

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
ДОНБАССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНАЯ  
АКАДЕМИЯ**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к выполнению курсового проекта по курсу**

**« ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ  
ПРЕДПРИЯТИЙ»**

**(для студентов специальности 7. 092203 всех форм обучения)**

Утверждено на заседании  
методического совета ДГМА  
Протокол № 6 от 23.03.06

**Краматорск 2006**

Методические указания к выполнению курсового проекта по курсу «Электроснабжение промышленных предприятий» (для студентов специальности 7.092203 всех форм обучения) / Сост. В. О. Квашнин. – Краматорск: ДГМА, 2006. – 36 с.

Методические указания содержат краткие теоретические сведения и основные положения по расчету и выбору основных элементов системы электроснабжения, заземления, освещения и т.д. промышленного предприятия и предназначены для самостоятельной работы студентов специальности 7.092203 при изучении курса «Электроснабжение промышленных предприятий». Кроме того, содержат основные требования к оформлению пояснительной записки и графической части, а также необходимые справочные сведения и варианты заданий для выполнения самостоятельных работ студентов.

Настоящие методические указания могут быть полезны при выполнении разделов дипломного проектирования, касающихся вопросов электроснабжения участков промышленных предприятий.

Составитель

В.О. Квашнин, доц.

Отв. за выпуск

А.М. Наливайко, доц.

## СОДЕРЖАНИЕ

|    |  |    |
|----|--|----|
| 1  | Указания по выполнению курсового проекта.....                    | 4  |
| 2  | Исходные данные и содержание курсового проекта.....              | 5  |
| 3  | Обоснование и выбор схемы электроснабжения.....                  | 6  |
| 4  | Расчет электрического освещения.....                             | 7  |
| 5  | Определение расчетных нагрузок.....                              | 10 |
| 6  | Выбор количества и типа трансформаторных подстанций.....         | 12 |
| 7  | Выбор рациональных сечений в распределительных сетях.....        | 13 |
| 8  | Выбор низковольтной коммутационной и защитной аппаратуры.....    | 18 |
| 9  | Компенсация реактивной мощности.....                             | 20 |
| 10 | Выбор трансформаторной подстанции.....                           | 21 |
| 11 | Определение расчетных электрических нагрузок цеха (участка)..... | 22 |
| 12 | Оснащение и расчет защитного заземления.....                     | 24 |
|    | Список рекомендуемой литературы.....                             | 28 |
|    | Приложение А.....  | 29 |
|    | Приложение Б.....  | 30 |
|    | Приложение В.....  | 34 |
|    | Приложение Г.....  | 35 |

# **1 УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

Курсовой проект включает расчетно-пояснительную записку на 20..25 страницах печатного текста и графическую часть на листах А3. Пояснительная записка должна раскрывать смысл проекта, содержать, кроме самих расчетов, аргументацию средств их выполнения, а также обоснование выводов.

## **Оформление расчетно-пояснительной записки**

Текст – на бумаге формата А4 (297х210 мм) по ГОСТ 2.301-68. Поля, мм: левое – 35 (для переплётa), правое – не меньше 10..15, верхнее – 25 и нижнее – не меньше 20. Поле не выделять контуром, страницы не обводить рамкой. Шрифт Times New Roman, размер 14, интервал 1.

Абзацы – 5 пробелов, нумерация разделов – арабскими цифрами. Вступление, список литературы – не нумеруют. Первый ряд – под названием каждого раздела с интервалом 15 мм. Разделы можно разбивать на подразделы, подразделы на пункты, а в середине пункта (при необходимости) выделить подпункты.

Нумерация страниц – сквозная, в верхней правой части, возле обреза, арабскими цифрами, без точки. Титульный лист не нумеруется.

Формулы нумеровать в круглых скобках (основные формулы, на которые есть ссылка в тексте). Иллюстрации (эскизы, схемы, графики) называть рисунками, нумеровать арабскими цифрами и обозначать так: "Рис.1. (название)". Аналогично нумеровать таблицы.

Содержание включает номера и названия разделов, подразделов, приложений и т.п. с обозначением страниц.

Не допускать произвольных сокращений типа "ф-ла" вместо "формула", "раз." вместо "разрешать". Применять только общепринятые сокращения, например: "и т.д.", "и т.п.", "и др."

## **Выполнение графической части**

Чертежи и схемы выполнять согласно правилам ЕСКД – Единой системы конструкторской документации.

Электрические схемы чертить по ГОСТ 2.701-76, ГОСТ 2.702-75, ГОСТ 2.705-70, а графические обозначения их элементов – в соответствии с ГОСТ 2.721-74, ГОСТ 2.748-68, ГОСТ 2.750-68, ГОСТ 2.755-74. На электрических схемах каждому элементу дать буквенное или буквенно-цифровое позиционное обозначение и номинальную величину (ГОСТ 2.710-81).

## 2 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

Задача на курсовой проект предусматривает проектирование схемы электроснабжения участка цеха промышленного предприятия. Исходные данные для проектирования — индивидуальные (образец - табл.1). План расположения электропотребителей цеховой распределительной подстанции (ЦРП) изображен на рис.1. Уточнять и изменять задание может только руководитель работы.



Рисунок 1 – План расположения электропотребителей ЦРП

### Содержание проекта

Порядок проектирования:

- обоснование и выбор схемы электроснабжения участка цеха промышленного предприятия;
- расчет электрического освещения;
- определение электрической мощности;
- расчет электрических показателей и определение потребляемой электроэнергии за месяц работы электрооборудованием ЦРП;
- выбор типа и сечения низковольтных ЛЭП;
- выбор типа и сечения высоковольтных ЛЭП;
- выбор низковольтной коммутационной и защитной аппаратуры;
- выбор конденсаторной батареи для компенсации реактивной мощности для наиболее удаленного потребителя;
- выбор количества и типа трансформаторных подстанций;
- расчет защитного заземления.

В графической части необходимо отобразить:

- а) план размещения электрооборудования и электрических сетей;
- б) однолинейную схему электроснабжения участка;
- в) принципиальную электрическую схему электроустановки;
- г) схему заземления

