

# **Методические указания по курсовому проектированию**

**Тема: «Расчет сети электроснабжения производственного цеха»**

## Содержание

1. Описание работы	3
2. Примерное содержание курсового проекта	4
3. Рекомендации к выполнению проекта	7
3.1. Расчет мощности потребителей цеха	7
3.1.1. Расчет освещения	7
3.1.2. Расчет мощности розеточной сети	9
3.1.3. Расчет мощности электроприемников цеха	10
3.2. Выбор трансформатора	13
3.3. Выбор проводов и кабелей	13
3.4. Расчет аппаратов защиты	17
3.5. Расчет тока короткого замыкания	18
3.6. Расчет заземления	21
4. Нормы и правила оформления работы	23
5. Исходные материалы	35
6. Справочные материалы	37
7. Список используемых источников	42

## 1. ОПИСАНИЕ РАБОТЫ

Уважаемые студенты! Методические указания, которые Вы сейчас читаете, созданы, в первую очередь, с целью облегчения написания Ваших дипломных работ.

В процессе написания курсового проекта Ваша основная цель – освоить последовательность расчета электроснабжения предприятий. Для достижения поставленной цели необходимо изучить порядок расчета мощности, тока и напряжения, алгоритм выбора аппаратов защиты, силового оборудования и проводников, научится рассчитывать токи короткого замыкания и заземление, проектировать и читать схемы электроснабжения предприятий.

Обращаю Ваше внимание – для того, чтобы грамотно производить расчеты сетей электроснабжения практически любого предприятия необходимо запомнить последовательность определения физических величин, выбора различных аппаратов. Иначе говоря, Вам не нужно заучивать формулы и термины, Вам нужно найти и понять логическую последовательность написания проектной работы.

Методические указания содержат все необходимые справочные материалы и исходные данные для расчетов. Удачи.

## **2. ПРИМЕРНОЕ СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

Для написание курсового проекта потребуется произвести расчет осветительной сети, расчет мощности электрооборудования и розеточной сети, выбрать трансформатор, аппараты защиты, а также проводники для питания потребителей. Кроме того, необходимо рассчитать токи короткого замыкания и заземление, составить схему электроснабжения.

Титульный лист

Содержание

1. Введение
2. Исходные данные
3. Расчет мощности электроприемников
  - 3.1. Расчет освещения и выбор осветительных приборов
  - 3.2. Расчет мощности розеточной сети
  - 3.3. Расчет мощности электроприемников цеха
4. Выбор трансформаторов
5. Выбор проводов и кабелей
6. Расчет аппаратов защиты
7. Расчет токов короткого замыкания
8. Расчет заземления
9. Заключение
10. Список используемых источников

Приведенное содержание является рекомендованным, допускаются изменения в содержании. Изменения, вносимые в содержание, не должны отражаться на полноте и объеме работы.

Разберем каждый пункт по порядку.

**1. Введение.** Введение – стандартное начало любой работы. В этом пункте требуется указать цель проекта и основные задачи, поставленные для достижения цели. Не нужно копировать текст из интернета, в интернете я и

без вас почитаю. Постарайтесь придумать сами. Небольшая подсказка: ваши поставленные задачи частично отражают содержание работы.

2. Исходные данные. Просто копируем исходные данные из методических указаний и вставляем в свою работу.

3. Расчет мощности электроприемников. В данном пункте необходимо сначала произвести расчет каждого вида нагрузки по подпунктам 3.1, 3.2 и 3.3, а затем найти суммарные для всего цеха значения активной мощность  $P$ , реактивной мощности  $Q$ , полной мощности  $S$  и силы тока  $I$ .

3.1. В данном пункте необходимо определить количество светильников  $N$ , суммарный световой поток  $\Phi$ , индекс помещения  $i$  и коэффициент использования светового потока  $\eta$ . Исходя из найденных значений, необходимо выбрать осветительные приборы, рассчитать их мощность и силу тока.

3.2. Принцип тот же. Исходя из количества и номинальной мощности розеток, найти полную и реактивную мощность. Рассчитать ток.

3.3. По формулам определить мощность и силу тока для группы электроприемников.

После того, как получили 3 значения (из пунктов 3.1, 3.2, 3.3) находим суммы мощностей и тока, потребляемых всем предприятием в целом. Данные легче представить в форме таблицы.

4. Выбираем трансформатор исходя из значения мощности (полная мощность, потребляемая всем цехом + мощность сторонних электроприемников). Обязательно обосновать выбранное количество трансформаторов и тип их охлаждения. Рассчитать потери мощности в трансформаторе.

5. Провода выбираем по значениям силы тока, полученным ранее. Провода выбираем медные, используем справочную таблицу. Выписываем значение максимально допустимого тока и обязательно указываем марку провода. Помните: автоматический выключатель должен сработать прежде, чем провод начнет плавится ( $I_{\text{номинальный}} > I_{\text{срабатывания АВ}} > I_{\text{проводы допустимый}}$ ).

6. Выбираем автоматические выключатели для освещения и оборудования. Не забываем про ВВОД и РЕЗЕРВ. Выбираем электрические шкафы под выключатели. Выбор производится исходя из значений силы тока и напряжения на отдельных участках цепи. Подсказка: автоматы различных видов я ищу на сайте <https://www.vseinstrumenti.ru>. Обращайте внимание на класс автомата, количество полюсов и на номинальный ток.

7. Ток короткого замыкания находится по закону Ома. Для того, чтобы рассчитать ток КЗ, находим сопротивление всех элементов электрической цепи (сопротивление трансформатора, автоматических выключателей, проводов и т.д.). Напряжение берем для расчётов номинальное. Как правило, токи КЗ рассчитываются в 2-3 точках. Для расчётов обязательно составить схему замещения.

8. Считаем заземление строго по формулам. Будет немного сложно.

9. Финальная часть – заключение. В заключении проанализируйте свою работу и выделите, пожалуйста, те темы, которые дались вам сложнее всего. Опишите виды расчетов, которые вызвали у вас трудности.

10. Список литературы можно копировать из методических указаний.

### 3. РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ ПРОЕКТА

#### 3.1. Расчет мощности потребителей цеха

##### 3.1.1. Расчет освещения.

Для одного помещения световой поток всех ламп, необходимый для получения нормы освещённости, методом коэффициента использования рассчитывается следующим образом:

$$\Phi = \frac{E_h * K_{зап} * S * Z}{\eta} \quad (1)$$

Где:  $\Phi$  – световой поток ламп,

$E_h$  – нормированная минимальная освещенность,

$K_{зап}$  – коэффициент запаса, принять равным 1,4,

$S$  – площадь помещения,

$Z$  – коэффициент минимальной освещенности: для светодиодных ламп 1,3, для люминесцентных ламп 1,9,

$\eta$  – коэффициент использования светового потока

Коэффициент использования светового потока зависит от коэффициентов отражения потолка, стен и рабочей поверхности  $\rho$  и от индекса помещения  $i$ .

