по рисунку 5.1.

Порядок определения  $n_{\text{Э}}$  следующий:

- выбирают наибольший по номинальной мощности электроприемник рассматриваемой группы;
- определяют электроприемники, номинальная мощность которых равна или больше половины мощности наибольшего электроприемника;
- подсчитывают их число  $n_1$  и их мощность  $P_{H1}$ , а также суммарную номинальную мощность всех рабочих электроприемников группы  $P_H$ ;
- находят относительные значения числа и мощности наиболее крупных приемников группы.

$$n_{1*} = n_1 / n \quad (5.13)$$

$$P_{1*} = P_{H1} / P_H \quad (5.14)$$

По полученным значениям  $n_{1*}$  и  $P_{1*}$  рисунку 5.1 определяют величину  $n_{\text{Э}*}$ , а затем вычисляют  $n_{\text{Э}} = n_{\text{Э}*} \cdot n$ .

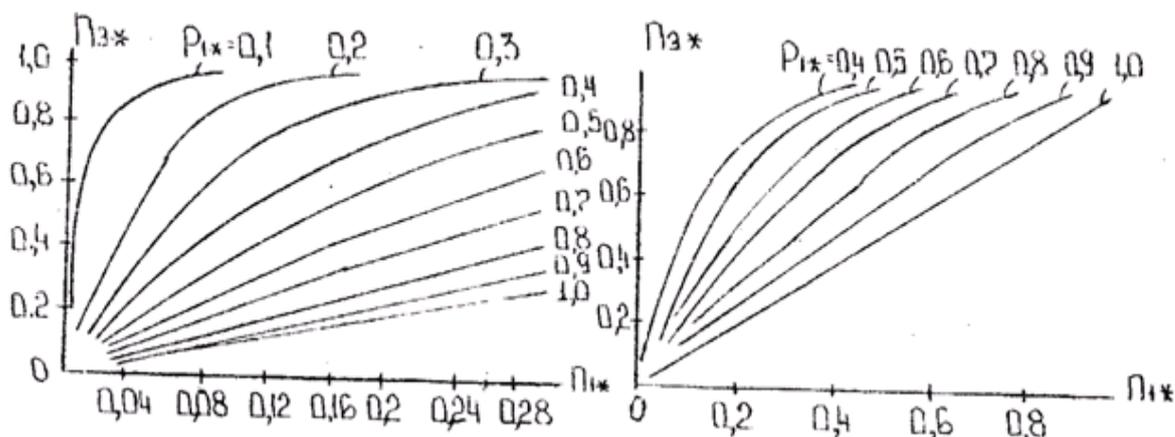


Рисунок 5.1 – Графики для определения эффективного числа

Таблица 5.1 – Значения коэффициентов расчётной нагрузки  $K_P$  для питающих сетей напряжением до 1 кВ

| $n_3$    | Коэффициенты использования $K_{и}$ |          |          |          |          |          |          |          |           |
|----------|------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
|          | 0,1                                | 0,15     | 0,2      | 0,3      | 0,4      | 0,5      | 0,6      | 0,7      | 0,8       |
| <b>1</b> | <b>2</b>                           | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>9</b> | <b>10</b> |
| 1        | 8,00                               | 5,33     | 4,00     | 2,67     | 2,00     | 1,6      | 1,33     | 1,14     | 1,0       |
| 2        | 6,22                               | 4,33     | 3,39     | 2,45     | 1,98     | 1,6      | 1,33     | 1,14     | 1,0       |
| 3        | 4,05                               | 2,89     | 2,31     | 1,74     | 1,45     | 1,34     | 1,22     | 1,14     | 1,0       |
| 4        | 3,24                               | 2,35     | 1,91     | 1,47     | 1,25     | 1,21     | 1,12     | 1,06     | 1,0       |
| 5        | 2,84                               | 2,09     | 1,72     | 1,16     | 1,16     | 1,16     | 1,08     | 1,03     | 1,0       |
| 6        | 2,64                               | 1,96     | 1,62     | 1,14     | 1,14     | 1,13     | 1,06     | 1,01     | 1,0       |
| 7        | 2,49                               | 1,86     | 1,54     | 1,12     | 1,12     | 1,1      | 1,04     | 1,0      | 1,0       |
| 8        | 2,37                               | 1,78     | 1,48     | 1,1      | 1,1      | 1,08     | 1,02     | 1,0      | 1,0       |
| 9        | 2,27                               | 1,71     | 1,43     | 1,09     | 1,09     | 1,07     | 1,01     | 1,0      | 1,0       |
| 10       | 2,18                               | 1,65     | 1,39     | 1,07     | 1,07     | 1,05     | 1,0      | 1,0      | 1,0       |
| 11       | 2,11                               | 1,61     | 1,35     | 1,06     | 1,06     | 1,04     | 1,0      | 1,0      | 1,0       |
| 12       | 2,04                               | 1,56     | 1,32     | 1,05     | 1,05     | 1,03     | 1,0      | 1,0      | 1,0       |
| 13       | 1,99                               | 1,52     | 1,29     | 1,04     | 1,04     | 1,01     | 1,0      | 1,0      | 1,0       |
| 14       | 1,94                               | 1,49     | 1,27     | 1,02     | 1,02     | 1,0      | 1,0      | 1,0      | 1,0       |
| 15       | 1,89                               | 1,46     | 1,25     | 1,0      | 1,0      | 1,0      | 1,0      | 1,0      | 1,0       |
| 16       | 1,85                               | 1,43     | 1,23     | 1,0      | 1,0      | 1,0      | 1,0      | 1,0      | 1,0       |
| 17       | 1,81                               | 1,41     | 1,21     | 1,0      | 1,0      | 1,0      | 1,0      | 1,0      | 1,0       |
| 18       | 1,78                               | 1,39     | 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                               | 1,35     | 1,16     | 1,0      | 1,0      | 1,0      | 1,0      | 1,0      | 1,0       |
| 21       | 1,69                               | 1,33     | 1,15     | 1,0      | 1,0      | 1,0      | 1,0      | 1,0      | 1,0       |
| 22       | 1,67                               | 1,31     | 1,13     | 1,0      | 1,0      | 1,0      | 1,0      | 1,0      | 1,0       |
| 23       | 1,64                               | 1,3      | 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       |

Расчетную нагрузку группы или многодвигательного привода, имеющих не более трех электроприемников, определяют как сумму их номинальных мощностей.

При числе электроприемников в группе больше трех, но при эффективном их числе меньше четырех, расчетная нагрузка может быть принята как для группы электроприемников с  $n_3 = 4$ , но не менее суммы номинальных мощностей трех наибольших электроприемников.

Расчетная реактивная нагрузка группы  $Q_P$  определяется по формуле:

$$Q_P = K'_P \cdot Q_{СМ} \quad (5.16)$$

Величина  $K'_P = 1,1$  при  $K_{И} < 0,2$  и  $n_{Э} \leq 100$ , а также при  $K_{И} \geq 0,2$  и  $n_{Э} \leq 10$ . Во всех остальных случаях  $K'_P = 1$ .

Полная расчетная нагрузка силовых электроприемников по распределительному пункту, магистрали или цеху определяется по формуле:

$$S_P = \sqrt{P_P^2 + Q_P^2} \quad (5.17)$$

Расчетный ток группы приемников:

$$I_P = S_P / \sqrt{3} \cdot U_H \quad (5.18)$$

По значению найденного тока выбирают сечение проводов, кабелей, распределительные пункты и шинопроводы.

### 5.3 Вспомогательные методы расчета электрических нагрузок

#### 5.3.1 Метод коэффициента спроса

При отсутствии данных о количестве электроприемников, их мощности, об удельном потреблении электроэнергии допускается в ориентировочных расчетах определять нагрузку цеха или предприятия по формулам:

$$P_P = K_C \cdot P_H \quad (5.19)$$

$$Q_P = P_P \cdot \operatorname{tg}\varphi \quad (5.20)$$

Метод коэффициента спроса целесообразно использовать для приближенного определения расчетных нагрузок цехов и предприятия в целом.

#### 5.3.2 Метод удельного расхода электроэнергии на единицу продукции

При наличии данных об удельных расходах электроэнергии на единицу продукции  $W_{уд}$ , готовом выпуске продукции  $M$  и годовом числе часов использования максимальной нагрузки  $T_M$  расчетная нагрузка цеха или предприятия в целом может быть определена по формуле:

$$P_P = W_{уд} \cdot M / T_M \quad (5.21)$$

В этом случае значения  $Q_P$  и  $S_P$  определяются по выражениям (5.20) и (5.17).

#### 5.3.3 Определение расчетной нагрузки по удельной нагрузке на единицу производственной площади

Согласно данному методу расчетная активная нагрузка группы приемников находится по формуле:

$$P_P = P_Y \cdot F \quad (5.22)$$

где  $P_Y$  – удельная расчетная мощность на  $1 \text{ м}^2$  производственной площади, кВт/м<sup>2</sup>;

$F$  – площадь, на которой размещена группа приемников, м<sup>2</sup>.

Величины  $Q_P$ ,  $S_P$  и  $I_P$  рассчитывают по формулам (5.20), (5.17) и (5.18). Значения  $P_Y$  зависят от вида производства и выявляются путем статистических исследований. Метод можно применять при ориентировочных расчетах нагрузок производств с большой динамичностью технологического процесса и относительно равномерно распределенной по площади нагрузкой.

### 5.4 Расчетные нагрузки однофазных электроприемников в трехфазных сетях

Однофазные электроприемники, включенные на фазные и линейные напряжения и распределенные по фазам с неравномерностью не выше 15% по отношению к общей мощности трехфазных и однофазных электроприемников в

группе, учитываются в расчетах как трехфазные той же мощности. При превышении указанной неравномерности расчетная нагрузка однофазных приемников принимается равной утроенному значению нагрузки наиболее загруженной фазы.

При числе однофазных электроприемников  $n \leq 3$  для них определяют условную трехфазную номинальную мощность ( $P_{НУ}$ ) следующим способом:

1) при включении приемников на фазное напряжение:

$$P_{НУ} = 3 \cdot P_{НМФ} \quad (5.23)$$

где  $P_{НМФ}$  – номинальная мощность максимально загруженной фазы;

2) при включении приемников на линейное напряжение:

а) если  $n = 1$

$$P_{НУ} = \sqrt{3} \cdot P_{Н} \quad (5.24)$$

б) если  $n = 2..3$

$$P_{НУ} = 3 \cdot P_{НМФ} \quad (5.25)$$

Расчетную нагрузку группы однофазных приемников при  $n > 3$  и одинаковых значениях  $K_{И}$  и  $\cos \varphi$  определяют по формулам:

$$P_{P} = 3 \cdot K_{P} \cdot K_{И} \cdot P_{НМФ} \quad (5.26)$$

$$Q_{P} = 3 \cdot K'_{P} \cdot K_{И} \cdot P_{НМФ} \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (5.27)$$

Величина  $n_{Э}$  для группы однофазных приемников вычисляется по выражению:

$$n_{Э} = 2 \cdot \sum P_{ном i} / 3 \cdot P_{ном max} \quad (5.28)$$

где  $P_{ном i}$  – номинальная мощность  $i$ -го однофазного приемника, кВт;

$P_{ном max}$  – номинальная мощность наибольшего по мощности приемника в группе, кВт.