Таблица 1 – Исходные данные

| Вариант | Потребители участка цеха |          |            |             |        |        |       | Потребители цеха промышленного предприятия |                         |                  |             |                |                          | Напряжение ТП на низкой стороне, кВ | расстояние от ТП до цеха, км | Сетка участков, м х м |
|---------|--------------------------|----------|------------|-------------|--------|--------|-------|--|-------------------------|------------------|-------------|----------------|--------------------------|-------------------------------------|------------------------------|-----------------------|
|         | СБА-500                  | ЗИФ-650М | ЗИФ-1200МР | УКБ-200/300 | УКБ-4П | УКБ-7П | СКБ-4 | Металлорежущие станки, кВт                 | Сварочные агрегаты, кВА | Компрессоры, кВт | Насосы, кВт | Освещение, кВт | Собственные потребности, |                                     |                              |                       |
| 1       | 6                        |          |            |             |        |        |       | 30   | 40                      | 15               | 120         | 7              | 10                       | 10                                  | 5                            | 200x200               |
| 2       |                          | 5        |            |             |        |        |       | 15   | 30                      | 30               | 40          | 10             | 15                       | 6                                   | 4                            | 300x300               |
| 3       |                          |          | 4          |             |        |        |       | 10   | 20                      | 30               | 80          | 12             | 20                       | 10                                  | 12                           | 400x400               |
| 4       |                          |          |            | 8           |        |        |       | 20   | 18                      | 20               | 16          | 14             | 25                       | 10                                  | 14                           | 350x350               |
| 5       |                          |          |            |             | 7      |        |       | 25   | 36                      | 16               | 24          | 8              | 30                       | 6                                   | 6                            | 200x200               |
| 6       |                          |          |            |             |        | 4      |       | 30   | 15                      | 15               | 20          | 5              | 8                        | 10                                  | 15                           | 300x300               |
| 7       |                          |          |            |             |        |        | 6     | 18   | 20                      | 10               | 30          | 6              | 9                        | 6                                   | 5                            | 500x500               |
| 8       |                          |          |            |             |        | 6      |       | 20   | 10                      | 30               | 15          | 12             | 7                        | 6                                   | 4,5                          | 600x600               |
| 9       |                          |          |            | 6           |        |        |       | 35   | 16                      | 18               | 40          | 10             | 17                       | 10                                  | 8                            | 250x250               |
| 10      |                          |          |            |             | 5      |        |       | 27   | 18                      | 40               | 20          | 15             | 27                       | 10                                  | 10                           | 200x200               |
| 11      |                          |          | 3          |             |        |        |       | 12   | 20                      | 36               | 27          | 9              | 16                       | 10                                  | 9                            | 400x400               |
| 12      |                          | 7        |            |             |        |        |       | 22   | 15                      | 40               | 36          | 11             | 18                       | 6                                   | 12                           | 500x500               |

### 3 ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР СХЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Выбор схемы электроснабжения ЦРП зависит от многих факторов: удаленности от государственной энергосети, степени рассредоточения электропотребителей и их мощности, характера предприятия и др. Эти факторы и условия определяют разнообразие возможных вариантов.

Источниками питания электроэнергией потребителей в схемах электроснабжения ЦРП могут быть: передвижные, полустационарные и стационарные электростанции, районные (местные) или государственные энергосети. Передвижные и полустационарные электростанции преимущественно используют при ремонте удаленных объектов. При возрастании количества и мощности электропотребителей электроснабжение

подаётся от стационарных электростанций. С увеличением мощности электростанции снижается себестоимость 1 кВт-час, тем не менее, потери электроэнергии и напряжения в низковольтных сетях возрастают. Централизованное электроснабжение имеет лучшие технико-экономические и энергетические показатели сравнительно с децентрализованным. Потери мощности в проводах прямо пропорциональны квадрату величины тока, а потери напряжения и площадь сечения проводов пропорциональны току, поэтому, чем выше напряжение, которое передается, тем меньше потери мощности и напряжения, а также площадь сечения проводов, так как повышение напряжения приводит к подорожанию ЛЭП. Таким образом, экономически обосновано такое напряжение, при котором суммарные годовые затраты на передачу электроэнергии минимальны.

Цеховое напряжение электростанций составляет 0,4...6,3 кВ. Потребители, размещенные близ ЦТП, питаются непосредственно от нее.

Наилучшие технико-экономические показатели – это схемы централизованного электроснабжения при питании от районной энергосистемы. В этом случае становится лишним сооружение собственных стационарных электростанций и обеспечение их топливом, которое в отдаленных районах дорого и требует больших трудозатрат.

При выборе и расчете системы электроснабжения цехового участка основными исходными данными являются:

- 1) схема размещения электропотребителей в цехе (на участке);
- 2) местонахождение существующего вблизи энергопитания и сетей электроснабжения;
- 3) номенклатура потребителей электроэнергии (тип, мощность, количество);
- 4) объем цеховых работ, удельная затрата электроэнергии, технико-экономические данные (стоимость топлива, энергии, транспорта).

Технико-экономическому расчету системы электроснабжения предшествует расчет электрических нагрузок как по отдельным потребителям, так и в общем по всему предприятию.

#### **4 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ**

В процессе расчета электрического освещения необходимо установить количество и мощность светильников по нормам освещенности.

Такие нормы некоторых объектов приведены в табл.2.

Расчет цехового освещения может осуществляться точечным методом или методом коэффициента использования. Первый метод применяют для расчета освещения участка цеха, а второй – чтобы вычислить степень освещения рабочих мест при отсутствии больших затеняющих предметов.

## Расчет освещения точечным методом

Данные для расчета – кривая распределения силы света светильника и расстояние от него до точки освещаемой поверхности.

Таблица 2 – Нормы освещения объектов

| Характеристика освещаемого объекта                   | Минимальное освещение, лк |
|--|---------------------------|
| Рабочее место около участка цеха                     | 40                        |
| Машинные камеры, мастерские                          | 50...70                   |
| Пункты нагрузки, розьезды, лестничные клетки         | 15                        |
| Откатные выработки                                   | 2...3                     |
| Щиты и контрольно-измерительные приборы              | 50                        |
| Двигатели, насосы                                    | 25                        |
| Слесарный станок                                     | 40                        |
| Лестница, вход в цех, зумпф для промывочной жидкости | 10                        |
| Цеховые работы                                       | 5...10                    |

Освещенность в горизонтальной плоскости

$$E_r = c I_a \cos^2 \alpha / (K_3 h^2), \quad (1)$$

где  $c$  - коэффициент, который учитывает световой поток лампы,  $c = \Phi_n / 1000$ ;

$\Phi_n$  - световой поток принятой лампы;

$I_a$  - сила света светильника;

$\alpha$  - угол падения светового потока;

$K_3$  - коэффициент запаса с учетом снижения светового потока вследствие загрязнения стекла, старения ламп и т.п. ( $K_3 = 1,2 \dots 2,0$ );

$h$  - высота подвеса светильника, м.

Освещение в вертикальной плоскости

$$E_v = E_r \operatorname{tg} \alpha. \quad (2)$$

При расчете определяют  $E$  от одного светильника, после чего – от двух соседних в точке между ними. Полученную освещенность проверяют по существующим нормам.

## Расчет освещения методом коэффициента использования

Общий световой поток (учитывает освещенность от отраженного света)

$$\Phi = E S K_3 / (\eta z), \quad (3)$$



где  $E$  - нормативная освещенность, лк;  
 $S$  - освещаемая рабочая площадь, м<sup>2</sup>;  
 $K_3$  - коэффициент запаса ( $K_3 = 1,2 \dots 2,0$ );  
 $\eta$  - коэффициент использования светового потока светильников;  
 $Z$  - отношение минимальной освещенности к средней.  
 Количество ламп

$$n = \Phi / \Phi_{\text{л}}, \quad (4)$$

где  $\Phi_{\text{л}}$  - световой поток лампы.

Коэффициент использования светового потока берется с [1] и в значительной мере зависит от цвета потолка и стен помещения.

Показатель освещенности помещения:

$$i = a b / [h (a+b)], \quad (5)$$

где  $a$  - длина помещения, м;

$b$  - ширина помещения, м;

$h$  - высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м.

При освещении объектов прожекторами количество прожекторов:

$$n = \Phi / (\Phi_{\text{п}} \eta_{\text{пр}}). \quad (6)$$

где  $\Phi$  - общий световой поток, лм;

$\Phi_{\text{п}}$  - световой поток прожектора, лм;

$\eta_{\text{пр}}$  - КПД прожектора,  $\eta_{\text{пр}} = 0,35 \dots 0,37$ .

$$\Phi = ESbc, \quad (7)$$

где  $E$  - нормативная освещенность, лк;

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

$b$  - коэффициент, определяющий затраты света от расстояния ( $b = 1,1 \dots 1,5$ );

$c$  - коэффициент с учетом запыленности и старения ламп ( $c = 1,2 \dots 1,5$ ).