Коэффициенты отражения для светлого потолка, стен, окрашенных в светлых тонах и темного пола (расчётной поверхности):

$$\rho_{\pi}=50\%, \rho_c=30\%, \rho_p=10\%.$$

Индекс помещения определяется геометрическими размерами помещения и расчётной высотой  $h$  (расстоянием от светильника до расчетной поверхности):

$$i = \frac{A * B}{h * (A + B)} \quad (2)$$

Где:  $A$  – длина помещения, м;

$B$  – ширина помещения, м;

$h$  – расчетная высота от светильника до рабочей поверхности.

Расчетная высота  $h$  находится по формуле:

$$h = H - h_c - h_p \quad (3)$$

Где:  $H$  – высота помещения.

$h_p$  – расчетная высота над полом.

$h_c$  – расстояние светильников от перекрытия (свес).

Зная индекс помещения, определим по справочной таблице №1 коэффициент использования светового потока  $\eta$ .

Для того, чтобы выбрать лампу, необходимо знать световой поток одного светильника. Для этого определим количество светильников  $n$ .

Количество светильников в ряду:

$$N_a = \frac{A}{L}$$

Количество рядов светильников:

$$N_b = \frac{B}{L}$$

Где:  $L$  – относительное расстояние между светильниками (от 1 до 2,25 метра). Это справочное значение, можно выбрать произвольно.

$$n = N_a * N_b \quad (4)$$

Световой поток одной лампы:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{\Phi}{n} \quad (5)$$

*Определив световой поток  $\Phi_{\text{л}}$ , выбираем светильники (использовать таблицу 2, 3 справочных материалов или интернет) и рассчитываем их необходимое количество при необходимости.*

Достаточно провести полный расчет одного помещения. Результаты всех расчетов заносим в таблицу.

№ Помещения	Площадь помещения	Норма освещения, Лк	Количество ламп	Суммарная мощность (Вт.)

Осветительная нагрузка в целом (кВт):

$$P_{\text{п.осв.}} = \sum P_{\text{ном.осв.}} \quad (6)$$

Где:  $\sum P_{\text{ном.осв.}}$  – сумма мощностей выбранных ламп (светильников),

Определим реактивную мощность (кВАр):

$$Q_{\text{п.осв.}} = P_{\text{п.осв.}} * \operatorname{tg} \varphi, \quad (7)$$

$\operatorname{tg} \varphi$  определить по таблице Брадиса, зная, что  $\cos \varphi = 0,95$ .

Теперь найдем полную мощность (кВА):

$$S_{\text{п.осв.}} = \sqrt{P_{\text{п.осв.}}^2 + Q_{\text{п.осв.}}^2}, \quad (8)$$

Определяем силу тока:

$$I_{\text{п.осв.}} = \frac{S_{\text{п.осв.}}}{\sqrt{3} * U_{\text{ном.}} * \cos \varphi} \quad (9)$$

Где:  $U_{\text{ном.}}$  – номинальное напряжение,

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности, равен 0,95.

### 3.1.2. Расчет аварийного освещения

Аварийное освещение должно составлять 5% от рабочего. Поэтому при умножении нормируемой наименьшей освещенности рабочего освещения на 5%, получится минимальная нормируемая освещенность для аварийного освещения:

$$E_{\text{H.a}} = E_{\text{H}} \cdot 0,05$$

Лампы и светильники для аварийного освещения можно использовать той же марки, что и для обычного. Количество аварийных светильников рассчитать по формуле:

$$n_a = \frac{E_{\text{H.a}} * K_{\text{зап}} * S * Z}{\eta * \Phi_{\text{L}}}$$

Также рекомендую расположить хотя-бы 1 светильник над выходом из помещения. Лампы аварийного освещения размещаются равномерно среди ламп рабочего освещения.

### 3.1.3. Расчет мощности розеточной сети.

Определим нагрузку розеточной сети. Расчетная нагрузка розеточной сети определяется по формуле:

$$P_{\text{Р.Р.}} = P_{\text{уст.}} * n_{\text{Р}} * K_{\text{c}}. \quad (10)$$

Где:  $P_{\text{уст.}}$  – удельная мощность на одну розетку, принимаем за 1,2 кВт.

$n_{\text{Р}}$  – число розеток.

$K_{\text{c}}$  – коэффициент спроса для сети розеток, принимаемый в зависимости от числа розеток (справочная таблица 11).

Точно так же, как в расчете освещения, определить  $Q_{\text{р.р.}}$ ,  $S_{\text{р.р.}}$ ,  $I_{\text{р.р.}} \cdot tg\varphi$  определить по таблице Брадиса, зная, что  $\cos\varphi=0,9$ .

### 3.1.3. Расчет мощности электроприемников цеха

Реконструкция цеха возможна только при точном расчете параметров электрооборудования. Необходимо определить активную, реактивную и полную мощность и ток.

В первую очередь определим активную расчетную мощность для каждого отдельного электроприемника (кВт):

$$P_p = K_c \times P_{\text{ном}} \quad (12)$$

Где:  $P_{\text{ном}}$  – номинальная мощность электроустановки (взять из исходных материалов).

$K_c$  – коэффициент спроса (принять равным 0,8).

Далее определяем реактивную расчетную мощность для каждого электроприемника (кВАр):

$$Q_p = P_p \times \operatorname{tg} \varphi \quad (13)$$

$$S_p = K_{pm} \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (16)$$

Где: –  $K_{pm}$  – коэффициент разновременности максимумов, зависит от числа групп ЭП, принять равным 0,95.

Рассчитаем силу тока (напряжение  $U_{\text{ном}}$  принимаем 380 В)

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_{\text{ном}}} \quad (17)$$

Данные представить в форме таблицы. Образец таблицы приведён ниже.

Номер ЭП	Активная мощность		Реактивная мощность		Полная расчетная мощность $S_p$ , кВА	Расчетный ток $I_p$ , А
	Номинальная мощность $P_{\text{ном}}$ , кВт	Расчетная мощность $P_p$ , кВт	Номинальная мощность $Q_{\text{ном}}$ , кВАр	Расчетная мощность $Q_p$ , кВАр		
-						

### 3.2. Выбор трансформатора

Выбор номинальной мощности силовых трансформаторов (кВА) осуществляется по условию:

$$S_T \geq \frac{\Sigma S}{N_T * K_3} \quad (18)$$

Где:  $N_T$  - число трансформаторов (зависит от категории электроснабжения, указанной в исходных данных);

$K_3$  - коэффициент загрузки, при двух трансформаторах принимается в пределах от 0,7 до 0,8, при одном - 0,85.