## 5.5 Определение расчетной нагрузки цеха

Расчетная силовая нагрузка узла электроприемников (участка, цеха, корпуса т.п.) определяется методом расчетного коэффициента так же, как и для группы приемников. При этом средняя активная и реактивная мощность нагрузки за наиболее загруженную смену подсчитывается по выражениям:

$$P_{СМЦ} = \sum P_{СМ i} \quad (5.29)$$

$$Q_{СМЦ} = \sum Q_{СМ i} \quad (5.30)$$

где  $P_{СМ i}$  и  $Q_{СМ i}$  – средняя активная и реактивная нагрузка за наиболее загруженную смену  $i$ -й группы.

Суммарная установленная мощность цеха:

$$P_{НЦ} = \sum P_{Н i} \quad (5.31)$$

где  $P_{Н i}$  – суммарная номинальная мощность приемников  $i$ -й группы, кВт.

Групповой коэффициент использования узла электроприемников:

$$K_{И} = P_{СМЦ} / P_{НЦ} \quad (5.32)$$

Расчетная активная и реактивная силовая нагрузка цеха:

$$P_{P} = K_{P} \cdot P_{СМЦ} \quad (5.33)$$

$$Q_{P} = K'_{P} \cdot Q_{СМЦ} \quad (5.34)$$

При наличии в узле потребителей с переменным и практически постоянным графиком нагрузки (насосы, вентиляторы, конвейеры, печи сопротивления и т.п.) расчетная нагрузка определится по выражениям:

$$P_P = K_P \cdot P_{CM1} + P_{CM2} \quad (5.35)$$

$$Q_P = K'_P \cdot Q_{CM1} + Q_{CM2} \quad (5.36)$$

где  $P_{CM1}$  и  $Q_{CM1}$  – средние активная и реактивная нагрузки электроприемников с переменным графиком;

$P_{CM2}$  и  $Q_{CM2}$  – то же для электроприемников с постоянным графиком нагрузки.

В тех случаях, когда мощность электроприемников с постоянным графиком меньше 25% суммарной мощности узла, расчетная нагрузка узла определяется как для потребителей с переменным графиком. Если же мощность потребителей с переменным графиком составляет менее 25%, то расчетная нагрузка узла определяется как для приемников с постоянным графиком.

Полная расчетная мощность цеха:

$$S_P = \sqrt{(P_P + P_{PO})^2 + (Q_P + Q_{PO} - Q_K)^2} \quad (5.37)$$

где  $P_{PO}$  и  $Q_{PO}$  – активная и реактивная нагрузка освещения;

$Q_K$  – мощность компенсирующих устройств, устанавливаемых в цехе.

Определив расчетные нагрузки, можно приступать к выбору источника питания цеха, которым может являться цеховой распределительный пункт напряжением до 1 кВ (из панелей Щ070 М и т.п.) или цеховая ТП. При этом следует иметь в виду, что по линиям 380В рационально передавать мощность до 200 кВт при предельной длине до 200 м. С учетом реактивных нагрузок ориентировочно можно считать, что если нагрузка цеха составляет порядка 300 кВА и более, то необходимо рассмотреть вопрос о целесообразности установки цеховой ТП. Единичная мощность трансформатора ТП, как правило, должна быть 630, 1000 или 1600 кВ·А. Возможно применение одной ТП для питания нескольких цехов, по суммарной нагрузке которых производится выбор мощности трансформатора.

## 6 Выбор оборудования внутрицеховой распределительной сети

### 6.1 Выбор сечений жил проводов и кабелей

Сечения жил проводов и кабелей напряжением до 1 кВ по нагреву определяются по таблицам допустимых токов (например, табл. 13 и 14 приложения), составленным для нормальных условий прокладки, в зависимости от расчетных значений длительно допустимых токовых нагрузок ( $I_{доп}$ ) из соотношения:

$$I_{доп} \geq I_P / K_{П} \quad (6.1)$$

где  $I_P$  – расчетный ток проводника;

$K_{П}$  – поправочный коэффициент на условия прокладки проводов и кабелей (при нормальных условиях прокладки  $K_{П} = 1$ ).

Для цеховых электрических сетей, как правило, должны применяться провода и кабели с алюминиевыми жилами. Отметим, что при определении количества проводов, прокладываемых в одной трубе (или жил многожильного

проводника), нулевой рабочий проводник, а также заземляющие и нулевые защитные проводники в расчет не принимаются.

Минимальные сечения жил проводов и кабелей принимаются с учетом их механической прочности, но не менее сечений, указанных в документации на электротехнические изделия, к которым должны быть присоединены проводники. По требованию механической прочности минимальные сечения алюминиевых жил проводов и кабелей для присоединения к неподвижным электроприемникам внутри помещений должны быть не менее 4 мм<sup>2</sup> при прокладке на изоляторах, 2,5 мм<sup>2</sup> – при других способах прокладки.

Сечение нулевого провода следует принимать равным или больше половины фазного сечения, но не менее требуемого по механической прочности.

Выбранные проводники должны соответствовать их защитным аппаратам, что проверяется по условию:

$$I_{доп} \geq \frac{I_3 \cdot K_3}{K_n} \quad (6.2)$$

где  $K_3$  – кратность длительно допустимого тока провода или кабеля по отношению к номинальному току или току срабатывания защитного аппарата, определяемая по табл.11 приложения;

$I_3$  – номинальный ток или ток срабатывания защитного аппарата.

Наличие аппаратов защиты с завышенными значениями  $I_3$  не является обоснованием для увеличения сечения проводников сверх принятого по формуле (6.1). Если условие (6.2) не выполняется, то необходимо проверить надежность срабатывания защиты при коротком замыкании (КЗ) расчетным путем.

При длительном использовании максимума нагрузки ( $T_M \geq 5000$ ч) сечения проводов сетей до 1 кВ (кроме ответвлений к отдельным электроприемникам и осветительных сетей) проверяют по экономической плотности тока. В этом случае допускается повышать экономическую плотность тока на 40% для изолированных проводников сечением 16 мм<sup>2</sup> и менее.

## 6.2 Выбор шинопроводов

Магистральные и распределительные шинопроводы выбирают таким образом, чтобы номинальный ток шинопровода  $I_H$  был не меньше расчетного тока  $I_P$ , т.е.:

$$I_H \geq I_P \quad (6.3)$$

При этом для магистральных шинопроводов  $I_P$  принимают равным номинальному току силового трансформатора.

Распределительные шинопроводы выбирают по расчетному току наиболее нагруженного плеча от точки присоединения питающей линии до конца шинопровода. Для этого предварительно вычисляют ток нагрузки на 1 м шинопровода по формуле:

$$i_{рш} = S_{PШ} / \sqrt{3} \cdot U_H \cdot L_{Ш} \quad (6.4)$$

где  $S_{PШ}$  – полная мощность расчетной нагрузки группы электроприемников, питающихся от шинопровода, кВ·А;

$L_{Ш}$  – длина распределительного шинопровода.

Расчетный ток плеча шинпровода, имеющего длину  $L_p$ , определяется по формуле:

$$I_p = i_{pш} \cdot L_p \quad (6.5)$$

При присоединении питающей линии в начале шинпровода  $L_p = L_{ш}$ . Технические данные шинпроводов приведены в табл.5 и 6 приложения.

### 6.3 Определение потерь напряжения в цеховой сети

Электрические сети до 1 кВ, рассчитанные на нагрев, проверяют на потерю напряжения, за исключением силовых сетей, питающихся от встроенных и пристроенных комплектных ТП.

В нормальном режиме допускаются отклонения напряжения от номинального на зажимах электродвигателей в пределах от -5 до +10%, осветительных приборов – от -5 до +5%, печей сопротивления и дуговых печей – от -5 до +5%.

Для определения напряжения на зажимах электроприемников необходимо найти потери напряжения в питающем трансформаторе  $\Delta U$ , линиях и шинпроводах. Потеря напряжения в трансформаторе в процентах рассчитывается по формуле:

$$\Delta U_T = \beta_T \cdot (U_A \cdot \cos \varphi_T + U_P \cdot \sin \varphi_T) \quad (6.6)$$

где  $\beta_T$  – коэффициент загрузки трансформатора;

$U_A$  и  $U_P$  – активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания  $U_K$ ;

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

Значения  $U_A$  и  $U_P$  в процентах определяются по формулам:

$$U_A = (\Delta P_K / S_T) 100 \quad (6.7)$$

$$U_P = \sqrt{U_K^2 - U_A^2} \quad (6.8)$$

где  $\Delta P_K$  – потери короткого замыкания трансформатора, кВт;

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

Потери напряжения в линии электропередачи в процентах вычисляются по формуле:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_p \cdot L}{U_H} (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi) \quad (6.9)$$

где  $I_p$  и  $L$  – расчетный ток и длина линии;

$r_0$  и  $x_0$  – удельное активное и индуктивное сопротивление линий (табл.31 приложения);

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности нагрузки линии.

В питающем шинпроводе потеря напряжения, которая не должна превышать 1,5 ... 1,8 %, вычисляется по формуле:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot \sum I_p L}{U_H} (r_{0ш} \cdot \cos \varphi + x_{0ш} \cdot \sin \varphi) \quad (6.10)$$

где  $\sum I_p L$  – сумма моментов токовых нагрузок шинпровода;

$r_{0ш}$  и  $x_{0ш}$  – удельное активное и индуктивное сопротивление шинпровода.

Для распределительных шинпроводов с равномерной нагрузкой потеря напряжения не должна быть больше 2...2,5 %. Величина ее определяется по формуле:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 0,5 \cdot I_P \cdot L}{U_H} (r_{0ш} \cdot \cos \varphi + x_{0ш} \cdot \sin \varphi) \quad (6.11)$$

где  $I_P$  и  $L$  – расчетный ток и длина наиболее нагруженного плеча шинпровода.

Значения  $r_{0ш}$  и  $x_{0ш}$  для магистральных и распределительных шинпроводов приведены в табл.5, 6 приложения.

Потерей напряжения в ответвлениях к отдельным электроприемникам можно пренебречь. Тогда напряжение на зажимах электроприемника в % определяют по формуле:

$$U_{\Sigma} = U_X - \sum \Delta U_i \quad (6.12)$$

где  $U_X$  – напряжение холостого хода трансформатора,  $U_X = 105\%$ ;

$\sum \Delta U_i$  – суммарная потеря напряжения в  $i$ -ых элементах сети на пути от ТП до точки, в которой определяется  $U_{\Sigma}$ .

#### 6.4 Расчет троллейных линий

Питание двигателей кранов, кран-балок и тельферов может осуществляться при помощи троллейных линий, выполненных из угловой стали, троллейных шинпроводов или гибкого кабеля (провода). В помещении с нормальной средой, как правило, применяются троллейные линии и троллейные шинпроводы типа ШМТ-АУ2, ТТМТ-АЗУ2. Основные технические данные шинпровода ШМТ-АУ2 приведены в табл.3 приложения.