Ориентировочно высоту установки прожектора рассчитывают по формуле

$$h \geq \sqrt{\frac{I_{\text{max}}}{300}}, \text{ м}, \quad (8)$$

где  $I_{\text{max}}$  - максимальная сила света лампы прожектора, кд.

Созданная прожектором освещенность изменяется в зависимости от угла наклона оптической оси прожектора, который определяется по приведенным в литературе формулам или опытным путем.

## 5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ НАГРУЗОК

Определение электрических нагрузок – одна из наиболее ответственных задач проектирования электроснабжения. По значению электрических нагрузок производят выбор всех элементов и технико-экономических показателей системы электроснабжения. От правильной оценки ожидаемых нагрузок зависят капитальные затраты в схеме электроснабжения, затраты цветного металла, затраты электроэнергии и эксплуатационные затраты. При проектировании и эксплуатации электроснабжения участка цеха основными являются три вида нагрузок: активная мощность  $P$ , реактивная мощность  $Q$  и ток  $I$ . Для условий проведения цеховых работ, где нагрузка потребителей крайне неравномерна и как правило отсутствуют графики нагрузок, которые можно было бы взять за основу при проектировании ЦТП, наиболее приемлем метод расчета электрических нагрузок по установленной мощности и коэффициенту спроса.

Расчетная нагрузка для групп, однородных по режиму работы электропотребителей цеха, определяется по формулам:

$$P_p = K_{\text{П}} P_{\text{Н}} ; \quad (9)$$

$$Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi ; \quad (10)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} ; \quad (11)$$

где  $P_{\text{Н}}$  - активная номинальная мощность электропотребителей, сведена к  $\text{ПВ}=1$ ;

$P_p$  - расчетная активная мощность, кВт;

$Q_p$  - расчетная реактивная мощность, кВАр;

$S_p$  - полная расчетная мощность, кВА;

$K_{\text{П}}$  - коэффициент спроса данной характерной группы электропотребителей, который принимается по справочным материалам [1];

$\operatorname{tg} \varphi$  - отвечает характерному для данной группы электропотребителей  $\cos \varphi$ , который определяется по справочным материалам. Для двигателей повторно-кратковременного режима номинальная мощность сводится к продолжительному режиму ( $\text{ПВ}=1$ )

$$P_{\text{НОМ}} = P_n \sqrt{\text{ПВ}_n} \quad (12)$$

где  $P_{\text{НОМ}}$  и  $\text{ПВ}_n$  – соответственно, паспортные мощность и продолжительность включения:

$$\text{ПВ} = T_{\text{ВКЛ}} / (T_{\text{ВКЛ}} + T_{\text{ВЫКЛ}}) = T_{\text{ВКЛ}} / T_y, \quad (13)$$

где  $T_{\text{ВКЛ}}$ ,  $T_{\text{ВЫКЛ}}$ ,  $T_y$  – соответственно, время включения, выключения и время

цикла работы механизма или установки.

Для сварочных машин и трансформаторов номинальная мощность

$$P_{\text{ном}} = S_n \cos \varphi_n \sqrt{ПВ_n} \quad (14)$$

где  $S$ -паспортная мощность трансформатора;  
 $\cos \varphi$ ,  $ПВ_n$  - паспортные значения.

Расчетная нагрузка всего участка определяется суммированием расчетных нагрузок отдельных групп электропотребителей, которые входят в данный узел, с учетом коэффициента разновременности максимумов нагрузок  $K_{pm}$  ( $K_{pm}=0,85...1,0$ ):

$$S_p = K_{pm} \sqrt{\sum P_p^2 + \sum Q_p^2}, \quad (15)$$

где  $\sum P_p^2$  - сумма расчетных активных нагрузок отдельных групп приёмников;

$\sum Q_p^2$  - сумма расчетных реактивных нагрузок отдельных групп приёмников.

Результаты расчетов сводятся в таблицу 3.

*Таблица 3 – Расчет электрических нагрузок*

| Электропотребители | Количество электропотребителей | Паспортная мощность одного электропотребителя, сведенная к ПВ=1 Р <sub>n</sub> , кВт | Суммарная мощность электропотребителей, кВт | K <sub>c</sub> | cosφ | tgφ | Расчетная мощность   |                       |
|--------------------|--------------------------------|--|---|----------------|------|-----|----------------------|-----------------------|
|                    |                                |  |   |                |      |     | P <sub>p</sub> , кВт | Q <sub>p</sub> , кВАр |
| 1                  | 2                              | 3  | 4   | 5              | 6    | 7   | 8                    | 9                     |
|                    |                                |  |   |                |      |     |                      |                       |

### **Рекомендации относительно последовательности расчета электрических нагрузок**

При определении электрических нагрузок в сети электроснабжения ЦРП целесообразно придерживаться такой последовательности расчета:

**1** Определить расчетную нагрузку от низших к высшим ступеням системы электроснабжения по отдельным расчетным узлам и в сетях напряжением до 1000 В (см. рис.2, точки 1-3).

**2** Установить количество и номинальную мощность всех силовых электропотребителей напряжением до 1000 В (без учета резервных) данного

расчетного узла.

**3** По справочным данным для характерных групп электропотребителей определить  $K_{\pi}$  и  $\cos\varphi$ .

**4** Вычислить  $P_p$ ,  $Q_p$  и  $S_p$  (для т. 1) с учетом осветительной нагрузки для выбора сечения низковольтной ЛЭП 0,4 кВ кабельного ввода электроэнергии в цех и аппаратуры присоединения.

**5** По узлу (т.2) расчета нагрузки  $S_p$  найти добавлением  $P_p$  и  $Q_p$  присоединение групповых электропотребителей с учетом  $K_{pm}$  (15).

**6** Для выбора мощностей трансформаторных подстанций и параметров высоковольтных ЛЭП заранее принять потери в трансформаторах и сетях соответственно (19), (20), (21).

**7** Общая электрическая мощность в целом по предприятию (см. табл.3) определяется совокупностью всех силовых и осветительных нагрузок с прибавлением потерь в трансформаторах и высоковольтных ЛЭП.

Исходные данные и результаты расчета занести в табл. 3.

## **6 ВЫБОР КОЛИЧЕСТВА И ТИПА ТРАНСФОРМАТОРНЫХ ПОДСТАНЦИЙ**

Выбор количества трансформаторов, типа и схемы питания подстанции обусловлен величиной и характером электрических нагрузок, размещением нагрузок на плане местности. Необходимо широко применять комплектные трансформаторные подстанции (КТП) с установкой на фундаменте из кирпича или бетона. Затраты на сооружение КТП на 20...30% ниже, чем на сооружение мачтовых подстанций той же мощности, а время внедрения в эксплуатацию значительно меньше.

Для временных работ чаще применяют передвижные однотрансформаторные подстанции (ПТП) мощностью до 400 кВА.

Мощность трансформатора подстанции должна быть достаточной для обеспечения полезной работы всех подключенных к подстанции потребителей. При этом надо учитывать перегрузочную способность трансформаторов, особенно в тех случаях, когда в графике нагрузки имеет место резкий максимум сравнительно небольшой продолжительности.