Количество трансформаторов определяется в зависимости от категории снабжения объекта, указанной в исходных данных.

$$\Sigma S = \Sigma S_{p.osv.} + \Sigma S_{p.p.} + \Sigma S_p. \quad (19)$$

По найденному значению мощности трансформатора и по напряжению высокой стороны (в исходных данных) выбираем наибольшее ближайшее номинально значение мощности и марку трансформатора по справочной таблице №4.

### 3.3. Выбор проводов и кабелей

Необходимо рассчитать провода для линий освещения, для питания розеточной сети, а также для питания всего цеха.

Начнем с освещения. Прежде всего, необходимо составить схему размещения светильников в помещении с указанием расстояний между светильниками и между рядами светильников. Указать на схеме прокладку питающего провода. Количество рядов светильников –  $N_b$ , количество светильников в ряду –  $N_a$ .

Определяем мощность ряда (*если все ряды имеют одинаковое количество светильников расчет производим один раз, если разное – считаем для каждого ряда*):

$$P_{\text{ряд}} = N_a \times P_{\text{свет}}, \quad (20)$$

Где:  $P_{\text{свет}}$  – мощность одного светильника.

Составляем схему осветительной сети, как в примере ниже (рисунок 1). На схеме обязательно указать длину проводников, питающих ряды светильников. Длину можно рассчитать, составив примерный план расположения светильников. Пример такого плана на рисунке 2.

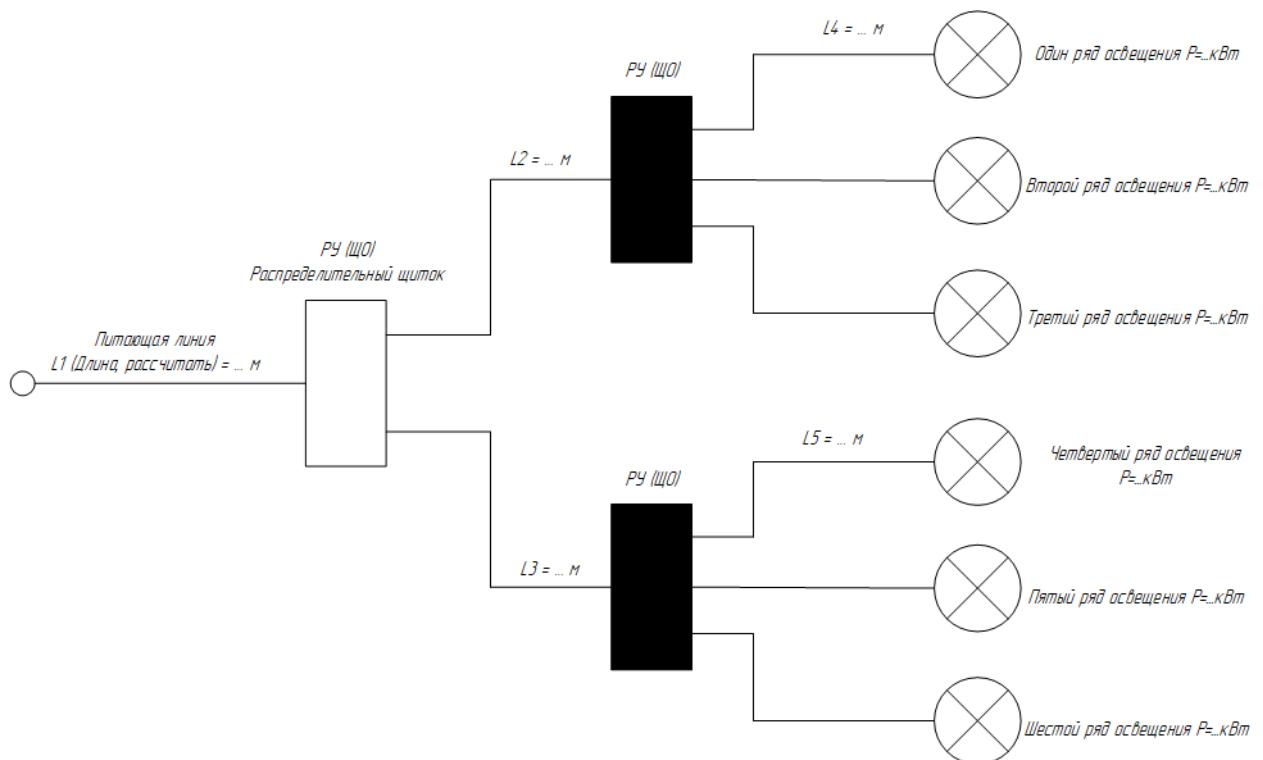


Рисунок 1. Пример схемы осветительной сети.

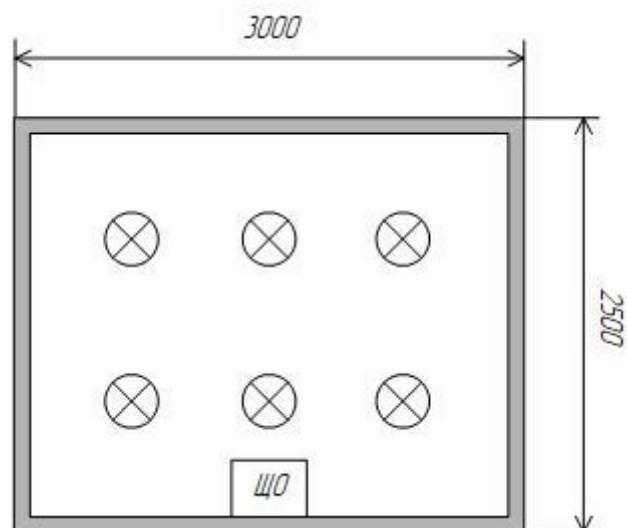


Рисунок 2. План расположения светильников.

Находим момент нагрузки для каждого ряда светильников (при расчете мощность брать в кВт), кВт $\times$ м:

$$m = P_{\text{ряд}} \times L_{\text{ряда}} \quad (22)$$

Где:  $L_{\text{ряда}}$  – длина соответствующей линии освещения (от ввода в ЩО до последнего светильника в ряду).

Определим момент нагрузки питающей линии:

$$M_1 = \sum P_{\text{ряд } 1-n} \times L_1 \quad (23)$$

Где:  $L_1$  – длина питающей линии.