В крановых установках имеются двигатели для подъема груза, перемещения тележки и моста, которые работают в повторно-кратковременном режиме с низким коэффициентом использования ( $K_{и} = 0,15 \dots 0,35$ ). При расчете троллеев следует учитывать, что на кранах малой грузоподъемности устанавливаются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором серии МТКФ, работающие с  $\cos \varphi = 0,45 \dots 0,5$ , а на кранах большой грузоподъемности – двигатели с фазным ротором серии МТКФ, для которых среднее значение  $\cos \varphi = 0,6$ .

Расчет троллейных линий сводится к выбору размеров угловой стали или типа троллейного шинпровода, удовлетворяющих условиям нагрева и допустимой потере напряжения. Первое условие проверяют сравнением тока тридцатиминутной нагрузки  $I_{30}$  с допустимым током угловой стали  $I_{доп}$  или номинальным током шинпровода  $I_H$ :

$$I_{доп} \geq I_{30} \quad I_H \geq I_{30} \quad (6.13)$$

Величина тока  $I_{30}$  определяется по формуле:

$$I_{30} = \frac{\sqrt{(P_{номп} \cdot K_{30})^2 + (P_{номп} \cdot K_{30} \cdot \tan \varphi)^2}}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (6.14)$$

где  $P_{потр}$  – потребляемая мощность крановой установки при номинальной нагрузке;

$K_{30}$  – коэффициент спроса для крановой установки, определяемый в зависимости от режима работы и приведенного числа электроприемников;

$\tan \varphi$  – среднее значение коэффициента реактивной мощности.

Величина потребляемой мощности:

$$P_{номп} = \sum (P_{Hi} / \eta_i) \quad (6.15)$$

где  $P_{Hi}$  и  $\eta_i$  – номинальная мощность (при ПВ = 100%) и коэффициент полезного действия  $i$ -го двигателя.

Пиковый ток группы крановых двигателей  $I_{ПИК}$  может быть рассчитан по выражению:

$$I_{ПИК} = I_{ПУСК\ M} + (I_{30} - i_{НМ}) \quad (6.16)$$

где  $I_{ПУСК\ M}$  – наибольший из пусковых токов двигателей в группе;

$i_{НМ}$  – номинальный ток двигателя с наибольшим пусковым током.

Потеря напряжения в троллейном шинопроводе в % :

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_{пик}}{U_n} (R_{ш} \cdot \cos \varphi + X_{ш} \cdot \sin \varphi) \quad (6.17)$$

где  $R_{ш}$  и  $X_{ш}$  – активное и индивидуальное сопротивление участка шинопровода.

Напряжение на зажимах электродвигателей крана при всех режимах работы должно быть не ниже 85% номинального.

### **6.5 Выбор цеховых распределительных устройств**

При радиальных схемах питания рекомендуется использовать силовые распределительные шкафы серии ШР II с трехфазными группами плавких предохранителей ПН2 и НП2 для защиты отходящих линий (табл. 10 приложения). Каждый тип шкафа имеет два варианта исполнения: со степенью защиты IP22 (когда типу добавляют символы 22УЗ, например, ШР II - 73701 - 22УЗ) и со степенью защиты IP54 (тип шкафа записывается с символами 54У2, например, ШР II - 73701 -54У2).

Кроме силовых шкафов с предохранителями выпускаются распределительные пункты типа ПР8501 с автоматическими выключателями серии ВА51 (табл.21 приложения), которые применять обоснованно.

Цеховые распределительные устройства (щиты, силовые распределительные пункты, станции управления) должны располагаться как можно ближе к приемникам. При отсутствии ТП в цехе, как правило, предусматривается цеховой распределительный пункт, который рекомендуется выполнять панелями ЩО70М (табл. 4 приложения).

Выбор распредустройств производится:

- 1) по условиям окружающей среды;
- 2) по количеству присоединений;
- 3) по току отходящих линий.

## **7 Расчет осветительной сети цеха**

### **7.1 Выбор источников света и светильников**

Согласно СНБ 2.04.05-98 «Естественное и искусственное освещение» для общего освещения промышленных помещений следует применять газоразрядные лампы для работ I – IV разрядов, а в помещениях без естественного освещения при постоянном пребывании работающих – независимо от разряда. Применение ламп накаливания допускается при технической невозможности применения газоразрядных ламп, а также для освещения вспомогательных бытовых помещений.

Для светильников ГОСТ 13828-74 устанавливает следующие основные типы кривых силы света: К – концентрированная, Г – глубокая, Д – косинусоидная, Л – полуширокая, М – равномерная, Ш – широкая, С – синусная. В справочной литературе для каждого типа светильников указывается соответствующий ему тип кривой [3].

При общем равномерном освещении с увеличением расчетной высоты и нормированной освещенности следует выбирать более концентрированное светораспределение. При наибольшем значении этих параметров следует выбирать кривые силы света типов К или Г, при средних – Г, при малых – Д. Кривые М следует, как правило, выбирать только при малых значениях высоты и освещенности, если при этом необходимо осветить высокорасположенные поверхности или насколько возможно увеличить расстояние между светильниками.

Светильники выбираются также по степени защиты от пыли и воды.

В соответствии с ГОСТ 13328-74 тип светильника должен иметь обозначение состоящее из букв и цифр. При этом в начале записывают буквы, обозначающие тип лампы (Л – люминесцентные, Н – накаливания, Р – лампы ДРЛ, Г – лампы ДРИ, Ж – натриевые, И – галогенные, К – ксеноновые), конструктивное исполнение (С – подвесной, П – потолочный, Б – настенный, В – встроенный, К – консольный и т.д) и назначение светильника (П – для промышленных предприятий, О – для общественных зданий, У – для наружного освещения, Р – для рудников и шахт и т.д.). В обозначении также указывают номер серии, число и мощность ламп (цифра 1 не записывается), номер модификации, климатическое исполнение (У – для умеренного климата, Т – для тропиков и т.д.) и категорию размещения.

## **7.2 Выбор системы и вида освещения, нормируемой освещенности**

В помещениях могут применяться системы:

- а) общего освещения, равномерного или локализованного (т.е. осуществляющего распределение светового потока с учетом расположения освещаемых поверхностей);
- б) комбинированного освещения, состоящего из общего освещения помещений и местного освещения отдельных рабочих мест.

Общее равномерное освещение применяют при относительно невысокой точности выполняемых работ, большой плотности рабочих мест, возможности выполнения работ в любой точке помещения и отсутствии специальных требований к качеству освещения.

Различают следующие виды освещения: рабочее, аварийное, эвакуационное, охранное и дежурное. Рабочее освещение служит для обеспечения нормальной освещенности на рабочих местах.

Аварийное освещение предназначено для временного продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения. Аварийное может выполнять функции эвакуационного путем установки светильников по линии основных проходов.

Эвакуационное предусматривается в помещениях при числе работающих более 50 человек в местах опасных для прохода в темноте

Величина требуемой освещенности для рабочего освещения производственных помещений принимается по справочной литературе [3] и зависит от разряда зрительной работы и наименьшего размера объекта различения.

### 7.3 Размещение светильников

Существуют два способа размещения светильников: равномерное и локализованное. При локализованном способе вопрос размещения светильников должен решаться индивидуально в каждом конкретном случае в зависимости от характера производственного процесса.

При общем равномерном освещении, а по возможности также и при локализованном освещении, светильники с лампами накаливания, лампами ДРЛ, ДРИ и натриевыми лампами рекомендуется располагать по вершинам квадратных, прямоугольных (с отношением большей стороны прямоугольника к меньшей не более 1,5) или ромбических (с острым углом ромба близким к 60°) полей.

Светильники с люминесцентными лампами следует преимущественно размещать рядами, параллельными стенам с окнами или рядам колонн. Ряды следует выполнять непрерывными или с разрывами, не превышающими примерно 0,5 расчетной высоты.

Расчетную высоту подвеса светильников находят по формуле:

$$H_p = H - h_c - h_p \quad (7.1)$$

где  $H$  – высота помещения, м;

$h_p$  – высота расчетной поверхности над полом, м;

$h_c$  – расстояние от перекрытия до светильникам.

Из названных размеров  $H$  и  $h_p$  являются заданными, а  $h_c$  принимается в пределах от нуля (при установке на потолке) до 1,5 м.

При общем равномерном освещении отношение расстояний между соседними светильниками или рядами светильников  $L$  к высоте их установки  $H_p$  над освещаемой поверхностью рекомендуется выбирать в зависимости от типа кривой силы света светильника (табл. 7.1).

Таблица 7.1-Рекомендуемые значения отношений  $L/H_p$

| Отношение | Типы кривой света |           |           |           |           |
|-----------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|           | К                 | Г         | Д         | М         | Л         |
| $L/H_p$   | 0,4 - 0,7         | 0,8 - 1,1 | 1,4 - 1,6 | 1,8 - 2,6 | 1,6 - 1,8 |

Расстояние  $l$  от крайних рядов светильников до стен принимают в пределах  $(0,3...0,5) \cdot L$  в зависимости от наличия вблизи стен рабочих мест. Число рядов светильников  $R$  определяют по формуле:

$$R = (B - 2 \cdot l) / L + 1 \quad (7.2)$$

где  $B$  – ширина помещения, м;

$L$  – расстояние от крайних светильников до стены, м.

Число светильников в ряду  $N_R$  находят из выражения:

$$N_R = (A - 2 \cdot l) / L + 1 \quad (7.3)$$

где  $A$  – длина помещения, м.

Найденные значения  $R$  и  $N_R$  округляют до ближайшего целого числа. Действительные расстояния между рядами светильников и лампами в ряду находят по формулам:

$$L_B = (B - 2 \cdot l) / (R - 1) \quad (7.4)$$

$$L_A = (A - 2 \cdot l) / (N_R - 1) \quad (7.5)$$

По полученным данным на плане помещения, вычерченном в масштабе, производят окончательное уточнение расположения светильников и их количества. Технические данные наиболее распространенных светильников приведены в таблице 15 приложения и литературе [3].

#### 7.4 Расчет электрического освещения

Основной задачей данного расчета является определение числа и мощности ламп в светильниках, необходимых для обеспечения заданной освещенности. При освещении лампами накаливания, а также лампами типа ДРЛ, ДРИ и ДНаТ обычно число и размещение светильников намечают до светотехнического расчета, а в процессе расчета определяют необходимую мощность лампы. При выборе лампы стандартной мощности допускается отклонение ее номинального потока от расчетного в пределах от -10% до +20%. При невозможности выбрать лампу, поток которой лежит в указанных пределах, изменяют число светильников.

При освещении люминесцентными лампами предварительно намечают число и расположение рядов светильников, а затем рассчитывают число и мощность светильников, устанавливаемых в каждом ряду.

Согласно [3] расчет общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей при отсутствии крупных затеняющих предметов должен производиться методом коэффициента использования светового потока. Для расчета освещения произвольно расположенных поверхностей применяется точечный метод.