Практика показывает: если продолжительность максимума составляет 4...5 часов, то в условиях цеховых работ можно допускать перегрузки трансформатора на 15 ... 20% относительно его номинальной мощности. Тем не менее, перегрузка не должна превышать величин, допустимых действующих в ПУЭ [3]. Так, в аварийных режимах допускается перегрузка маслонаполненных трансформаторов до 40% сверх номинального на время максимумов общей суточной продолжительностью не более шести часов на протяжении не более пяти дней.

Основная величина для выбора мощности силовых трансформаторов – полная расчетная нагрузка  $S_p$  данного объекта. При этом следует придерживаться условия

$$S_{тр} > S_p. \quad (16)$$

С учетом компенсации реактивной мощности

$$S_{\text{тр}} = \sqrt{(\sum P_p)^2 + (\sum Q_p - Q_k)^2}, \quad (17)$$

где  $Q_k$  - реактивная мощность, генерируемая батареей конденсаторов, кВАр.

Выбранный трансформатор необходимо проверить на возможность пуска наиболее мощного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

Двухтрансформаторные подстанции применяются для питания потребителей I и II категорий:

$$S_{\text{тр}} = S_p / (N K_n), \quad (18)$$

где  $N$  – количество установленных на подстанции трансформаторов;

$K_n$  – коэффициент нагрузки ( $K_n = 0,7$ ).

Для окончательного выбора мощности трансформаторных подстанций и параметров высоковольтной сети сначала рассчитывают потери в трансформаторных сетях:

$$\Delta P_{\text{тр}} = 0,02 S_{\text{рн}}; \quad (19)$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = 0,1 S_{\text{рн}}; \quad (20)$$

$$\Delta P_{\text{м}} = 0,03 S_{\text{рн}}, \quad (21)$$

где  $S_{\text{рн}}$  – расчетная мощность на шинах нижнего напряжения до 1000 В с учетом потерь в этой сети.

Технические характеристики комплектных трансформаторных подстанций приведены в (1).

## 7 ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Сети электроснабжения ЦРП должны отвечать всем требованиям относительно сетей общепромышленного назначения [3,4].

Во время цеховых работ наиболее распространены многожильные алюминиевые провода марок от А-16 до А-96. По условиям механической прочности алюминиевые провода должны приниматься сечением не менее 16 мм<sup>2</sup> для сетей напряжением до 1000 В, 25 мм<sup>2</sup> – на напряжение 6...35 кВ, сталеалюминевые провода марки АС, соответственно, 10 и 16 мм<sup>2</sup>.

В цехах используют как временные (переносные), так и постоянные (стационарные) кабельные линии. Для первых – шланговые, для других – свинцовые, бронированные или гибкие кабели. Участок схемы электроснабжения изображен на рисунке 2.

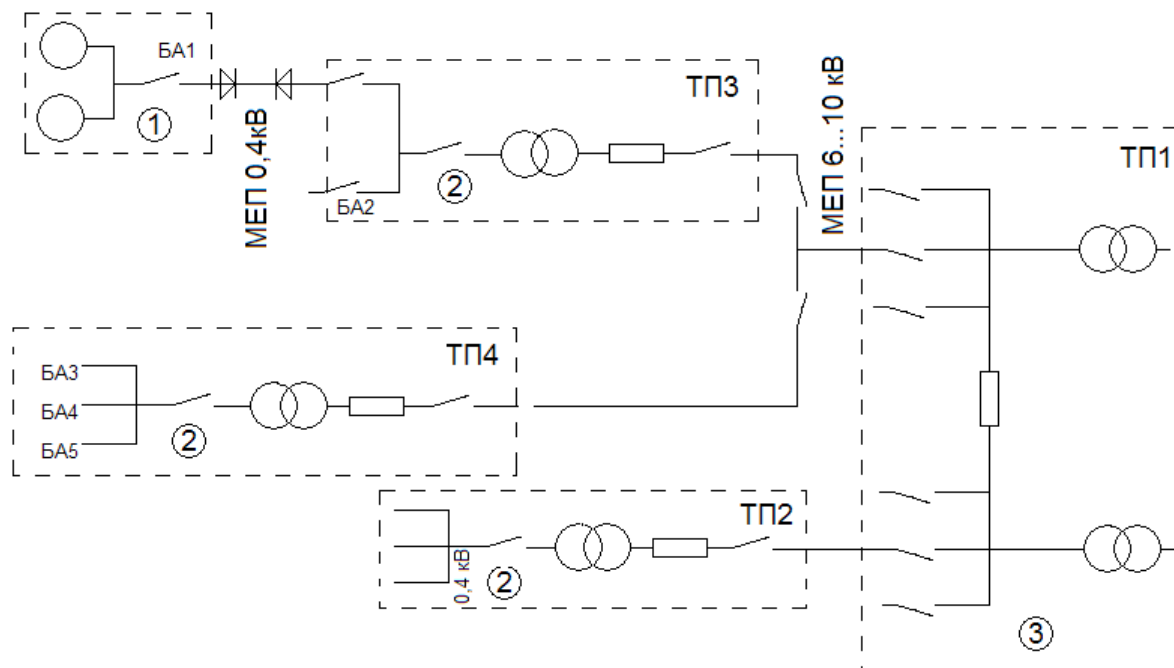


Рисунок 2 – Участок схемы электроснабжения с нанесением характерных узлов расчета

Расчет электрических сетей происходит по плану и схеме электроснабжения участка – определение минимального сечения проводов и кабелей по нормам ПУЭ (3). Сечение проводов и кабелей высоковольтных ЛЭП выбирают по тепловым режимам и проверяют по допустимой потере напряжения. Расчетный ток, который протекает в линии, определяется по формуле

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} * U_H}, \quad (22)$$

где  $S_p$  – рассчитываемая нагрузка участка цеха, кВ·А;  
 $U_H$  – номинальное напряжение, кВ.

Выбор сечения проводника по условию нагревания сводится к определению силы тока нагрузки в проводнике и его сравнению с табличным допустимым значением тока для принятой конструкции провода или кабеля и условий прокладки. При этом следует придерживаться условия

$$I_p < I_d, \quad (23)$$

где  $I_d$  – допустимый максимальный ток для выбранного сечения проводника, взятый из табл. 4 и 5.

Тем не менее, необходимо учесть, что в табл. 4 и 5 приведена продолжительность нагрузки для температуры  $+25^{\circ}\text{C}$ . Если температура окружающей среды отличается, необходимо принимать поправочный коэффициент (табл. 6). Допустимые температуры нагревания проводников приведены в приложении А.