Определяем сечение питающей линии, мм<sup>2</sup>:

$$S_0 = \frac{M_0 + \alpha_{\text{пр}} * \sum m}{C * \Delta U_{\text{доп}}} \quad (24)$$

Где:  $\alpha_{\text{пр}}$  – коэффициент приведения моментов (таблица 5 справочных материалов);

$C$  – коэффициент, учитывающий количество и материал проводов (таблица 6 справочных материалов);

$\Delta U_{\text{доп}} = 5,5$  – допустимая потеря напряжения в линии (%).

По найденному значению  $S_0$  определяем ближайшее номинальное значение сечения провода по таблице 7 справочных материалов. Выписываем марку допустимый ток  $I_{\text{доп}}$  для выбранного провода.

Проверяем выбранное сечение по длительному допустимому току нагрузки, А:

$$I_0 = \frac{\sum P_{\text{ряд}}}{\sqrt{3} * U_{\text{ном}} * \cos \varphi} \quad (25)$$

Находим действительную потерю напряжения в питающей линии, %:

$$\Delta U_0 = \frac{M_1}{C * S_{0 \text{ nom}}} \quad (26)$$

Рассчитаем ток питающей линии освещения, чтобы проверить выбранный проводник, А:

$$I_{\text{num.}} = \frac{\sum P_{\text{ряд}}}{U_{\Phi} * \cos \varphi} < I_{\text{доп}} \quad (27)$$

Для отходящих на ряды участков линии располагаемая потеря напряжения для линии, %:

$$\Delta U' = \Delta U_{\text{доп}} - \Delta U_0 \quad (28)$$

Теперь необходимо определить сечение проводов на каждый ряд освещения. Сечение участков,  $\text{мм}^2$ :

$$S_1 = \frac{m_n}{\Delta U' * C} \quad (29)$$

Провода на освещение выбраны. Необходимо выписать марку проводов, выбранных для питания освещения (питающая линия и провода на отходящие ряды), и допустимый ток проводов.

Теперь рассчитаем проводники для подключения ЭП.

Основное условие:  $I_p * K_3 \leq I_{\text{доп}}$

Где:  $I_p$ -расчетный ток, потребляемый электроприемником;

$K_3$ - коэффициент запаса, принимается равным 1,25 (25%);

$I_{\text{доп}}$  - номинальный допустимый ток провода (берем из таблицы 7 справочных материалов).

Осталось только выбрать провод питающей линии и провода, идущие до распределительных щитков. Сечение провода питающей линии находится по формуле,  $\text{мм}^2$ :

$$S_{\text{пит.л.}} = \frac{I_p}{J_\vartheta} \quad (30)$$

Где:  $I_p$  - расчётный ток нормального режима;

$J_\vartheta$  - экономическая плотность тока, зависящая от вида проводника и его изоляции, и продолжительности использования максимальной нагрузки  $T_{\max}$  (определить по таблице 8 справочных материалов).

Для ТП 10/6/0,4 кВ  $T_{\max}=4500-5000$  ч.

Расчётный ток для питающего кабеля от 0,4 ТП до ВРУ определим по формуле, А:

$$I_p = \frac{\sum S}{\sqrt{3} * U_{\text{ном}}} \quad (31)$$

Где:  $\sum S$  - расчётная мощность, текущая по питающей линии 0,4 кВ,

$U_{\text{ном}}$  - номинальное напряжение;

По найденному  $S_{\text{пит.л.}}$  определяем номинальное сечение питающей линии. Проводники для РЩ выбираются по аналогии с проводниками, питающими ЭП.

Данные по выбранным проводникам представить в виде таблицы.

№ЭП	Расчетный ток $I_p$ , А	Марка провода	Допустимый ток провода $I_{\text{доп}}$ , А
Питающая линия			
РЩ 1 (Освещение)			
РЩ 2 (Электроприемники)			
Освещение на ряды			
Розетки			
ЭП 1			
ЭП 2			
ЭП 3			
ЭП n			

### 3.4. Расчет аппаратов защиты

В качестве аппаратов защиты на всех участках сети принимаем автоматические выключатели. Выбирать автоматы несложно, существует всего основных условий

1. Учитываете категорию автоматического выключателя (A, B, C, D, K, Z). Отличие категорий заключается во времятоковой характеристике (ВАХ).
2. Учитывайте количество полюсов.
3. Учитывайте габариты и количество модулей, занимаемых автоматами. Это пригодится при выборе РЩ.
4. Автомат выбирается с учетом коэффициента 1,45 (45%) для ЭП; 1,13 (13%) для освежения.

$$I_{\text{доп}} > I_{\text{ном.AB}} \geq I_p \times 1,45 \quad (32)$$

Где:  $I_{\text{доп}}$  - допустимый ток провода;

$I_{\text{ном.AB}}$  - ток расцепителя автоматического выключателя;

$I_p$  - расчетный ток, потребляемый ЭП.

Когда автоматические выключатели выбраны, необходимо выбрать РЩ для их установки. Данные по выбранному оборудованию занести в таблицу.

№ЭП	$I_p \times 1,45$	$I_{\text{ном.AB}}$	Отключающая способность	Наименование выбранного ВА
ВВОД				
РЩ 1 Ввод (Освещение)				
Освещение ряд 1 (если есть)				
Освещение ряд 2 (если есть)				
Освещение ряд 3 (если есть) и т.д.				
РЩ 2 Ввод (Электроприемники)				
ЭП 1				

ЭП 2				
ЭП 3 и тд.				

### 3.5. Расчет токов короткого замыкания.

Токи короткого замыкания рассчитываются с целью проверки выбранных проводников и аппаратов защиты. При расчете токов короткого замыкания, в первую очередь, необходимо составить схему замещения для схемы электроснабжения.

Ниже приведен пример схемы замещения (ваша схема будет отличаться).

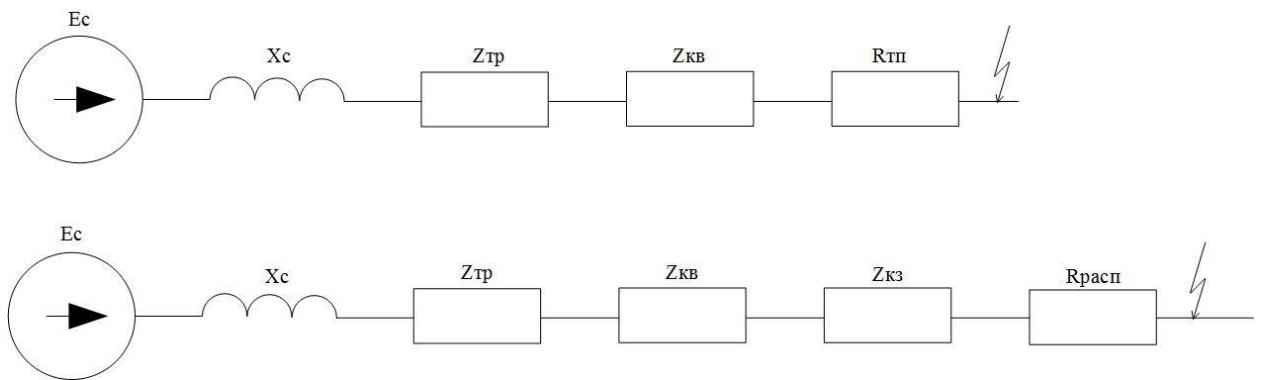


Рисунок 3 – Схема замещения примерная.