##### 7.4.1 Метод коэффициента использования светового потока

Метод коэффициента использования светового потока применяют для расчета общего равномерного освещения помещения. При этом световой поток одной лампы определяют по формуле:

$$\Phi = (E \cdot K \cdot S \cdot Z) / (N \cdot \eta) \quad (7.6)$$

где  $E$  – нормируемая наименьшая освещенность, лк;

$K$  – коэффициент запаса в зависимости от загрязнения воздушной среды принимаются по литературе [3] табл.2.1;

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

$Z$  – отношение средней освещенности к минимальной ( $Z = 1,1..1,15$ );

$N$  – количество светильников, шт;

$\eta$  – коэффициент использования светового потока.

Коэффициент использования светового потока таблица 8.1[3] для каждого типа светильника определяют в зависимости от коэффициентов отражения потолка, стен, расчетной поверхности или пола, определяемых по таблице 8.2[3], а также в зависимости от индекса помещения.

Индекс помещения находят по формуле:

$$i_p = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)} \quad (7.7)$$

где  $A$  – длина помещения, м;

$B$  – ширина помещения, м.

По найденной величине светового потока [3] подбирают мощность лампы.

При освещении, выполненном рядами люминесцентных светильников для расчета освещенности следует, исходя из требований строительной и технологической части проекта, задаться числом рядов, а также типом и мощностью лампы, что определит ее световой поток. Требуемое число светильников в ряду находят по выражению:

$$N_R = \frac{E \cdot K \cdot S \cdot Z}{n \cdot R \cdot \Phi \cdot \eta} \quad (7.8)$$

где  $n$  – число ламп в светильнике;

$R$  – число рядов.

Необходимо помнить, что метод коэффициента использования светового потока применяют только для расчета освещения горизонтальных поверхностей.

#### 7.4.2 Точечный метод

Точечный метод позволяет определить освещенность в контрольной точке при заданном расположении источников света. В основу данного метода положены пространственные кривые условной горизонтальной освещенности (изолуксы). Эти кривые составлены для стандартных светильников при световом потоке условной лампы 1000лм в прямоугольной системе координат в зависимости от расчетной высоты и от расстояния проекции светильника на горизонтальную поверхность до контрольной точки [3, приложение 3.1].

Условную освещенность в контрольной точке находят как сумму условных освещенностей от ближайших светильников по формуле:

$$\sum e = e_1 + e_2 + \dots + e_n \quad (7.9)$$

где  $e_1, e_2, \dots, e_n$  – условная освещенность в контрольной точке от отдельных источников света.

В качестве контрольных выбирают те точки освещаемой поверхности, в которых  $e$  имеет наименьшее значение (между светильниками крайних рядов или в местах затенения).

Световой поток одной лампы  $\Phi$  определяют по формуле:

$$\Phi = (1000 \cdot E \cdot K) / (\mu \cdot \sum e) \quad (7.10)$$

где  $\mu$  – коэффициент добавочной освещенности за счет отражения от потолка и удаленных светильников (находится в пределах 1,1.., 1,2).

По найденному потоку выбирают мощность стандартной лампы. Применение точечного метода является обязательным при расчете освещения негоризонтальных поверхностей, локализованного, местного, аварийного и наружного освещения.

## 7.5 Расчет электрической осветительной сети и выбор осветительных щитков

### 7.5.1 Расчет сети по допустимому нагреву

Расчетную мощность осветительной нагрузки определяют по формуле:

$$P_{PO} = K_{CO} \cdot P_{YO} \quad (7.11)$$

где  $K_{CO}$  – коэффициент спроса осветительной нагрузки;

$P_{YO}$  – установленная мощность ламп, кВт.

Значение коэффициента спроса осветительной нагрузки следует принимать:

1 – для небольших производственных зданий и для линий, питающих отдельные групповые щитки;

0,95 – для производственных зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов;

0,85 – для производственных зданий, состоящих из многих отдельных помещений;

0,8 – для административно-бытовых, инженерно-лабораторных и других корпусов;

0,6 – для складских зданий, состоящих из многих отдельных помещений.

Для газоразрядных ламп необходимо учитывать потери в пускорегулирующих аппаратах, которые составляют 20% для люминесцентных ламп, включенных по стартерной схеме пуска, 30% - для ламп, включенных по бесстартерной схеме, 10% - для ламп ДРЛ, ДРИ и ДНаТ.

Расчетный ток групповой сети определяют по следующим формулам:

а) для трехфазных линий:

$$I_{PO} = \frac{P_{PO} \cdot 10^3}{3 \cdot U_H \cdot \cos \varphi_H} \quad (7.12)$$

б) для двухфазных линий с нулевым проводом:

$$I_{PO} = \frac{P_{PO} \cdot 10^3}{2 \cdot U_H \cdot \cos \varphi} \quad (7.13)$$

в) для однофазных линий:

$$I_{PO} = \frac{P_{PO} \cdot 10^3}{U_H \cdot \cos \varphi} \quad (7.14)$$

Длительно допустимые токи проводов и кабелей групповой осветительной сети должны быть не менее  $I_{PO}$ .

### 7.5.2 Расчет сети по потере напряжения

Допустимое значение потерь напряжения в осветительной сети  $\Delta U_D$  рассчитывается по формуле:

$$\Delta U_D = U_{XX} - U_{min} - \Delta U_T \quad (7.15)$$

где  $U_{XX}$  – номинальное напряжение при холостом ходе трансформатора, %, (105%);

$U_{min}$  – минимально допустимое напряжение у наиболее удаленных ламп, % (95%);

$\Delta U_T$  – потери напряжения в трансформаторе, %.

Потери напряжения в трансформаторе вычисляют по формулам (6.6)... (6.8). Сечение проводников осветительной сети определяют по формуле:

$$S = M / (C \cdot \Delta U_{\text{д}}) \quad (7.16)$$

где  $M$  – момент нагрузки, кВт·м;

$C$  – коэффициент, определяемый в зависимости от системы напряжения, системы сети и материала проводника (табл.17 приложения). В общем случае момент нагрузки вычисляют по формуле:

$$M = P \cdot L \quad (7.17)$$

где  $P$  – расчетная нагрузка, кВт;

$L$  – длина участка, м.

Если группа светильников одинаковой мощности присоединена к линии с равными интервалами  $L_A$ , то:

$$L = l_1 \cdot (L_A (N - 1)) / 2 \quad (7.18)$$

где  $l_1$  – расстояние от осветительного щитка до первого светильника. Если линии состоят из нескольких участков с одинаковым сечением и различными нагрузками, то суммарный момент нагрузки равен сумме моментов нагрузок отдельных участков.

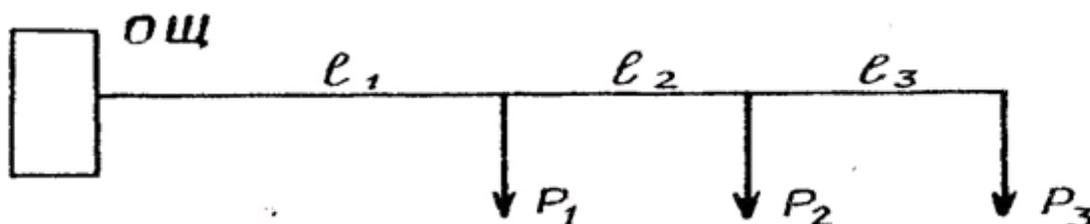


Рисунок 7.1 – Схема групповой осветительной сети.

Для линии, показанной на рис. 7.1, суммарный момент нагрузки

$$M = l_1(P_1 + P_2 + P_3) + l_2(P_2 + P_3) + l_3 \cdot P_3 \quad (7.19)$$

При различных сечениях участков потеря напряжения определяется для каждого участка в зависимости от его сечения:

$$\Delta U = \frac{M_3}{C \cdot S_3} + \frac{M_2}{C \cdot S_2} + \frac{M_1}{C \cdot S_1} \quad (7.20)$$

Полученное значение  $\Delta U$  сравнивают с  $\Delta U_{\text{доп}}$

$$\Delta U \leq \Delta U_{\text{доп}} \quad (7.21)$$

При расчете разветвленной осветительной сети на минимум проводникового материала сечение каждого участка сети определяет по формуле:

$$S = M_{\text{ПРИВ}} / (C \cdot \Delta U_{\text{д}}) \quad (7.22)$$

где  $M_{\text{ПРИВ}}$  – приведенный момент нагрузки.

Приведенный момент определяют по формуле:

$$M_{\text{ПРИВ}} = \sum M + \sum \alpha \cdot m \quad (7.23)$$

где  $\sum M$  – сумма моментов данного и всех последующих по направлению тока участков с тем же числом проводов линии, что и на данном участке;

$\sum \alpha m$  – сумма приведенных моментов участков с другим числом проводов;

$\alpha$  – коэффициент приведения моментов (см.табл.16 приложения).

Определив по  $M_{ПРИВ}$  и  $\Delta U_D$  сечение  $S$  данного участка (его округляют до стандартного большего), по  $S$  и фактическому моменту участка вычисляет его действительное значение потерь напряжения:

$$\Delta U_{\Phi} = M / (C \cdot S) \quad (7.24)$$

Последующие участки рассчитывают аналогично по оставшейся потере напряжения:

$$\Delta U_{ОСТ} = \Delta U_D - \Delta U_{\Phi} \quad (7.25)$$

При раздельном расчете питающей и групповой сети  $\Delta U_{ДОП}$  распределяется между ними приближенно, исходя из ожидаемого соотношения моментов.

Как правило, 1,5...2% потерь относят на групповую сеть, а оставшуюся часть – на питающую линию.

При проектировании следует стремиться к равномерной загрузке и равенству моментов различных фаз. В трехфазных сетях с нулевым проводом для получения равенства моментов следует присоединять светильники к фазам в порядке А, В, С, С, В, А, считая от конца линии.

Из найденных двух значений сечение осветительной сети (по длительному нагреву и допустимой потере напряжения) выбирается большее, как удовлетворяющее обоим условиям.

### **7.6 Выбор осветительных щитков и мест их размещения**

Согласно ПУЭ все сети должны иметь защиту от коротких замыканий. Защита от токов перегрузки осуществляется в следующих случаях:

- 1) для сетей, выполненных открыто незащищенными изолированными проводами с горючей изоляцией (АПР, АПВ, ПРД и т.д.);
- 2) для сетей жилых и общественных зданий, торговых помещений, служебно-бытовых помещений, промышленных предприятий, пожароопасных помещений и взрывоопасных установок.

Номинальные токи защиты аппаратов должны быть не менее расчетных токов защищаемых участков.

Определение токов срабатывания плавких вставок предохранителей или расцепителей автоматов производится в соответствии с условиями, приведенными в табл.26 приложения.

Осветительные щитки и шкафы в основном выпускаются с автоматическими выключателями серий АЕ-1000, АЕ-2000, ВА-5I и др. [3].