Таблица 4 – Допустимые токовые нагрузки на провода

| Медные              |               |             | Алюминиевые |               |             | Сталеалюминиевые |               |             |
|---------------------|---------------|-------------|-------------|---------------|-------------|------------------|---------------|-------------|
| Токовая нагрузка, А |               |             |             |               |             |                  |               |             |
| Марка               | Вне помещения |             | Марка       | В помещении   |             | Марка            | В помещении   |             |
|                     | Вне помещения | В помещении |             | Вне помещения | В помещении |                  | Вне помещения | В помещении |
| М-4                 | 50            | 25          | А-16        | 105           | 75          | АС-16            | 80            | 50          |
| М-6                 | 70            | 35          | А-25        | 135           | 105         | АС-25            | 105           | 75          |
| М-10                | 95            | 60          | А-35        | 170           | 130         | АС-35            | 130           | 100         |
| М-16                | 130           | 100         | А-50        | 215           | 165         | АС-50            | 175           | 135         |
| М-25                | 180           | 135         | А-70        | 265           | 210         | АС-70            | 210           | 165         |
| М-35                | 220           | 170         | А-95        | 320           | 255         | АС-95            | 265           | 210         |
| М-50                | 260           | 215         | А-120       | 375           | 300         | АС-120           | 330           | 260         |
| М-70                | 340           | 270         | А-150       | 440           | 355         | АС-150           | 380           | 305         |
| М-95                | 415           | 335         | А-185       | 500           | 410         | АС-185           | 445           | 365         |
| М-120               | 485           | 395         | А-240       | 590           | 490         | АС-240           | 510           | 425         |

Таблица 5 – Продолжительно допустимые нагрузки на кабель с алюминиевыми (числитель) и медными (знаменатель) жилами в свинцовой или алюминиевой оболочке

| Сечение жилы, мм <sup>2</sup> | Проложенный в земле |         |          | Проложенный снаружи |         |          |
|-------------------------------|---------------------|---------|----------|---------------------|---------|----------|
|                               | до 3 кВ             | до 6 кВ | До 10 Кв | до 3 кВ             | до 6 кВ | до 10 кВ |
| 2,5                           | 31/40               | -       | -        | 22/28               | -       | -        |
| 4                             | 42/55               | -       | -        | 29/37               | -       | -        |
| 6                             | 55/70               | -       | -        | 35/45               | -       | -        |
| 10                            | 75/95               | 60/80   | -        | 46/60               | 42/55   | -        |
| 16                            | 90/120              | 80/105  | 75/95    | 60/80               | 50/65   | 46/60    |
| 25                            | 125/160             | 105/135 | 90/120   | 80/105              | 70/90   | 65/85    |
| 35                            | 145/190             | 125/160 | 115/150  | 95/125              | 85/110  | 80/105   |
| 50                            | 180/235             | 155/200 | 140/180  | 120/155             | 110/145 | 105/135  |
| 70                            | 220/285             | 190/24  | 165/215  | 155/200             | 135/175 | 130/165  |
| 95                            | 260/340             | 225/295 | 205/265  | 190/245             | 165/215 | 155/200  |
| 120                           | 300/390             | 260/340 | 240/310  | 220/285             | 190/250 | 185/240  |
| 150                           | 335/435             | 300/390 | 275/355  | 255/290             | 225/290 | 210/270  |

Таблица 6 – Поправочный коэффициент  $K_1$  на температуру земли и воздуха для токовых нагрузок в кабеле и проводе

| Расчетная температура среды, °С | Нормированная температура, °С | Поправочный коэффициент при фактической температуре среды, °С |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------------|-------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                 |                               | -5  | 0    | +5   | +10  | +15  | +20  | +25  | +30  | +35  | +40  | +45  | +50  |
| 15 з                            | 80                            | 1,14  | 1,11 | 1,08 | 1,04 | 1,00 | 0,96 | 0,92 | 0,88 | 0,83 | 0,78 | 0,73 | 0,68 |
| 25 п                            |                               | 1,24  | 1,20 | 1,17 | 1,13 | 1,09 | 1,04 | 1,00 | 0,95 | 0,90 | 0,85 | 0,80 | 0,74 |
| 25 п                            | 70                            | 1,29  | 1,24 | 1,70 | 1,15 | 1,11 | 1,05 | 1,00 | 0,94 | 0,88 | 0,81 | 0,74 | 0,67 |
| 15 з                            | 65                            | 1,18  | 1,14 | 1,10 | 1,05 | 1,00 | 0,95 | 0,89 | 0,84 | 0,77 | 0,71 | 0,63 | 0,55 |
| 25 п                            |                               | 1,32  | 1,27 | 1,22 | 1,17 | 1,12 | 1,06 | 1,00 | 0,94 | 0,87 | 0,79 | 0,71 | 0,61 |
| 15 з                            | 60                            | 1,20  | 1,15 | 1,12 | 1,06 | 1,00 | 0,94 | 0,88 | 0,82 | 0,75 | 0,67 | 0,57 | 0,47 |
| 25 п                            |                               | 1,36  | 1,31 | 1,25 | 1,20 | 1,13 | 1,07 | 1,00 | 0,93 | 0,85 | 0,76 | 0,66 | 0,54 |
| 15 з                            | 55                            | 1,22  | 1,17 | 1,12 | 1,07 | 1,00 | 0,93 | 0,86 | 0,79 | 0,71 | 0,61 | 0,50 | 0,36 |
| 25 п                            |                               | 4,41  | 1,35 | 1,39 | 1,23 | 1,15 | 1,08 | 1,00 | 0,91 | 0,82 | 0,71 | 0,58 | 0,41 |
| 15 з                            | 50                            | 1,25  | 1,20 | 1,14 | 1,07 | 1,00 | 0,93 | 0,84 | 0,75 | 0,66 | 0,54 | 0,37 | -    |
| 25 п                            |                               | 1,48  | 1,41 | 1,34 | 1,26 | 1,18 | 1,09 | 1,00 | 0,89 | 0,78 | 0,63 | 0,45 | -    |

$$I_{д} = K_1 K_2 I_{д,табл} \quad (24)$$

где  $K_1$  - поправочный коэффициент на температуру окружающей среды;  
 $K_2$  - поправочный коэффициент на количество кабелей, проложенных рядом в одной траншее (табл.7);

$I_{д,табл}$  - табличное значения допустимого тока.

Если условие (23) не выполняется, надо принять большее ближайшее сечение.

Проверка относительно потери напряжения определяет соответствие выбранного сечения условию

$$\Delta U < \Delta U_{доп}, \quad (25)$$

где  $\Delta U$  - потери напряжения в линии, %;

$\Delta U_{доп}$  - допустимое отклонение напряжения от номинального, % [3].

Таблица 7 – Поправочный коэффициент  $K_2$  на количество задействованных кабелей, проложенных рядом в земле

| Расстояние между проложенными кабелями, мм | Количество кабелей |      |      |      |      |      |
|--|--------------------|------|------|------|------|------|
|  | 1                  | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
| 100  | 1,00               | 0,90 | 0,85 | 0,80 | 0,78 | 0,75 |
| 250  | 1,00               | 0,92 | 0,87 | 0,84 | 0,82 | 0,81 |
| 300  | 1,00               | 0,93 | 0,90 | 0,84 | 0,86 | 0,85 |



В соответствии с ПУЭ, на зажимах электродвигателей допускаются потери напряжения, которые не отличаются более 5% от номинальных, в отдельных случаях увеличение напряжения возможно на 10% от номинального. Напряжение на лампах рабочего освещения не должна отличаться от номинального больше чем на -2,5 и +5%.

Потеря напряжения в линии трехфазного тока рассчитывается

$$\Delta U = \sqrt{3} I_p l (r_o \cos \varphi + x_o \sin \varphi), \quad (26)$$

где  $I_p$  – ток расчетного участка;

$l$  - длина расчетного участка линии, км;

$r_o$  - активное сопротивление 1км линии, Ом/км;

$x_o$  - индуктивное сопротивление 1км линии, Ом/км;

$\varphi$  - угол сдвига фаз между током и напряжением в расчетном участке

Числовые значения выражения  $(r_o \cos \varphi + x_o \sin \varphi)$ , для некоторых значений коэффициента мощности и марок алюминиевого провода приведены в табл.8.