Расчет токов КЗ будем производить в двух точках.

Расчет токов КЗ в точке №1.

Точка №1 обозначает КЗ на трансформаторе.

Сопротивление системы, приведённое к напряжению 0,4 кВ:

$$X_C = \frac{U_{\text{номВН}}}{\sqrt{3} \times I_{\text{откл}}} \times \left( \frac{U_{\text{номНН}}}{U_{\text{номВН}}} \right)^2 * 1000 \quad (33)$$

Где:  $I_{\text{откл}}$  – значение тока отключения выключателя нагрузки, стоящего на стороне ВН трансформаторной подстанции 10/6/0,4 кВ. Принять равным 12,5 кА

Далее необходимо выписать из справочной таблицы активное и реактивное сопротивление трансформатора, приведённое к стороне 0,4 кВ:  $X_{\text{тр}}$  и  $R_{\text{тр}}$ .

Сопротивления кабельной линии определяется по удельным сопротивлениям и её длине. Кабельная линия, проложенная от ТП до рассчитываемого цеха.

$$X_{\text{К.Л.}} = x_0 \times L \quad (34)$$

$$R_{\text{К.Л.}} = r_0 \times L \quad (35)$$

Где:  $x_0$  – реактивное сопротивление кабельной линии (справочное значение);

$r_0$  – активное сопротивление кабельной линии (справочное значение);

$L$  – длина линии (взять в исходных данных).

Сопротивление автоматического выключателя находится по справочной таблице №9.

Результирующее сопротивление при КЗ на шинах ТП:

$$Z_{\text{тп}} = \sqrt{\sum R^2 + \sum X^2} \quad (36)$$

Начальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ на шинах ТП, кА:

$$I_{\text{п0 ТП}} = \frac{U_{\text{номин}}}{\sqrt{3} * Z_{\text{тп}}} \quad (37)$$

Ударный ток находится по формуле:

$$I_{\text{уд}} = \sqrt{2} * I_{\text{п0 ТП}} * K_{\text{уд}} \quad (38)$$

Где:  $K_{\text{уд}}$  - ударный коэффициент. Справочные материалы таблица №10.

Аналогичным образом необходимо найти ток короткого замыкания в точке №2. Принять, что точкой №2 обозначается произвольный электроприемник.

Зная токи короткого замыкания, необходимо проверить кабель питающей линии на термическую стойкость. Проверка выбранного сечения на термическое действие тока КЗ проводится по условию:

$$F \geq F_{min} = \frac{\sqrt{B_K}}{90} * 10^3 \quad (39)$$

Где:  $F_{min}$  – минимальное сечение кабеля по условию термической стойкости;

$B_K$  – тепловой импульс,  $\text{kA}^2\text{s}$ .

Тепловой импульс определяется по формуле:

$$B_K = (I_{\pi0}^{(3)})^2 * t_{\text{откл}} \quad (40)$$

Где:  $I_{\pi0}^{(3)}$  – периодическая составляющая тока трехфазного короткого замыкания (КЗ) в начальный момент времени;

$t_{\text{откл}}$  – время отключения КЗ, принять равным 0,5 с.

### 3.6. Расчет заземления

Согласно требованиям ПУЭ в установках 10–35 кВ с изолированной нейтралью сопротивление заземляющего устройства в любое время года должно быть:

$$R_3 \leq \frac{250}{I_3} \quad (41)$$

Где:  $I_3$  – расчётный ток замыкания на землю, А.

При соблюдении условия  $R_3$  одновременно должно быть не более 10 Ом. Ёмкостной ток замыкания на землю для кабельных сетей определяется

по следующей формуле:

$$I_3 = \frac{U_{\text{ВН}} * L_{\text{КЛ}}}{10} \quad (42)$$

Где:  $U_{\text{ВН}} = 10/6$  кВ – междуфазное напряжение;

$L_{\text{КЛ}}$  – суммарная длина кабельных линий (взять из исходных данных).

Сопротивление заземляющего устройства:

Исходя из требований ПУЭ, для дальнейших расчётов принимается следующее условие:  $R_3 \leq 4$  Ом.

Грунт в районе расположения рассматриваемой подстанции – чернозём (всем принять одинаковым) – земля с удельным сопротивлением  $\rho=40$  Ом·м.

Определяем сопротивление заземления железобетонного фундамента здания ТП:

$$R_\Phi = \frac{\rho}{\sqrt{S}} \quad (43)$$

Где:  $S$  – площадь, ограниченная периметром здания ТП (взять из исходных данных).

Так как сопротивление естественного заземлителя превышает 4 Ом, то необходимо использовать искусственные заземлители – вертикальные стальные прутки с длиной 1 м и диаметром 16 мм.

Сопротивление одного вертикального электрода:

$$R_B = 0,3 * \rho * K_{\text{сез}} \quad (44)$$

Где:  $K_{\text{сез}}=1,6$  – коэффициент сезонности, учитывающий промерзание и просыхание грунта.

Определяем требуемое сопротивление искусственных заземлителей:

$$R_{\text{иск}} = \frac{R_\Phi * R_3}{R_\Phi - R_3} \quad (45)$$

Определяем требуемое число вертикальных электродов:

$$N_B = \frac{R_B}{R_{иск} * \eta_B} \quad (46)$$

Где:  $\eta_B$  – коэффициент использования вертикальных заземлителей.

Предварительно принимаем, что вертикальные заземлители устанавливаются в количестве 4 штук по углам заземляющего устройства, тогда  $\eta=0,78$ .

Окончательно принимаем  $N_B = 4$ , тогда общее сопротивление заземляющего устройства:

$$R_B = \frac{R_\Phi * \frac{R_B}{N_B * \eta_B}}{R_\Phi + \frac{R_B}{N_B * \eta_B}} \quad (47)$$

Вот и все. Расчетная часть на этом кончается. Не забудьте составить однолинейную схему электроснабжения вашего цеха.