Для утопленной установки применяются щитки УЩОВ, Щ031-Щ033. При размещении на колоннах и других узких основаниях применяются щитки Щ041. Для питания освещения с лампами ДРЛ при необходимости компенсации реактивной мощности используются осветительные щитки ПР-41 с конденсаторами. Эти же щитки выпускаются и без конденсаторов.

В качестве осветительных щитков могут применяться распределительные пункты серии ПР8501 с однополюсными и трехполюсными автоматическими выключателями ВА5I (табл.21 приложения). Данные по осветительным щиткам приведены в табл.18 – 22 приложения.

Групповые осветительные щитки должны располагаться в помещениях с благоприятными условиями среды и удобных для обслуживания, по возможности

ближе к центру питаемых от них нагрузок. Нельзя их располагать в кабинетах, складах и других запираемых помещениях. В многоэтажных зданиях осветительные щитки размещают на лестничных клетках или вблизи от них, в цехах промышленных предприятий – в электропомещениях, проходах или других удобных для обслуживания помещениях.

Если управление освещением производится со щитков, то рекомендуется щитки размещать так, чтобы с места их установки были видны включаемые светильники.

В больших зданиях и помещениях могут устанавливаться несколько осветительных щитков. В этом случае щитки целесообразно размещать на расстоянии 30...60 м один от другого при однофазных групповых линиях и до 100 м – при трехфазных линиях.

### **7.7 Конструктивное исполнение осветительных электрических сетей**

Осветительные сети выполняются в виде электропроводок, а также ВЛ и КЛ. В электропроводках применяют изолированные провода АПВ (ПВ), АПР(ПР), ПРТО, АПРВ (ПРВ) и небронированные силовые кабели с резиновой или пластмассовой изоляцией марок АВВГ(ВВГ), АВРГ(ВРГ), АНРГ(НРГ). Весьма перспективным является применение в сетях до 1кВ кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (марок ПвВГ, АПвВг), которые имеют допустимую температуру нагрева жил 90С и, следовательно, большие длительно допустимые нагрузки. В осветительных сетях следует применять кабели, у которых все жилы имеют одинаковую площадь поперечного сечения, нулевой и заземляющий проводники должны быть отдельными. Не допускается прокладывать изолированные провода без оболочки (ПВ, АПВ) скрыто под штукатуркой, в бетоне, кирпичной кладке, в пустотах строительных элементов зданий, а также открыто по поверхностям стен потолков, на тросах, лотках, струнах и т.д. При таких способах монтажа электропроводок должны применяться кабели или изолированные провода с защитной оболочкой. Изолированные провода без защитной оболочки следует применять для прокладки в коробах, трубах, на изоляторах.

### **7.8 Расчет аварийного освещения**

Аварийное освещение предназначено для временного продолжения работы при аварийном отключении рабочего освещения. Аварийное может выполнять функции эвакуационного путем установки светильников по линии основных проходов.

При нормальных условиях работы рабочее и аварийное освещение, как правило, совместно обеспечивают требуемую освещенность. Аварийное освещение для продолжения технологического процесса должно создавать освещенность не менее 5% от установленной нормы общего освещения, а для эвакуации людей – не менее 0,5 люкса. Аварийное освещение может осуществляться лампами накаливания и люминесцентными лампами при температуре в помещении не ниже 10°С. Газоразрядные лампы для аварийного освещения применять запрещено.

Сеть аварийного освещения должна быть отдельной от сети рабочего освещения и получать питание от независимого источника.

Светильники аварийного освещения рекомендуется по возможности выделять из числа светильников рабочего освещения и устанавливать в удалении от оконных проемов.

Самостоятельные дополнительные светильники для аварийного освещения следует предусматривать в следующих случаях:

а) в зданиях с некруглосуточной работой при мощности светильников рабочего освещения свыше 150 Вт;

б) в случаях, когда источники света, принятые для рабочего освещения, запрещены к применению для аварийного освещения;

в) в случаях, когда предусматривается включение аварийного освещения только в аварийном режиме.

Светотехнический расчет для аварийного освещения производят точечным методом.

## **8 Компенсация реактивной мощности и выбор силовых трансформаторов**

### **8.1 Выбор силовых трансформаторов**

Выбор числа трансформаторов на ТП определяется категорией надежности электроснабжения потребителей. Один трансформатор на ТП устанавливается в следующих случаях:

- для питания потребителей III категории;
- для питания потребителей II категории, при наличии резервирования по сетям низшего напряжения между отдельными ТП.

Два трансформатора на ТП устанавливаются в следующих случаях:

- для питания потребителей I категории;
- при питания потребителей II категории при отсутствии резервирования.

При числе трансформаторов на подстанции  $N_T \leq 2$  их мощность определяется по выражению:

$$S_T = P_{MT} / (\beta_T \cdot N_T) \quad (8.1)$$

где  $P_{MT}$  – суммарная расчетная активная мощность рассматриваемой группы, кВт;

$\beta_T$  – коэффициент загрузки трансформаторов, который принимается равным:

$\beta_T = 0,65-0,7$  – для двухтрансформаторных подстанций при питании потребителей I категории;

$\beta_T = 0,7-0,8$  – для двухтрансформаторных подстанций при питании потребителей II категории;

$\beta_T = 0,9-0,95$  – для однотрансформаторных подстанций при питании потребителей III категории.

Полученное значение  $S_T$  округляют до ближайшей большей стандартной мощности трансформатора таблица 37 приложения.

## 8.2 Расчет мощности компенсирующих устройств

Наибольшая суммарная нагрузка предприятия, по которой определяется мощность компенсирующих устройств (КУ), вычисляется по формуле:

$$Q_M = k \cdot Q_P \quad (8.2)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий несовпадение во времени максимумов активной нагрузки энергосистемы и реактивной мощности промышленного предприятия (табл. 8.1);

$Q_P$  – суммарная расчетная реактивная нагрузка предприятия.

Таблица 8.1 – Значение коэффициента несовпадения максимумов

| Отрасль промышленности   | $k$  |
|--|------|
| 1 Нефтеперерабатывающая, текстильная   | 0,95 |
| 2 Черная и цветная металлургия, химическая, нефтедобывающая, пищевая строительных материалов, бумажная | 0,9  |
| 3 Угольная, газовая, машиностроительная и металлообрабатывающая  | 0,85 |
| 4 Торфоперерабатывающая, деревообрабатывающая  | 0,8  |
| 5 Прочие   | 0,75 |

Для предприятий с присоединенной мощностью электроприемников 750 кВА и более разрешенная к использованию реактивная мощность в режиме максимальной активной нагрузки задается энергосистемой. При проектировании системы электроснабжения величина этой мощности определяется как меньшее из значений, рассчитываемых по выражениям:

$$Q_{\Sigma} = Q_M - 0,7Q_{CM} \quad (8.3)$$

$$Q_{\Sigma} = \alpha \cdot P_M \quad (8.4)$$

где  $Q_{CM}$  – суммарная номинальная реактивная мощность синхронных двигателей напряжением 6... 10 кВ;

$\alpha$  – коэффициент, определяемый по таблице 8.2;

$P_M$  – расчетная активная нагрузка предприятия с учетом коэффициента разновременности максимумов.

Величина  $P_M$  вычисляется по формуле:

$$P_M = k_{PM} \cdot P_P \quad (8.5)$$

где  $P_P$  – суммарная расчетная активная нагрузка предприятия;

$k_{PM}$  – коэффициент разновременности максимумов нагрузки;  $k_{PM} = 0,92$ .

Таблица 8.2 – Значение коэффициента  $\alpha$

| Районы энергосистем                   | Коэффициент $\alpha$                            |            |           |
|---------------------------------------|---|------------|-----------|
|                                       | При высшем напряжении понижающей подстанции, кВ |            |           |
|                                       | 35  | 110... 150 | 220...330 |
| 1. Север, запад, центр, юг, восток РБ | 0,23  | 0,28       | 0,37      |

При питании потребителей от шин генераторного напряжения,  $\alpha = 0,6$ .

Для промышленных предприятий с присоединенной мощностью трансформаторов менее 750 кВА значение мощности низковольтных батарей конденсаторов (НБК) и высоковольтных батарей конденсаторов (ВБК) задаются энергосистемой.

В качестве средств компенсации реактивной мощности в сетях промышленных предприятий следует применять батареи конденсаторов и синхронные двигатели (СД).

### 8.3 Определение мощности (НБК) низковольтных батарей конденсаторов

На промышленных предприятиях, где отсутствуют синхронные двигатели в соответствии с Руководящими указаниями по компенсации следует проводить всю компенсацию реактивной мощности в сетях до 1кВ. Следовательно, мощность батарей конденсаторов напряжением до 1 кВ будет вычисляться по выражению:

$$Q_{НК} = Q_{MT} \quad (8.6)$$

где  $Q_{MT}$  – суммарная расчетная реактивная нагрузка рассматриваемой группы ТП.

Найденная мощность  $Q_{НК}$  распределяется между отдельными трансформаторами цеховых ТП пропорционально их реактивным нагрузкам:

$$Q_{НКФ} = Q_{НК}/N_T \quad (8.7)$$

и округляется до ближайшей стандартной мощности комплектных конденсаторных установок (таблица 23 приложения).

Если на предприятии находятся в работе синхронные двигатели, то суммарная мощность батарей конденсаторов напряжением до 1 кВ вычисляется по выражению:

$$Q_{НК} = Q_{НК1} + Q_{НК2} \quad (8.8)$$

где  $Q_{НК1}$  – мощность НБК, определяемая при выборе экономически целесообразного числа трансформаторов цеховых ТП;

$Q_{НК2}$  – мощность НКБ, необходимая для оптимального снижения потерь мощности в сетях 6... 10 кВ.

#### 8.3.1 Определение мощности батарей конденсаторов по условию оптимального числа цеховых трансформаторов

Зная количество трансформаторов и их мощность рассчитывают наибольшую мощность, которую можно передать через трансформаторы в сеть до 1 кВ.

$$Q_T = \sqrt{(N_T \cdot \beta_T \cdot S_T)^2 - P_{MT}^2} \quad (8.9)$$

Суммарная мощность НБК для данной группы трансформаторов:

$$Q_{НК} = Q_{MT} - Q_T \quad (8.10)$$

где  $Q_{MT}$  – суммарная расчетная реактивная нагрузка рассматриваемой группы ТП.

Если  $Q_{НК} < 0$ , то установка НБК не требуется, а  $Q_{НК}$  принимается равным нулю.

## 8.4 Определение мощности (ВБК) высоковольтных батарей конденсаторов

Для цеховых ТП определяются некомпенсированные реактивные нагрузки на стороне 6...10 кВ каждого трансформатора по формуле:

$$Q_{ТНАГ} = Q_{МТ} - Q_{НКФ} + \Delta Q_{Т} \quad (8.11)$$

где  $Q_{МТ}$  – наибольшая расчетная реактивная нагрузка трансформатора;

$Q_{НКФ}$  – фактически принятая мощность НБК;

$\Delta Q_{Т}$  – реактивные потери в трансформаторе, определяемые по табл. 8.5.