Таблица 8 – Электрическое сопротивление алюминиевых проводов

| Марка провода | $r_o$ , Ом/км | $x_o$ , Ом/км | $(r_o \cos \varphi + x_o \sin \varphi)$ при $\cos \varphi$ |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------|---------------|---------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|               |               |               | 0,95   | 0,90  | 0,85  | 0,80  | 0,75  | 0,70  | 0,65  | 0,60  |
| А-16          | 1,96          | 0,375         | 1,926  | 1,864 | 0,822 | 1,754 | 1,681 | 1,607 | 1,529 | 1,447 |
| А-25          | 1,27          | 0,363         | 1,292  | 1,274 | 1,246 | 1,210 | 1,170 | 1,127 | 1,082 | 1,035 |
| А-35          | 0,8:          | 0,352         | 0,950  | 0,949 | 0,936 | 0,919 | 0,895 | 0,871 | 0,843 | 0,814 |
| А-50          | 0,63          | 0,341         | 0,766  | 0,774 | 0,772 | 0,761 | 0,747 | 0,729 | 0,711 | 0,630 |
| А-70          | 0,45          | 0,331         | 0,552  | 0,553 | 0,564 | 0,567 | 0,566 | 0,562 | 0,537 | 0,549 |
| А-95          | 0,33          | 0,319         | 0,402  | 0,432 | 0,447 | 0,456 | 0,460 | 0,463 | 0,464 | 0,461 |
| А-120         | 0,27          | 0,313         | 0,350  | 0,379 | 0,396 | 0,407 | 0,414 | 0,419 | 0,421 | 0,422 |

При расчете кабельных линий индуктивным сопротивлением пренебрегают из-за его маленькой величины, то есть принимают  $x_o=0$ . Если условие (25) не выполняется, нужно увеличить сечение провода и повторить проверочный расчет. Выбор сечения низковольтных воздушных и кабельных ЛЭП, как и высоковольтных, осуществляется по допустимым токовым нагрузкам и проверяется по допустимой потере напряжения. На цеховых площадках низковольтные ЛЭП выполняют воздушными. При маленькой длине они могут выполняться кабелем, подвешенным на временных опорах. Потери напряжения в низковольтных сетях можно рассчитывать по упрощенным формулам.

Для трехфазной линии:

$$\Delta U = 100 P_p l / (U_n^2 \gamma S) \leq \Delta U_{\text{доп}}, \quad (27)$$

где  $l$  - длина линии, м;

$\gamma$  - удельная проводимость, которая равна для меди 50 м/(Ом·мм<sup>2</sup>), а для алюминия 34 м/(Ом·мм<sup>2</sup>);

$\Delta U_{\text{доп}}$  - допустимая потеря напряжения в линии, В;

$S$  - сечение линии, мм<sup>2</sup>.

Для однофазной двухпроводной сети:

$$\Delta U = 200 P_p l / (U_n^2 \gamma S) \leq \Delta U_{\text{доп}}. \quad (28)$$

Во время цеховых работ из-за большой длины и разветвленности электрических сетей расчет сечения проводов по потере напряжения является определяющим.

## 8 ВЫБОР НИЗКОВОЛЬТНОЙ КОММУТАЦИОННОЙ И ЗАЩИТНОЙ АППАРАТУРЫ

Выбор электрических аппаратов преимущественно сводится к их подбору. При этом номинальные параметры аппаратов (напряжение, ток, исполнение) должны соответствовать расчетным данным электроприемников, параметрам электрической сети, условиям окружающей среды, а также стойкости к коротким замыканиям (КЗ).

Для защиты электродвигателей и сетей от токов КЗ служат автоматические выключатели (АВ) без выдержки времени и предохранители, а для защиты от перегрузок – автоматы с выдержкой времени и тепловым реле, встроенным в магнитные пускатели. Для надежной защиты сетей и электроприемников предохранителями особенно важно правильно выбрать ток плавкой вставки предохранителя.

Номинальный ток плавкой вставки  $I_{\text{вст}}$  для инерционных предохранителей определяется только по значению продолжительного расчетного тока  $I_p$ :

$$I_{\text{вст}} > I_p, \quad (29)$$

Номинальный ток плавких вставок для безинерционных предохранителей должен отвечать двум условиям, одно из которых – выражение (29), а второе выражается любой из формул (30)...(32). При защите ответвлений, которые идут от отдельного электродвигателя к металлообрабатывающему станку, вентилятору, насосу и т.п., ток вставки

$$I_{\text{вст}} > I_{\text{п}} / 2,5, \quad (30)$$

а при защите отдельного электродвигателя с частыми пусками или большой продолжительностью пускового периода (краны, центрифуги, дробилки и т.п.)

$$I_{\text{вст}} > I_{\text{п}} / (1,6 \dots 2,0). \quad (31)$$

Для защиты магистрали, которая питает силовые или смешанные нагрузки:

$$I_{вст} > I_{кр} / 2,5, \quad (32)$$

где  $I_{п}$  - пусковой ток электродвигателя, А;

$I_{кр}$  - максимальный кратковременный ток линии, А;

$$I_{кр} = I_{п} + I_{дд}, \quad (33)$$

где  $I_{п}$  - пусковой ток одного или группы электродвигателей, включенных одновременно и во время пуска которых кратковременный ток линии достигает наибольшего значения, А;

$I_{дд}$  - продолжительный расчетный ток линии без учета рабочего тока других электродвигателей, которые пускаются, А.

При защите электродвигателей ответственных механизмов ток уставки выбирают с учетом формулы (31), где знаменатель принимают равным 1,6 независимо от условий пуска электродвигателей.

Номинальный ток предохранителей для защиты сварочного аппарата выбирают из соотношения

$$I_{вст} \geq 1,2 I_{св} \sqrt{ПВ}, \quad (34)$$

где  $I_{св}$  - номинальный ток сварочного аппарата при полезной продолжительности включения, А.

Технические характеристики предохранителей серии ПР-2 приведены в приложении.

Автоматические выключатели выбирают по номинальному току и напряжению катушек независимо от распределения. После этого определяют величину уставки реле на максимальный ток. При выборе автомата АВ для защиты магистрального кабеля необходимо придерживаться таких условий:

1) номинальный ток автомата должен равняться току сети:

$$I_{авт} \geq I_p; \quad (35)$$

2) напряжение отключающей катушки  $U_{откл}$  независимого распределителя должно соответствовать номинальному напряжению сети:

$$U_{откл} = U_n; \quad (36)$$

3) уставку тока максимального реле автомата определяют по формулам:

$$I_{уст.р} \geq I_k + \sum I_{н.реш} - \text{для магистрали,} \quad (37)$$

$$I_{уст.р} \geq I_{п} - \text{для наладки,}$$

$$I_{уст.р} \geq 1,5 I_k^{(2)} \quad (38)$$

где  $I_{п}$  - пусковой ток наиболее сильного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, А;

$I_{к}^{(2)}$  - расчетный ток двухфазного короткого замыкания.