## 5.ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Вариант	A, м	B, м	H, м	h <sub>p</sub> , м	h <sub>c</sub> , м	E <sub>п</sub> , лк	Тип ламп	К-во розеток	$\cos\varphi$	P <sub>ном1</sub> , кВт	P <sub>ном2</sub> , кВт	P <sub>ном3</sub> , кВт	P <sub>ном4</sub> , кВт	P <sub>ном5</sub> , кВт	P <sub>ном6</sub> , кВт	P <sub>ном7</sub> , кВт	P <sub>ном8</sub> , кВт	P <sub>ном9</sub> , кВт	P <sub>ном10</sub> , кВт	P <sub>ном11</sub> , кВт	P <sub>ном12</sub> , кВт	P <sub>ном13</sub> , кВт	P <sub>ном14</sub> , кВт	P <sub>ном15</sub> , кВт	P <sub>ном16</sub> , кВт
1	50	67	3	0,7	0,3	400	С	10	0,8	1,2	5,2	3,7	6,2	8,6	3,4	7,2	2,7	4,9	1,9	7,6	5,2	1,4	2,8	6,7	3,4
2	34	84	6	0,8	2,3	450	Л	17	0,9	3,4	1,2	1,6	3,9	5,7	6,1	6,9	4,5	5,2	2,6	4,5	4,6	8,2	3,5	8,3	5,1
3	56	48	5	0,6	2,0	350	С	13	0,85	5,1	3,4	1,2	3,7	6,2	8,6	3,4	7,2	2,7	4,9	1,9	7,6	5,2	1,4	2,8	6,7
4	65	48	4	0,9	0,8	400	Л	9	0,7	6,7	5,1	3,4	1,2	3,9	5,7	6,1	6,9	4,5	5,2	2,6	4,5	4,6	8,2	3,5	8,3
5	32	73	7	0,7	4,5	450	С	11	0,75	8,3	6,7	5,1	3,4	1,2	6,2	8,6	3,4	7,2	2,7	4,9	1,9	7,6	5,2	1,4	2,8
6	44	60	3	0,8	0,3	350	Л	7	0,8	2,8	8,3	6,7	5,1	3,4	1,2	5,7	6,1	6,9	4,5	5,2	2,6	4,5	4,6	8,2	3,5
7	37	74	6	0,6	3,2	400	С	8	0,9	3,5	2,8	8,3	6,7	5,1	3,4	1,2	8,6	3,4	7,2	2,7	4,9	1,9	7,6	5,2	1,4
8	75	39	5	0,9	1,4	450	Л	12	0,85	1,4	3,5	2,8	8,3	6,7	5,1	3,4	1,2	6,1	6,9	4,5	5,2	2,6	4,5	4,6	8,2
9	47	72	4	0,7	1,3	350	С	15	0,7	8,2	1,4	3,5	2,8	8,3	6,7	5,1	3,4	1,2	3,4	7,2	2,7	4,9	1,9	7,6	5,2
10	67	45	7	0,8	4,2	400	Л	18	0,75	5,2	8,2	1,4	3,5	2,8	8,3	6,7	5,1	3,4	1,2	6,9	4,5	5,2	2,6	4,5	4,6
11	39	71	3	0,6	0,2	450	С	13	0,8	4,6	5,2	8,2	1,4	3,5	2,8	8,3	6,7	5,1	3,4	1,2	7,2	2,7	4,9	1,9	7,6
12	60	42	6	0,9	3,0	350	Л	17	0,9	7,6	4,6	5,2	8,2	1,4	3,5	2,8	8,3	6,7	5,1	3,4	1,2	4,5	5,2	2,6	4,5
13	40	67	5	0,7	2,6	400	С	10	0,85	4,5	7,6	4,6	5,2	8,2	1,4	3,5	2,8	8,3	6,7	5,1	3,4	1,2	2,7	4,9	1,9
14	33	72	4	0,8	1,7	450	С	20	0,7	1,9	4,5	7,6	4,6	5,2	8,2	1,4	3,5	2,8	8,3	6,7	5,1	3,4	1,2	5,2	2,6
15	38	71	7	0,6	4,1	350	Л	14	0,75	2,6	1,9	4,5	7,6	4,6	5,2	8,2	1,4	3,5	2,8	8,3	6,7	5,1	3,4	1,2	4,9
16	48	62	3	0,9	0,1	400	С	15	0,8	4,9	2,6	1,9	4,5	7,6	4,6	5,2	8,2	1,4	3,5	2,8	8,3	6,7	5,1	3,4	1,2
17	46	63	6	0,7	2,2	450	Л	19	0,9	5,2	4,9	2,6	1,9	4,5	7,6	4,6	5,2	8,2	1,4	3,5	2,8	8,3	6,7	5,1	3,4
18	63	40	5	0,8	3,0	350	С	17	0,85	2,7	5,2	4,9	2,6	1,9	4,5	7,6	4,6	5,2	8,2	1,4	3,5	2,8	8,3	6,7	5,1
19	57	53	4	0,6	1,8	400	Л	18	0,7	4,5	2,7	5,2	4,9	2,6	1,9	4,5	7,6	4,6	5,2	8,2	1,4	3,5	2,8	8,3	6,7
20	72	35	7	0,9	3,9	450	С	16	0,75	7,2	4,5	2,7	5,2	4,9	2,6	1,9	4,5	7,6	4,6	5,2	8,2	1,4	3,5	2,8	8,3
21	29	72	3	0,7	0,0	350	Л	12	0,8	6,9	7,2	4,5	2,7	5,2	4,9	2,6	1,9	4,5	7,6	4,6	5,2	8,2	1,4	3,5	2,8
22	46	53	6	0,8	2,4	400	С	13	0,9	3,4	6,9	7,2	4,5	2,7	5,2	4,9	2,6	1,9	4,5	7,6	4,6	5,2	8,2	1,4	3,5
23	73	25	5	0,6	1,9	450	Л	19	0,85	6,1	3,4	6,9	7,2	4,5	2,7	5,2	4,9	2,6	1,9	4,5	7,6	4,6	5,2	8,2	1,4
24	54	46	4	0,9	1,8	350	С	15	0,7	8,6	6,1	3,4	6,9	7,2	4,5	2,7	5,2	4,9	2,6	1,9	4,5	7,6	4,6	5,2	8,2
25	58	39	7	0,7	3,5	400	Л	9	0,75	5,7	8,6	6,1	3,4	6,9	7,2	4,5	2,7	5,2	4,9	2,6	1,9	4,5	7,6	4,6	5,2
26	39	56	3	0,8	0,4	450	С	7	0,8	6,2	5,7	8,6	6,1	3,4	6,9	7,2	4,5	2,7	5,2	4,9	2,6	1,9	4,5	7,6	4,6
27	43	62	6	0,6	2,8	350	Л	8	0,9	3,9	6,2	5,7	8,6	6,1	3,4	6,9	7,2	4,5	2,7	5,2	4,9	2,6	1,9	4,5	7,6
28	67	42	5	0,9	2,1	400	С	16	0,85	3,7	3,9	6,2	5,7	8,6	6,1	3,4	6,9	7,2	4,5	2,7	5,2	4,9	2,6	1,9	4,5
29	49	51	4	0,7	1,6	450	Л	11	0,7	1,6	3,7	3,9	6,2	5,7	8,6	6,1	3,4	6,9	7,2	4,5	2,7	5,2	4,9	2,6	1,9
30	31	70	7	0,8	3,6	350	С	18	0,75	5,2	1,6	3,7	3,9	6,2	5,7	8,6	6,1	3,4	6,9	7,2	4,5	2,7	5,2	4,9	2,6