Таблица 8.5 – Суммарные реактивные потери в трансформаторах

| Номинальная мощность трансформатора, кВ А | Потери реактивной мощности в трансформаторе, кВАр, при коэффициенте нагрузки |     |     |     |     |     |
|---|--|-----|-----|-----|-----|-----|
|   | 0,5  | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
| 400                                       | 13   | 15  | 18  | 20  | 23  | 26  |
| 630                                       | 20   | 23  | 28  | 33  | 39  | 45  |
| 1000                                      | 28   | 34  | 41  | 49  | 58  | 69  |
| 1600                                      | 41   | 51  | 62  | 75  | 90  | 107 |
| 2500                                      | 62   | 79  | 99  | 121 | 146 | 175 |

Некомпенсированная реактивная нагрузка РП определяется по формуле:

$$Q_{РП} = \sum Q_{ТНАГi} - Q_{СДЭ} \quad (8.12)$$

где  $Q_{СДЭ}$  – экономически целесообразная реактивная мощность, генерируемая синхронными двигателями.

Суммарная реактивная мощность высоковольтных батарей конденсаторов для предприятия:

$$Q_{ВК} = \sum Q_{РПi} - Q_{Эi} \quad (8.13)$$

Если окажется, что  $Q_{ВК} < 0$ , то следует принять ее равной нулю.

Реактивная мощность  $Q_{ВК}$  распределяется между отдельными РП пропорционально их некомпенсированным реактивным нагрузкам на напряжении 6... 10 кВ и округляется до ближайшей стандартной мощности комплектных конденсаторных установок (табл.24 приложения).

## 8.5 Выбор автоматических выключателей для трансформаторов

В данном подразделе производится выбор линейных автоматических выключателей для силовых трансформаторов, а также автоматического выключателя для секционирования шин 0,4 кВ (формулы 4.11 и 4.12).

## 9 Расчет токов короткого замыкания

Вычисление токов КЗ производится с целью:

- а) выбора отключающих аппаратов;
- б) проверки устойчивости элементов схемы при электродинамическом и термическом действии токов КЗ;
- в) расчета релейной защиты.

Расчетным видом КЗ является трехфазное, т.к. при нем обычно получаются большие значения сверхпереходного и ударного токов, чем при двухфазном и однофазном. Токи КЗ должны рассчитываться на всех напряжениях в таких точках схемы, где они имеют наибольшие значения (сборные шины ГПП, РП).

Расчет токов КЗ может выполняться в относительных или именованных единицах. В сетях напряжением выше 1 кВ наибольшее распространение получил метод расчета в относительных величинах, при котором все расчетные данные приводятся к базисному напряжению и мощности.

Порядок расчета токов КЗ методом относительных единиц следующий:

1) Составляется расчетная схема, включающая все элементы, по которым протекают токи к выбранным точкам. На схеме приводятся основные параметры оборудования, которые потребуются для последующего расчета.

2) По расчетной схеме составляется схема замещения, в которой каждый элемент заменяется своим сопротивлением. Генераторы, трансформаторы, высоковольтные линии и короткие участки распределительных сетей обычно представляются индуктивными сопротивлениями. Активные сопротивления учитываются, если

$r_{\Sigma} / x_{\Sigma} > 3$ , где  $r_{\Sigma}$ ,  $x_{\Sigma}$  - соответственно активное и индуктивное сопротивление цепи.

3) Задаются базисными величинами и определяют базисный ток:

$$I_{\delta} = S_{\delta} / \sqrt{3} \cdot U_{\delta} \quad (9.1)$$

За базисные напряжения  $U_{\delta}$  принимаются средние номинальные напряжения  $U_{\text{ср}} = 0,23; 0,4; 0,69; 6,3; 10,5; 21; 37; 115; 230$  кВ. В качестве базисной мощности  $S_{\delta}$  может выбираться мощность источника питания (ИП), мощность короткого замыкания на шинах подстанции или любое удобное для расчетов число.

4) Приводят сопротивления элементов схемы замещения к базисным условиям по следующим формулам.

Для генераторов:

$$X_G = X_d'' \cdot (S_{\delta} / P_H) \cdot \cos \varphi_H \quad (9.2)$$

где  $X_d''$  – сверхпереходное относительное индуктивное сопротивление;

$P_H$  – активная номинальная мощность, МВт;

$\cos \varphi_H$  – номинальное значение коэффициента мощности генератора.

Для двухобмоточных трансформаторов:

$$X_T = \frac{U_K \%}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{HT}} \quad (9.3)$$

где  $U_K$  – напряжение короткого замыкания, %;

$S_{HT}$  – номинальная мощность трансформатора, МВ·А.

Для трансформаторов с расщепленной обмоткой схема замещения состоит из двух лучей, сопротивление которых

$$X_{T1} = X_{T2} = 1,875 \cdot U_K \cdot S_{\delta} / (100 \cdot S_{HT}) \quad (9.4)$$

Для воздушных и кабельных линий:

а) индуктивное сопротивление:

$$X_L = X_0 \cdot L \cdot \frac{S_{\delta}}{U_{\text{ср}}^2} \quad (9.5)$$

где  $X_0$  – индуктивное сопротивление одного км линии, Ом/км, для воздушных линий 6...10 кВ –  $x_0 = 0,4$  Ом/км, для кабельных –  $X_0 = 0,08$  Ом/км;

$L$  – длина линии, км;

б) активное сопротивление:

$$R_{Л} = r_0 \cdot L \cdot \frac{S_0}{U_{CP}^2} \quad (9.6)$$

Удельные сопротивления проводов и кабелей находят по табл.31 приложения.

5) Определяют результирующее сопротивление от ИП до точки КЗ:

$$Z_{PE3} = \sqrt{X_{PE3}^2 + R_{PE3}^2} \quad (9.7)$$

При наличии в качестве ИП системы неограниченной мощности ( $S_c = \infty$ ,  $X_c = 0$ ).

6) Ток короткого замыкания определяется по выражению:

$$I_{K3} = I_0 / Z_{PE3} \quad (9.8)$$

## 10 Выбор высоковольтных кабелей

### 10.1 Потери мощности в трансформаторах

Потери активной  $\Delta P_T$  и реактивной  $\Delta Q_T$  мощности в двухобмоточных трансформаторах вычисляются по формулам:

$$\Delta P_T = \Delta P_{XX} + \Delta P_{K3} \beta_T^2 \quad (10.1)$$

$$\Delta Q_T = \frac{S_H}{100} (I_{XX} + U_K \cdot \beta_T^2) \quad (10.2)$$

где  $\Delta P_{XX}$  – потери холостого хода, кВт;

$\Delta P_{K3}$  – потери короткого замыкания, кВт;

$U_K$  – напряжение короткого замыкания, %;

$I_{XX}$  – ток холостого хода, %;

$S_H$  – номинальная мощность трансформатора, кВ·А;

$\beta_T$  – коэффициент загрузки трансформатора, определяемый как:

$$\beta_T = S_M / S_H \quad (10.3)$$

где  $S_M$  – нагрузка трансформатора, кВ А.

Выражение (10.2) можно представить в виде:

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{XX} + Q_H \cdot \beta_T^2 \quad (10.4)$$

где  $\Delta Q_{XX} = \frac{S_H \cdot I_{XX}}{100}$  – потери реактивной мощности в трансформаторе при холостом ходе, квар;

$\Delta Q_H = \frac{S_H \cdot U_K}{100}$  – потери реактивной мощности рассеяния в трансформаторе при номинальной нагрузке, квар.

### 10.2 Выбор сечений жил кабелей напряжением выше 1кВ

Сечения жил кабелей выбираются по экономической плотности тока и проверяются по нагреву и термической стойкости при КЗ. Кабели, защищенные токоограничивающими предохранителями, на термическую устойчивость не проверяются.

Сечения жил кабеля по экономической плотности тока определяют по выражению:

$$S_{\mathcal{E}} = I_P / j_{\mathcal{E}} \quad (10.5)$$

где  $I_P$  – расчетный ток кабеля в нормальном режиме работы, А;

$j_{э}$  – экономическая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>: принимают по табл.26 приложения в зависимости от времени использования максимальной нагрузки (табл.28.1 приложения), вида изоляции и материала проводника жил. Величина тока в нормальном режиме работы:

$$I_P = S_P / (\sqrt{3} \cdot U_H) \quad (10.6)$$

где  $S_P$  – расчетная нагрузка линий с учетом потерь в трансформаторах.

Для определения сечений жил кабелей по нагреву вычисляется наибольший расчетный ток  $I_{PM}$  в нормальном режиме и по таблице 25 приложения выбирается стандартное сечение, имеющее допустимый ток исходя из условия:

$$I_{ДОП} \geq I_{PM} \quad (10.7)$$

При этом  $I_{ДОП}$  для конкретных условий работы кабеля уточняется по выражению:

$$I_{ДОП} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot I_{НД} \quad (10.8)$$

где  $K_1, K_2, K_3$  – коэффициенты, учитывающие соответственно фактическую температуру окружающей среды, число проложенных в траншее рабочих кабелей (табл.43 приложения), фактическое удельное тепловое сопротивление земли;

$I_{НД}$  – допустимая по нагреву токовая нагрузка на кабель при нормальных условиях прокладки, определяемая по табл.28 приложения.

Величину  $I_{PM}$  кабелей, питающих цеховые ТП, можно найти по формуле:

$$I_{PM} = S_{HT} / (\sqrt{3} \cdot U_H) \quad (10.9)$$

где  $S_{HT}$  – суммарная номинальная мощность цеховых трансформаторов, питающихся по данному кабелю.

Сечение жил кабелей, которые в послеаварийных или ремонтных режимах могут работать с перегрузкой (например, линий, питающих РП), выбирается по условию:

$$K_{П} \cdot I_{ДОП} \geq I_{РА} \quad (10.10)$$

где  $K_{П}$  – допустимая кратность перегрузки, принимается 1,1 – для кабелей с полиэтиленовой изоляцией, 1,15 – для кабелей с поливинилхлоридной изоляцией, 1,2-1,25 – для кабелей с бумажной изоляцией проложенных в траншее;

$I_{РА}$  – расчетный ток линии в послеаварийном или ремонтном режиме. После расчета токов КЗ в сети 6... 10 кВ сечения жил кабелей выбираются по термической стойкости. В инженерных расчетах минимально допустимое сечение проводника по данному условию определяется по выражению:

$$S_T = \sqrt{B_K / C} \quad (10.11)$$

где  $B_K$  – тепловой импульс от тока КЗ, А<sup>2</sup>·с;

$C$  – расчетный коэффициент по табл. 29 приложения.

Результирующий тепловой импульс от тока КЗ:

$$B_K = I_{П}^2 \cdot (t_{ОТК} + T_A) \quad (10.12)$$

где  $I_{П}$  – действующее значение периодической составляющей тока КЗ в начале линии;

$t_{ОТК}$  – время отключения КЗ;

$T_A$  – постоянная времени затухания аperiodической составляющей тока КЗ.

В распределительных сетях 6... 10 кВ при отсутствии конкретных данных приближение можно принимать  $T_A=0,01c$ , а значения  $t_{отк}$  — по табл.30 приложения.