## 9 КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

Основные потребители реактивной мощности на участках цеха – асинхронные двигатели, установленные на станках, насосах, компрессорах, вентиляторах и т.п., расположенных, как правило, на значительном расстоянии один от другого. Поэтому выбор места расположения конденсаторов в системе электроснабжения участка становится одной из основных задач для решения вопроса эффективности компенсации реактивной мощности. Оптимальному размещению компенсирующих устройств (КУ) соответствует технически принятый вариант с минимальными техническими расходами. Для первичного технико-экономического обоснования размещения КУ можно пользоваться положениями:

**1** Выполнение технических требований должно обеспечивать допустимые режимы напряжения в питающей и распределительных сетях; допустимые токовые нагрузки всех элементов сети.

**2** Критерием экономичности является минимум приведенных затрат, при определении которых нужно учитывать затраты на установление КУ, снижение стоимости трансформаторных подстанций, питающих распределительные сети, обусловленных снижением токовых напряжений, снижением потерь электроэнергии в заданных сетях и снижением установленного напряжения электроэнергии, обусловленное уменьшением потерь активной мощности.

**3** Наибольший экономический эффект достигается при размещении средств компенсации непосредственно возле электроприемников. Передача реактивной мощности из сети напряжением 6...35 кВ в сеть 0,38 кВ экономически не выгодна, если требует увеличения количества участковых трансформаторов. Для электроустановок небольшой мощности, которые присоединяются к сетям 6...10 кВ, экономически оправдана компенсация реактивной мощности в сети 0,38 кВ.

**4** Нерегулируемые конденсаторные установки в сетях до 1000 В должны размещаться около групповых распределительных пунктов, если это допускает окружающая среда.

**5** Индивидуальная компенсация может быть целесообразной лишь в мощных электроприемниках с низким  $\cos\phi$  и большим количеством включений.

**6** Для предприятия с установленной мощностью до 750 кВ·А рекомендована полная компенсация реактивной мощности:

$$Q_{ку} = Q_p,$$

где  $Q_p = P_p \operatorname{tg}\phi$  - расчетная мощность реактивной нагрузки;

$P_p$  - расчетная мощность активной нагрузки в том же пункте;

$\operatorname{tg}\phi$  - тангенс угла, соответствующий коэффициенту мощности нагрузки.

7 При частом перемещении центра нагрузки желательно применять передвижные конденсаторные установки.

## 10 ВЫБОР ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ

В случае необходимости иметь на участке передвижную ТП и при ее выборе или резервировании, а также при выборе участковой ТП определяют характер потребителей электроэнергии и их требования к источнику питания. Это нужно для определения потребляемой мощности, напряжения, рода и частоты тока, условий эксплуатации и режима работы.

По полученным данным, справочникам, каталогам и техническим условиям подбирают необходимую ТП или группу. При этом возможен вариант их параллельной работы.

Максимальную нагрузку электроприемников при небольшом их количестве определяют по формуле

$$P_H = P_p K_{\text{пот}} K_{\text{в.п.}}, \quad (41)$$

где  $P_p$  - расчетная нагрузка электропотребителей, кВт;

$K_{\text{пот}}$  - коэффициент, который учитывает потери мощности в электрических сетях (при одновременном питании осветительной и силовой нагрузки принимают  $K_{\text{пот}} = 1,05 \dots 1,075$ );

$K_{\text{в.п.}}$  - коэффициент, который учитывает потребляемую электроэнергию на собственные нужды ( $K_{\text{в.п.}} = 1,02 \dots 1,05$ ).

При выборе электростанции необходимо учитывать категорию потребителей электроэнергии.

Необходимо, чтобы мощность выбранной электростанции  $P_H$  была больше или равнялась расчетной нагрузке  $P_p$ . Тем не менее, превышение  $P_H$  над  $P_p$  должно быть незначительным, поскольку режим работы электростанций с большой недогрузкой нежелателен.

Выбранную электростанцию проверяют на возможность пуска наиболее мощного электродвигателя. Агрегаты электростанции допускают запуск короткозамкнутых асинхронных двигателей мощностью до 70% мощности агрегата.

Основные оценочные параметры, которые характеризуют передвижную электростанцию:

- удельная масса  $\gamma$  - отношение полной массы станции к расчетной мощности;

- удельный объем  $U$  - отношение объема электростанции к ее расчетной мощности;

- удельная площадь  $f$  - отношение площади, которую занимает электростанция, к ее расчетной мощности;

- экономность  $g$  - затраты топлива в граммах на производство 1 кВт·ч

электроэнергии; время приведения в действие  $T_p$ .

В табл.9 приведены значения оценочных параметров для бензоэлектрических и дизельных электростанций.

*Таблица 9 – Оптимальное значение оценочных параметров передвижных электростанций*

| Оценочный параметр         | Бензоэлектрические электростанции | Дизельные электростанции |
|----------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| $\gamma$ , кг/ кВт         | 130...340                         | 60...112                 |
| $f$ , м <sup>2</sup> / кВт | 0,5...1.5                         | 0,15...0,22              |
| $V$ , м <sup>3</sup> / кВт | 0,17...540                        | 0,2...0,6                |
| $g$ , г/ кВт·ч             | 290...540                         | 250...450                |
| $T_p$ , мин                | 15...30                           | 120                      |

Характеристики электросиловых, осветительных и зарядных электростанций представлены в приложении В.

Для сокращения многотипности электростанций, применяемых на участках цеха, рекомендуется использовать агрегаты единой серии таких типоразмеров: АД-30Т/400, АД-50Т/400, АД-75Т/400, АД-100Т/400, АД-200Т/400. На базе этих агрегатов выпускают комплектные и удобные в эксплуатации передвижные электростанции соответственно: ЕСД-30Т/400, ЕСД-50Т/400, ЕСД-75Т/400, ЕСД-100Т/400, ЕСД-200Т/400. Для использования автономных электростанций можно рекомендовать агрегаты ДГА-300 и ДГ-72 соответственно на 300 и 800 кВт. В качестве участковых ТП могут использоваться: ТП-125, ТП-250, ТП-380, ТП-400, ТП-500

## **11 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК ЦЕХА (УЧАСТКА)**

При определении силовых нагрузок большое значение имеет правильное их определение во всех элементах силовой сети. Завышение нагрузки может привести к уменьшению пропускной способности электрической сети и невозможности обеспечения нормальной работы электроприемников, а занижение – к перерасходу токопроводящего материала, удорожанию строительства и т.д.

В соответствии с [1, 2, 3] предварительный расчет электрической нагрузки цеха осуществляется методом коэффициента спроса.

Активная расчетная мощность электрооборудования (ЭО), установленного в цехе, определяется по формуле

$$P_p = \sum P_{pi}, \quad (42)$$

где  $P_{pi} = P_{ni} \cdot K_{ni}$  - мощность, потребляемая  $i$ -й единицей цехового ЭО; соответственно,  $K_{ni}$  - его коэффициент использования ( $K_{ni} = P_{cp} / P_{ni}$  - активная средняя мощность отдельного приемника электроэнергии за наиболее загруженную смену).