Вариант	P <sub>ном17</sub> , кВт	P <sub>ном18</sub> , кВт	P <sub>ном19</sub> , кВт	P <sub>ном20</sub> , кВт	Категория электроснабжения	U <sub>вн</sub> , кВ	L, м	L <sub>КЛ</sub> , км	S, м <sup>2</sup>
1	4,9	4,5	4,6	1,4	3	10	1250	21	21
2	1,2	1,9	7,6	8,2	2	6	1500	35	15
3	3,4	2,6	4,5	5,2	2	10	1650	17	20
4	5,1	1,2	1,9	4,6	3	6	1100	45	23
5	6,7	3,4	1,2	7,6	2	10	1380	24	24
6	8,3	5,1	3,4	4,5	2	6	1640	17	16
7	2,8	6,7	5,1	1,9	3	10	1360	23	19
8	3,5	8,3	6,7	1,2	3	6	1580	47	17
9	1,4	2,8	8,3	3,4	2	10	1670	38	20
10	8,2	3,5	2,8	5,1	3	6	1640	26	25
11	5,2	1,4	3,5	6,7	2	10	1890	19	23
12	4,6	8,2	1,4	8,3	3	6	1380	31	26
13	7,6	5,2	8,2	2,8	2	10	1490	21	24
14	4,5	4,6	5,2	3,5	2	6	1780	47	27
15	1,9	7,6	4,6	1,4	3	10	1590	39	28
16	2,6	4,5	7,6	8,2	2	6	1460	24	19
17	1,2	1,9	4,5	5,2	2	10	1950	46	18
18	3,4	1,2	1,9	4,6	2	6	1350	32	17
19	5,1	3,4	1,2	7,6	3	10	1480	11	21
20	6,7	5,1	3,4	1,2	3	6	1900	47	23
21	8,3	6,7	5,1	3,4	2	10	1700	19	25
22	2,8	8,3	6,7	5,1	2	6	1560	37	26
23	3,5	2,8	8,3	6,7	3	10	1470	36	27
24	1,4	3,5	2,8	8,3	2	6	1500	46	29
25	8,2	1,4	3,5	2,8	3	10	1600	19	24
26	5,2	8,2	1,4	3,5	2	6	1470	49	23
27	4,6	5,2	8,2	1,4	3	10	1580	34	18
28	7,6	4,6	5,2	8,2	3	6	1930	37	24
29	4,5	7,6	4,6	5,2	3	10	1780	38	18
30	1,9	4,5	7,6	4,6	2	6	1940	49	19

## 6.СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Таблица 1 – Определение коэффициента использования светового потока.

$\rho_{\pi}$	50	
$\rho_c$	50	30
$\rho_p$	10	
$j$	Коэффициент использования $\eta$ , %	
0,5	11	9
0,6	14	11
0,7	16	13
0,8	18	16
0,9	20	18
1,0	22	20
1,1	24	21
1,25	26	24
1,5	29	26
1,75	31	29
2,0	33	31
2,25	35	33
2,5	36	34
3,0	39	36
3,5	40	39
4,0	42	40
5,0	44	42

Таблица 2 – Световой поток светодиодных ламп и прожекторов.

Светодиодная лампа		
№ п/п	Мощность, Вт	Световой поток, Лм
1.	2-3	250
2.	4-5	400
3.	8-10	700
4.	10-12	900
5.	12-15	1200
6.	18-20	1800
7.	20-30	2500
Светодиодный прожектор		
1.	100	1600
2.	150	2100
3.	200	3100
4.	250	4000
5.	300	5100
6.	500	9800
7.	1000	21000

Таблица 3 – Световой поток люминесцентных ламп.

Световой поток люминесцентных ламп, Фл (лм)		
Тип лампы	Мощность, Вт	Световой поток, Лм
ЛДЦ 15	15	450
ЛД 15		525
ЛХБ 15		600
ЛБ 15		630
ЛТБ 15		600
ЛДЦ 20	20	620
ЛД 20		760
ЛХБ 20		900
ЛБ 20		980
ЛТБ 20		900
ЛДЦ 30	30	1110
ЛД 30		1380
ЛХБ 30		1500
ЛБ 30		1740
ЛТБ 30		1500
ЛДЦ 40	40	1520
ЛД 40		1960
ЛХБ 40		2200
ЛБ 40		2480
ЛТБ 40		2200
ЛДЦ 80	80	2720
ЛД 80		3440
ЛХБ 80		3840
ЛБ 80		4320

Таблица 4 – Выбор трансформатора.

Тип	S <sub>ном</sub> , кВА	U <sub>ном</sub> , кВ		ΔP <sub>хх</sub> , кВт	ΔP <sub>кз</sub> , кВт	U <sub>кз</sub> , %	I <sub>хх</sub> , %	r <sub>т</sub> , Ом	x <sub>т</sub> , Ом
		ВН	НН						
TM-25/6	25	6	0,4	0,11	0,6	4,5	2,2	39,6	54
TM-25/10	25	10	0,4	0,11	0,69	4,7	2,2	110	150
TM-40/6	40	6	0,4	0,15	0,88	4,5	2,0	19,8	35,4
TM-40/10	40	10	0,4	0,15	1	4,7	2,0	62,5	99
TM-63/6	63	6	0,4	0,21	1,28	4,5	1,8	13,3	23,2
TM-63/10	63	10	0,4	0,21	1,47	4,7	1,8	37	70,5
TM-100/6	100	6	0,4	0,27	1,9	4,5	1,6	8,18	14,7
TM-100/10	100	10	0,4	0,27	2,25	4,7	1,6	22,7	40,8
TM-160/6	160	6	0,4	0,41	2,6	4,5	1,4	4,35	10,2
TM-160/10	160	10	0,4	0,41	2,9	4,7	1,4	4,35	10,2
TM-250/6	250	6	0,4	0,47	3,7	4,5	1,2	6,7	15,6
TM-250/10	250	10	0,4	0,47	4,2	4,7	1,2	6,7	15,6
TM-400/6	400	6	0,4	0,72	5,5	4,5	1	3,7	10,6
TM-400/10	400	10	0,4	0,72	5,9	4,5	1	3,7	10,6
TM-630/6	630	6	0,4	1	7,6	5,5	0,6	2,12	8,5