Из трех найденных сечений (по экономической плотности тока, нагреву и термической стойкости) принимается большее.

## 11 Выбор электрических аппаратов

### 11.1 Условия выбора электрических аппаратов

Электрические аппараты работают в условиях эксплуатации в трех основных режимах: длительном, перегрузки и в режиме короткого замыкания.

В длительном режиме надежная работа аппаратов обеспечивается правильным выбором их по номинальному напряжению и номинальному току.

В режиме перегрузки надежная работа аппаратов обеспечивается ограничением величины и длительности повышения напряжения или тока в таких пределах, при которых гарантируется нормальная работа за счет запаса прочности.

В режиме короткого замыкания надежная работа аппаратов обеспечивается их термической и электродинамической устойчивостью.

Условие электродинамической устойчивости аппарата:

$$i_{дн} \geq i_{у} \quad (11.1)$$

где  $i_{дн}$  — максимально допустимый ток аппарата, определяемый заводом-изготовителем;

$i_{у}$  — ударный ток трехфазного короткого замыкания в цепи, для которой выбирается аппарат.

Условие термической устойчивости определяется выражением:

$$I_{ТК}^2 \cdot t_{к} \geq I_{КЗ}^2 \cdot t_{ф} \quad (11.2)$$

где  $I_{ТК}$  — ток термической устойчивости, гарантируемый заводом-изготовителем, кА;

$t_{к}$  — время нагревания частей аппарата (обычно 3...4 с);

$t_{ф}$  — фиктивное время протекания тока короткого замыкания.

Выбор электрических аппаратов основывается на соблюдении следующих условий:

$$U_{НОМ} \geq U_{РАБ} \quad I_{НОМ} \geq I_{РАБ} \quad (11.3)$$

$$i_{дн} \geq i_{у} \quad B_{Т} \geq B_{К} \quad (11.4)$$

где  $U_{НОМ}$ ,  $I_{НОМ}$  — соответственно, номинальные напряжения (кВ) и ток (кА) аппарата;

$U_{РАБ}$ ,  $I_{РАБ}$  — напряжение (кВ) и ток (кА) сети, в которой установлен аппарат;

$B_{Т} = I_{ТК}^2 \cdot t_{к}$  — тепловой импульс аппарата, нормированный заводом-изготовителем;

$B_{К} = I_{КЗ}^2 \cdot t_{ф}$  — тепловой импульс расчетный.

Выражение (11.3) обеспечивает выбор аппаратов по номинальным параметрам, а выражение (11.4) — проверку аппаратов на электродинамическую и термическую устойчивости.

Шины распределительных устройств выбираются по номинальным значениям тока и напряжения и проверяются на электродинамическую и

термическую устойчивость. Проверка на электродинамическую устойчивость выполняется с условием, чтобы напряжение в материале шин  $\delta_p$  не превосходило допустимых значений  $\delta_{доп}$ :

$$\delta_{доп} > \delta_p \quad (11.5)$$

Проверка шин на термическую устойчивость сводится к определению минимально допустимого сечения  $S_{MIN}$  по формуле:

$$S_{MIN} = (I_{кз}/C) \cdot \sqrt{t_{\phi}} \quad (11.6)$$

где  $C$  – коэффициент для алюминиевых шин,  $A \cdot c/mm^2$ ;

$I_{кз}$  – установившийся ток короткого замыкания,  $kA$ ;

Разъединители выбираются по номинальным значениям тока и напряжения, конструктивному выполнению, роду установки, а затем их проверяет на электродинамическую и термическую устойчивости.

Выключатели нагрузки выбираются по номинальным значениям напряжения и тока, допустимому току отключения и проверяются на термическую и динамическую устойчивость при сквозных коротких замыканиях.

При выборе выключателя нагрузки по допустимому току отключения необходимо, чтобы ток нагрузки цепи во время отключения был меньше или равен допустимому току отключения аппарата. При проверке на термическую устойчивость за величину расчетного времени короткого замыкания следует принимать время перегорания плавкой вставки предохранителя.

Высоковольтные силовые предохранители выбираются по номинальному току, номинальному напряжению, роду установки и конструктивному выполнению. Выбранный по указанным параметрам предохранитель проверяется по предельному току  $I_{откл}$  или предельно отключаемой мощности  $S_{откл}$ :

$$I_{откл} \geq I'' \quad S_{откл} \geq S_K \quad (11.7)$$

Высоковольтные выключатели выбираются по номинальным значениям тока и напряжения, мощности или току отключения и проверяются на динамическую и термическую устойчивость.

Выбор электрических аппаратов основывается на сравнении расчетных величин с каталожными данными согласно табл.10.1. При этом расчетные величины не должны превосходить каталожные для данного аппарата:

Таблица 10.1 — Условия выбора электрических аппаратов

| Расчетные данные | Каталожные данные |                      |               |                |                        |                          |              |
|------------------|-------------------|----------------------|---------------|----------------|------------------------|--------------------------|--------------|
|                  | Выключатель       | Выключатель нагрузки | Разъединитель | Предохранитель | Трансформатор тока     | Трансформатор напряжения | Шины         |
| $U_{уст}, kV$    | $U_{ном}, kV$     | $U_{ном}, kV$        | $U_{ном}, kV$ | $U_{ном}, kV$  | $U_{ном}, kV$          | $U_{ном}, kV$            | -            |
| $I_{уст}, A$     | $I_{ном}, A$      | $I_{ном}, A$         | $I_{ном}, A$  | $I_{ном}, A$   | $I_{ном}, A$           | -                        | $I_{ном}, A$ |
| $i_{уст}, kA$    | $i_{max}, kA$     | -                    | $i_{max}, kA$ | -              | $K_{дин} \sqrt{2} I_n$ | -                        | -            |
| $I_k, kA$        | $I_{откл}, kA$    | -                    | -             | -              | -                      | -                        | -            |

|                                   |                                      |   |                   |                                      |             |   |   |
|-----------------------------------|--------------------------------------|---|-------------------|--------------------------------------|-------------|---|---|
| $B_K \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$ | $I_{тк}^2 t_K$                       | - | $I_{10}^2 t_{10}$ | -                                    | $I_1^2 t_1$ |   |   |
| $S_K, \text{МВ} \cdot \text{А}$   | $S_{откл}, \text{МВ} \cdot \text{А}$ | - | -                 | $S_{откл}, \text{МВ} \cdot \text{А}$ | -           | - | - |

### Графическая часть

Графическая часть проекта должна содержать не менее двух листов графического материала и спецификации к чертежам, где это требуется ГОСТом. Все чертежи графической части дипломного проекта выполняются на листах формата А1.

Лист 1. План цеха (отделения) с силовой распределительной сетью.

Лист 2. План цеха (отделения) с осветительной сетью и расчетная схема.

## Список используемых источников

1. Королёв, О.П. Электроснабжение промышленных предприятий. Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию/О.П.Королёв, В.Н. Радкевич, В.Н.Сацукевич. – Минск: РИПО,1995. – 134с.
2. Алиев, И.И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию/И.И. Алиев. – Москва: Высшая школа, 2002. – 255с.
3. Козловская, В.Б. Электрическое освещение/В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукевич. – Минск: Техноперспектива,2007. – 255с.
4. Ус, А.Г. Электроснабжение промышленных предприятий и гражданских зданий/А.Г. Ус, Л.И. Евминов. – Минск: ПИОН, 2002. – 457с.
6. Правила технической эксплуатации электроустановок. – Минск: Ксения, 2009.
7. СНБ 2.04.05-98 Естественное и искусственное освещение,1998
8. Электробезопасность / Г.Ф. Куценко. – Мн.: Дизайн ПРО, 2006. – 240 с.
9. Гурин Н.А., Янукович Г.И. Электрооборудование промышленных предприятий и установок. Учебное пособие по дипломному проектированию. – Минск: Вышш. шк., 1990. – 238 с.
10. Липкин Б.Ю. Электроснабжение промышленных предприятий и установок. – М.: Высшая школа, 1990. – 365 с.
11. Конюхова Е.С. Электроснабжение объектов. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 319 с.

## Приложение А

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования «Гродненский профессиональный  
электротехнический колледж им. И. Счастливого»

Специальность 2-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)»

Группа

## КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Тема проекта

Расчетно-пояснительная записка

Исполнитель проекта

\_\_\_\_\_

Руководитель проекта

\_\_\_\_\_

2016

## Приложение Б

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УО «Гродненский государственный профессиональный электротехнический  
колледж»  
Специальность 2-43 01 03 «Электроснабжение (по отраслям)»

УТВЕРЖДАЮ

Председатель предметной (цикловой  
комиссии) \_\_\_\_\_ И.А. Юшкевич  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

### ЗАДАНИЕ на курсовой проект

Учащемуся \_\_\_\_\_  
(фамилия, имя, отчество)

\_\_\_\_\_ курса, \_\_\_\_\_ отделения, \_\_\_\_\_ группы.

Тема проекта \_\_\_\_\_

Исходные данные:

План цеха № \_\_\_\_\_ вариант № \_\_\_\_\_.

Размеры цеха: А= \_\_\_\_\_ м; В = \_\_\_\_\_ м; Н = \_\_\_\_\_ м.

Дополнительная нагрузка завода  $P_{р.доп} =$  \_\_\_\_\_ кВт,  $\cos\varphi=0,8$ .

Питание осуществляется от ГПП 110/10кВ  $S_{тр} = 2 \times$  \_\_\_\_\_ МВА.

Расстояние от ГПП до РП \_\_\_\_\_ км.

#### Состав проекта

а) Расчетно-пояснительная записка

*Введение*

*1 Описание технологического процесса*

*2 Характеристика объекта электроснабжения*

*3 Выбор и обоснование схемы электроснабжения*

*4 Выбор электродвигателей, пусковых и защитных аппаратов*

*5 Расчет нагрузок цеха.*

*6 Выбор оборудования цеха*

*7 Расчет осветительной сети цеха*

*7.1 Выбор источников света и светильников*

*7.2 Выбор системы и вида освещения, нормируемой освещенности*

*7.3 Размещение светильников*

*7.4 Расчет электрического освещения*

*7.5 Расчет электрической осветительной сети и выбор осветительных щитков*

*7.6 Расчет аварийного освещения*

*8 Компенсация реактивной мощности и выбор силовых трансформаторов*

*8.1 Выбор силовых трансформаторов*

*8.2 Определение мощности НБК (низковольтных батарей конденсаторов)*

*8.3 Определение мощности ВБК (высоковольтных батарей конденсаторов)*

*8.4 Выбор автоматических выключателей для трансформаторов*

*9 Расчет токов короткого замыкания*

*10 Выбор высоковольтных кабелей*

*10.1 Потери мощности в трансформаторах*

*10.2 Выбор сечений жил кабелей от РП до цеховой ТП*

*10.3 Выбор сечений жил кабелей от ГПП до РП*

*11 Выбор электрических аппаратов*

11.1 Выбор электрических аппаратов на РП со стороны ТП

11.2 Выбор электрических аппаратов на РП со стороны ГПП

Заключение

Список использованных источников

б) графическая часть проекта (все чертежи выполняются на листах формата А1)

Лист 1 План цеха (отделения) с силовой распределительной сетью

Календарный график работы над проектом: 14.11-15.11 – Введение; 15.11-16.11 – Описание технологического процесса; 17.11-18.11 – Характеристика объекта электроснабжения; 21.11-22.11 – Выбор и обоснование схемы электроснабжения; 23.11-24.11 – Выбор пусковых и защитных аппаратов; 25.11-28.11 – Расчет нагрузок цеха; 29.11-01.12 – Выбор оборудования цеха; 02.12-05.12 – Расчет осветительной сети цеха; 06.12-08.12 – Компенсация реактивной мощности и выбор силовых трансформаторов; 09.12-12.12 – Расчет токов короткого замыкания; 13.12-15.12 – Выбор высоковольтных кабелей; 16.12-19.12 – Выбор электрических аппаратов. 20.12.-22.12-Выполнение графической части.