TM-630/10	630	10	0,4	1	7,6	5,5	0,6	2,12	8,5
TM-1000/6	1000	6	0,4	1,4	10,8	5,5	0,6	0,44	2,84
TM-1000/10	1000	10	0,4	1,4	10,8	5,5	0,6	1,22	5,35
TM-1600/6	1600	6	0,4	1,7	17,3	6	0,5	0,7	3,27
TM-1600/10	1600	10	0,4	1,7	17,3	6	0,5	0,7	3,27
TM-2500/6	2500	6	0,4	2,5	28	6,5	0,4	0,4	2,16
TM-2500/10	2500	10	0,4	2,5	28	6,5	0,4	0,4	2,16

Таблица 5 – Коэффициент приведения моментов.

Линия	Ответвление	Коэффициент приведения моментов, $\alpha$
Трехфазное с нулем	Однофазное	1,85
Трехфазное с нулем	Двухфазное с нулем	1,39
Двухфазное с нулем	Однофазное	1,33
Трехфазная без нуля	Двухпроводное	1,15

Таблица 6 – Определение коэффициента с проводов

Номинальное напряжение сети, В	Система сети, род тока	Коэффициент С проводов	
		Медные	Алюминиевые
380/220	Трехфазная с нулем	72,4	44
380/220	Двухфазная с нулем	32,1	19,6
220	Однофазная с нулем	12,1	7,4
42	Двухпроводная, переменного и постоянного тока	0,4	0,244
24		0,324	0,198
12		0,036	0,022

Таблица 7 – Выбор проводов ВВГ.

ВВГ – медный, изоляция и оболочка из ПВХ (поливинилхлоридного) пластика, отсутствие защитного покрова.

№ п/п	Сечение, $\text{мм}^2$	Число жил	Допустимый ток в нормальном режиме, $I_{\text{доп}}, \text{А}$		Допустимый ток в режиме перегрузки, $I_{\text{доп}}, \text{А}$		Активное сопротивление $r_0, \text{Ом}/\text{км}$	Реактивное сопротивление $x_0, \text{Ом}/\text{км}$
			В воздухе	На земле	В воздухе	На земле		
1.	1,5	3	21	27	31	40	12,6	0,126
2.	2,5	3	27	36	31	40	7,55	0,116
3.	4	3	36	47	41	53	4,65	0,095
4.	6	3	46	59	53	66	3,06	0,09
5.	10	3	63	79	73	89	1,84	0,073
6.	16	3	84	102	97	115	1,2	0,0675
7.	25	3	112	133	129	150	0,74	0,0662
8.	1,5	4	19	25	22	28	12,3	0,126

9.	2,5	4	25	33	29	37	7,4	0,116
10.	4	4	33	43	38	49	4,63	0,095
11.	6	4	42	54	49	62	3,09	0,09
12.	10	4	58	73	67	83	1,84	0,073
13.	16	4	78	94	90	107	1,16	0,0675
14.	25	4	104	123	120	139	0,74	0,0662
15.	1,5	5	19	25	22	28	12,3	0,126
16.	2,5	5	25	33	29	37	7,4	0,116
17.	4	5	33	43	38	49	4,63	0,095
18.	6	5	42	54	49	62	3,09	0,09
19.	10	5	58	73	67	83	1,84	0,073
20.	16	5	78	94	90	107	1,16	0,0675
21.	25	5	104	123	120	139	0,74	0,0662

Таблица 8 – Экономическая плотность тока.

Проводники	Экономическая плотность тока, А/мм <sup>2</sup> , при продолжительности использования максимума нагрузки, ч		
	Более 1000 до 3000	Более 3000 до 5000	Более 5000
Неизолированные провода и шины			
Медные	2,5	2,1	1,3
Алюминиевые	1,3	1,1	1,0
Кабели с бумажной и провода с ПВХ или резиновой изоляцией с жилами			
Медными	3,0	2,5	2,0
Алюмелевыми	1,6	1,4	1,2
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией с жилами			
Медными	3,5	3,1	2,7
Алюминиевыми	1,9	1,7	1,6

Таблица 9 – Сопротивление автоматических выключателей.

Номинальный ток расцепителя, А	Активное сопротивление расцепителя, $R_{BA}$	Реактивное сопротивление расцепителя, $X_{BA}$
50	7	4,5
70	3,5	2
100	2,15	1,2
140	1,3	0,7
200	1,1	0,5
400	0,65	0,17
600	0,41	0,13
1000	0,25	0,1

Примечание: если ток расцепителя менее 50 ампер, сопротивлением катушки и контактов автоматического выключателя можно пренебречь.

Таблица 10 – Значения ударного коэффициента для различных мест короткого замыкания.

Место короткого замыкания	Ударный коэффициент, $K_{уд}$
Шины станций 6-10 кВ с генераторами 30-60 МВт	1,95
За линейным реактором генераторного напряжения	1,93
Шины высокого напряжения РУ с трансформаторами 100 МВА и выше	1,94
Шины высокого напряжения РУ с трансформаторами 32-80 МВА	1,92
Сборные шины 6-10 кВ понижающих подстанций с трансформаторами 100 МВА и выше	1,90
Сборные шины 6-10 кВ понижающих подстанций с трансформаторами 25-80 МВА	1,85
Сборные шины 6-10 кВ понижающих подстанций с трансформаторами 20 МВА и ниже и с трансформаторами 32 МВА с расщепленными обмотками	1,80
Токи короткого замыкания с номинальным током, А: 1000 и выше 630 и ниже	1,96 1,90
РУ 6-10 кВ промышленных предприятий	1,37
На стороне вторичного напряжения понижающих трансформаторов мощностью 1 МВА и менее и в распределительных сетях 0,4 кВ	1,10

Таблица 11 – Коэффициент спроса для розеточной сети.

Установленная (заявленная) мощность	До 5 кВт	До 14 кВт	20	30	40	50	60	70 и более
Коэффициент спроса	1	0,8	0,65	0,6	0,55	0,5	0,48	0,45