Руководитель проекта: \_\_\_\_\_ С.А. Гаро

Дата выдачи задания «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Задание принял к исполнению, дата «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Подпись учащегося: \_\_\_\_\_



## Приложение

### КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КУРСОВОГО ПРОЕКТА ПРИ НАПИСАНИИ ОТЗЫВА И РЕЦЕНЗИИ РУКОВОДИТЕЛЕМ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА И РЕЦЕНЗЕНТОМ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ 2-43 01 03 «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ (ПО ОТРАСЛЯМ)»

| Отметка        | Критерии оценки   |
|----------------|---|
| 10<br>(десять) | <p>Пояснительная записка. Текст и расчеты выполнены в соответствии с заданием, в полном объеме, грамотно. Состав и содержание проекта отвечают необходимым требованиям. В проекте использованы (предложены) прогрессивные инженерно-технические решения, новые технологии, конструкции, современное электрооборудование, передовые методы производства электромонтажных работ. Используются законодательные и технические нормативные правовые акты. Работа с рекомендованными источниками информации и дополнительной литературой. Ошибки, неточности отсутствуют.</p> <p>Графическая часть. Отражены все элементы в заданном объеме. Плотность выполнения не менее 80%. Графическая и оформительская работа выполнены на высоком уровне.</p> <p>Защита. Ответы на все вопросы. Обоснованность принятых решений. Свободная речь, эрудиция. Оперативный перенос знаний и умений в нестандартную ситуацию.</p> |
| 9<br>(девять)  | <p>Пояснительная записка. Текст и расчеты выполнены в соответствии с заданием, в полном объеме, грамотно. Состав и содержание проекта отвечают необходимым требованиям. В проекте использованы новые технологии, конструкции, современное электрооборудование, передовые методы производства электромонтажных работ. Используются законодательные и технические нормативные правовые акты. Работа только с рекомендованными источниками информации. Имеют место отдельные неточности.</p> <p>Графическая часть. Отражены все элементы в заданном объеме. Плотность выполнения не менее 80%. Графическая и оформительская работа выполнены на высоком уровне.</p>  |
| 8<br>(восемь)  | <p>Пояснительная записка. Текст и расчеты выполнены в соответствии с заданием, в полном объеме, грамотно. Состав и содержание проекта отвечают необходимым требованиям. В проекте использованы новые технологии, конструкции, современное электрооборудование. Работа только с рекомендованными источниками информации. Имеют место несущественные ошибки и неточности, недоработки.</p> <p>Графическая часть. Отражены все элементы в заданном объеме. Плотность выполнения не менее 80%. Схемы и узлы отражают суть проекта. Графика на высоком уровне. Имеются небольшие отклонения к требованию по оформлению (отсутствие некоторых размеров, условных обозначений, сокращения текста, недоработки конструктивных решений).</p> <p>Защита. Достаточные ответы на вопросы. Обоснованность принятых решений. Свободная речь.</p>  |

|               |  |
|---------------|--|
| 7<br>(семь)   | <p>Пояснительная записка. Текст и расчеты выполнены в соответствии с заданием, в полном объеме, грамотно. Состав и содержание проекта отвечают необходимым требованиям. В проекте использованы новые технологии, конструкций, современное электрооборудование. Работа только с рекомендованными источниками информации. Имеются небольшие единичные неточности. Недостаточная работа со справочной литературой. Работа выполнена аккуратно, самостоятельно.</p> <p>Графическая часть. Отражены все элементы в заданном объеме. Плотность выполнения не менее 80%. Схемы и узлы отражают суть проекта. Графика на высоком уровне. Имеются небольшие отклонения к требованию по оформлению (отсутствие некоторых размеров, условных обозначений, сокращения текста, недоработки конструктивных решений).</p> <p>Защита. Качественное воспроизводство программного материала. Достаточные ответы на программные вопросы. Некоторые затруднения при аргументации выбранного решения.</p> |
| 6<br>(шесть)  | <p>Пояснительная записка. Текст и расчеты выполнены в соответствии с заданием, в полном объеме, грамотно, аккуратно, самостоятельно. Имеются небольшие недоработки, неточности (общий характер пояснений, неконкретность материала, недостаточная работа со справочной литературой).</p> <p>Графическая часть. Отражены все элементы в заданном объеме. Плотность выполнения не менее 80%. Схемы и узлы отражают суть проекта. Графика на высоком уровне. Имеются небольшие отклонения к требованию по оформлению (отсутствие некоторых размеров, условных обозначений, сокращения текста, недоработки в схемах), неточности в разрезах, узлах, нерациональный подбор конструктивных элементов.</p> <p>Защита. Качественное воспроизводство программного материала. Достаточные ответы на программные вопросы. Некоторые затруднения при аргументации выбранного решения.</p>  |
| 5<br>(пять)   | <p>Пояснительная записка. Текст и расчеты выполнены в соответствии с заданием, в полном объеме. Имеются неточности в выборе элементов электроснабжения и подсчете технико-экономических показателей (ТЭЦ). Небольшие отклонения от правил оформления (отсутствие некоторых размеров, условных обозначений, сокращения текста, недоработки конструктивных решений). Недостаточная обоснованность принятых конструктивных решений.</p> <p>Графическая часть. Отражены все элементы в заданном объеме. Компонировка листа выполнена непродуманно. Имеются небольшие отклонения к требованию по оформлению (отсутствие некоторых размеров, условных обозначений, сокращения текста, недоработки в схемах).</p> <p>Защита. Некоторые неточности и нелогичность при изложении, неумение выделить главное.</p>  |
| 4<br>(десять) | <p>Пояснительная записка. Текст и расчеты выполнены в соответствии с заданием, в полном объеме. Имеются неточности в выборе элементов электроснабжения, подсчете ТЭП. Небольшие отклонения от правил оформления, неаккуратность. Ошибки не лишают смысла результат работы. Прослеживается недостаточная работа с нормативными документами.</p> <p>Графическая часть. Нерациональное заполнение листов, выбор устаревшего электрооборудования. Имеются небольшие отклонения к требованию по оформлению.</p> <p>Защита. Неуверенность аргументации по принятым решениям, неполное воспроизведение учебного материала.</p>  |

|             |  |
|-------------|--|
| 3<br>(три)  | <p>Пояснительная записка. Текст и расчеты выполнены в соответствии с заданием. Имеются орфографические ошибки, отклонения от стандартов в оформлении, неаккуратность, множественные ошибки и неточности в выборе элементов электроснабжения, подсчете ТЭП Решения выбраны нерационально, недостаточная работа с литературой.</p> <p>Графическая часть. Отражены не все элементы в заданном объеме. Компоновка листов выполнена непродуманно. Множественные несоответствия графической части и пояснительной записки. Отклонения от требований по оформлению, неаккуратность.</p> <p>Защита. Неполное и неграмотное воспроизведение учебного материала, отсутствие аргументации принятых решений, затруднения при ответе на вопросы или отсутствие ответа.</p>          |
| 2<br>(два)  | <p>Пояснительная записка. Текст и расчеты выполнены в соответствии с заданием. Имеются орфографические ошибки, отклонения от стандартов в оформлении, неаккуратность, множественные ошибки и неточности в выборе элементов системы электроснабжения, подсчете ТЭП. Решения выбраны нерационально, недостаточная работа с литературой.</p> <p>Графическая часть. Отражены не все элементы в заданном объеме. Компоновка листов выполнена непродуманно. Множественные несоответствия графической части и пояснительной записки. Отклонения от требований по оформлению, неаккуратность.</p> <p>Защита. Неполное и неграмотное воспроизведение учебного материала, отсутствие аргументации принятых решений, затруднения при ответе на вопросы или отсутствие ответа.</p> |
| 1<br>(один) | <p>Пояснительная записка. Текст и расчеты выполнены не в соответствии с заданием, не в полном объеме. Имеются орфографические ошибки, отклонения от стандартов в оформлении, неаккуратность, множественные ошибки и неточности в выборе элементов электроснабжения, подсчете ТЭП Решения выбраны нерационально, недостаточная работа с литературой.</p> <p>Графическая часть. Отражены не все элементы в заданном объеме. Компоновка листов выполнена непродуманно. Множественные несоответствия графической части и пояснительной записки. Отклонения от требований по оформлению, неаккуратность.</p> <p>Защита. Неполное и неграмотное воспроизведение учебного материала, отсутствие аргументации принятых решений, отсутствие ответа.</p>                         |
| 0<br>(ноль) | <p>Проект не выполнен в установленный срок, не представлен на проверку и к защите.</p>   |

При оценке результатов учебной деятельности учитывается характер допущенных ошибок: существенных и несущественных.

К категории существенных ошибок следует отнести ошибки, которые свидетельствуют о непонимании учащимися основных положений теории, на основе которой изучается учебная тема, о непонимании значения понятий, включенных в содержание темы, а также о неумении применить знания и

понятия. Существенные ошибки связаны с недостаточной глубиной и осознанностью ответа и свидетельствуют о том, что данный материал не освоен.

Существенными считаются следующие ошибки:

1) незнание определений основных электротехнических понятий, единиц измерения электрических величин, методов расчета электрических нагрузок;

2) незнание основных сведений об электроэнергетических системах электроснабжения промышленных предприятий, классификации электроприемников, методов расчета электрических нагрузок, способов определения расхода энергии, способов определения потерь электроэнергии, показателей и норм качества электрической энергии, конструктивных особенностей цеховых сетей напряжением до 1кВ, выбора сечения проводников, выбора защитных аппаратов, компоновки цеховых ТП, электросетей промышленных предприятий напряжением выше 1кВ, компенсации реактивной мощности, элементов систем электроснабжения;

3) неумение читать и проектировать схему электроснабжения до и выше 1кВ;

4) неумение логично излагать материал, выделить главное;

5) неумение делать выводы и обобщения;

6) неумение пользоваться учебником, справочниками.

К категории несущественных следует отнести ошибки, связанные с упущениями в описании нехарактерных фактов или частных явлений, а именно:

1) неточность формулировок, определений, понятий, законов, теорий, неполнота охвата основных признаков понятия или замена их второстепенными;

2) нерациональные методы работы со справочной литературой.