Аналогично, расчетная реактивная мощность цеха равна

$$Q_p = \sum Q_{pi} = \sum P_{pi} \cdot \operatorname{tg} \varphi_i. \quad (43)$$

Максимальные значения активной  $P_{max}$  и реактивной  $Q_{max}$  мощностей определяются, соответственно, по формулам:

$$P_{max} = K_{max} \cdot P_p \text{ и } Q_{max} = K_{max} \cdot Q_p, \quad (44)$$

где  $K_{max}$  — коэффициент максимума нагрузки, представляет собой отношение расчетного максимума нагрузки к средней нагрузке за наиболее загруженную смену:

$$K_{max} = P_{max} / P_p. \quad (45)$$

Однако значения  $K_{max}$  нагрузки не заданы, поэтому максимальные значения указанных мощностей определяют методом коэффициента спроса, где:

$$\begin{aligned} K_{ca} &= P_p / \sum P_{ni} \\ K_{cp} &= Q_p / \sum Q_{ni} \end{aligned} \quad (46)$$

$$\text{т.е. } P_{max} = \sum P_{ni} \text{ и } Q_{max} = \sum Q_{ni}.$$

Расчетное и максимальные значения полной мощности, соответственно, составят:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (49)$$

$$S_{max} = \sqrt{P_{max}^2 + Q_{max}^2} \quad (50)$$

Весь расчет нагрузки цеха сведен в таблицу 10.

Таблица 10 - Расчет нагрузки цеха

| Наименование | $P_n$ , кВт | Кол-во, шт. | $\cos\varphi$<br>$\operatorname{tg}\varphi$ | $K_{и}$ | $P_{рi}$ | $P_r$ , кВт | $Q_{рi}$ , кВА | $Q_r$ , кВА | $Q_{нi}$ , кВА | $Q_{\max}$ , кВАр | $S_r$ , кВА | $S_{\max}$ , кВА | $S_{нтр}$ , кВА |
|--------------|-------------|-------------|---|---------|----------|-------------|----------------|-------------|----------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|
| 1            | 2           | 3           | 4   | 5       | 6        | 7           | 8              | 9           | 10             | 11                | 12          | 13               | 14              |

## 12 ОСНАЩЕНИЕ И РАСЧЕТ ЗАЩИТНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ

Оснащение и эксплуатация защитного и рабочего заземления должны осуществляться соответственно требованиям действующих правил [3, 4, 6].

В цеховых электроустановках напряжением до 1000 В применяют четыре ведущие системы (три линейных и нулевой провод) с глухо заземленной нейтралью и обязательным заземлением нулевого провода трансформатора и периодически через каждые 250 м вдоль трасы линии. Защита таких электрических систем - заземление.

Для электроснабжения наземных цеховых электроустановок допускается также применение систем до 1000 В с изолированной нейтралью и защитным заземлением.

Заземлению подлежат металлические части электротехнических устройств, которые нормально не находятся под напряжением, но могут оказаться под напряжением в случае повреждения изоляции.

К защитному заземлению и занулению ЦРП предъявляются такие требования: заземляющие магистрали соединяют внахлест; длина нахлеста для круглых магистралей не меньше шести диаметров, а для полосовых — не менее двойной ширины; каждый заземленный элемент электроустановки необходимо присоединить к заземленной магистрали с помощью отдельного ответвления; последовательное включение в заземляющий проводник нескольких заземленных частей запрещается; использование оголенных алюминиевых проводников в земле как заземлителей или заземляющих проводов также запрещено.

Отдельные электроустановки присоединяются к заземляющей магистрали гибкими перемычками. Общее переходное сопротивление сети заземляющего устройства электроустановок на поверхности не должно превышать 4 Ом [5]. Если мощность трансформатора или генератора не больше 100 кВА, то величина переходного сопротивления заземления не может превышать 10 Ом [6].

Электрическое сопротивление заземляющего провода между каждой



передвижной машиной и местом его присоединения к общей заземляющей сети не должно быть выше 1 Ом.

В виде искусственных заземлителей следует применять:

- 1) вертикально забитые стальные трубы, катаную сталь и т.д.;
- 2) горизонтально проложенные стальные полосы, катаную сталь и т.д.

В электроустановках напряжением до 1000 В медные, стальные или алюминиевые заземляющие проводники должны иметь сечение не менее приведенного в приложении.

### Порядок расчета заземляющего устройства

1. Определяют нормируемую величину сопротивления заземления  $R_{нз}$ , которая зависит от режимов нейтрали питающей сети трансформатора. Если заземляющее устройство сооружается общим для электроустановок разного назначения, то значение  $R_{нз}$  берется по электроустановке, для которой необходимо наименьшее значение сопротивления.

2. Устанавливают ток однофазного замыкания на землю. В сетях с изолированной нейтралью напряжением свыше 1000 В расчетный ток однофазного замыкания на землю может быть найден по формуле:

$$I_k = U_{л} (35I_k + I_{п}) / 350, \text{ А} \quad (51)$$

где  $U_{л}$  – линейное напряжение сети, кВ;

$I_k$  – общая длина электрически соединенных между собой кабельных линий, км;

$I_{п}$  – общая длина электрически соединенных воздушных линий, км;

Сопротивление заземляющих устройств  $R_{зy}$  при одновременном использовании для сетей напряжением до и выше 1000 В, Ом:

$$R_{уз} = 125 / I_k \quad (52)$$

Для дальнейшего расчета принимают наименьшее значение сопротивления заземления.

Необходимое сопротивление заземления, Ом:

$$R_{з.п} = R_{з.пр} - R_{з.ж} \quad (53)$$

где  $R_{з.н}$  – общее сопротивление защитного заземления, Ом (при  $R_{н} < R_{з}$ )

принимают  $R_3=R_H$ );

$R_{з,ж}$  – сопротивление проводов заземляющей сети к наиболее удаленному потребителю электроэнергии, Ом;

$R_{з,ж}$  – сопротивление заземляющей жилы кабеля передвижного электропотребителя, Ом:

$$R_3, пр = r_0 l. \quad (54)$$

где  $r_0$  – погонное сопротивление стального провода, Ом/км;

$l$  – длина провода, км.

$$R_{з,ж} = l / (\gamma S) \quad (55)$$

где  $l$  – длина заземленной жилы, м;  $\gamma$  – удельная проводимость материала, м/(Ом·мм<sup>2</sup>);

$S$  – сечение заземленной жилы, мм<sup>2</sup>.

Количество заземленных электродов заземлителей

$$N = R_0 / (R_\eta) \quad (56)$$

где  $R_0$  – сопротивление одного электрода заземлителя, Ом;

$\eta$  – коэффициент использования электродов заземлителя.

Сопротивление электродов заземлителя зависит от их формы, глубины закладки и удельного сопротивления грунта (приложение).

Для отдельной трубы, верхний конец которой расположен ниже уровня грунта, сопротивление

$$R_{o.c} = \frac{\rho}{2\pi l} \left( \ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t+l}{4t-l} \right), \quad (57)$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление грунта, Ом·см;

$l$  – длина трубы, см;

$d$  – диаметр трубы, см;

$t$  – глубина закладки трубы, которая равна расстоянию от поверхности грунта к середине трубы, см.

Сопротивление растекания протяженного горизонтально полосового заземлителя определяют по формуле

$$R_{o.c} = \rho / (2\pi) [\ln(2l^2 / (bt))], \quad (58)$$

где  $b$  – ширина полосы, см;

$l$  – длина полосы, см;

$t$  – расстояние от поверхности грунта к середине углубления полосы, см.

Сопротивление растеканию протяженного горизонтального круглого заземлителя

$$R_{o.k} = \rho / (2\pi) [\ln(l / (dt))],$$

где  $d$  – диаметр заземлителя, см.

При наличии природных заземлителей (обсадных труб, арматур, бронированных кабелей и др.) их сопротивление  $R_{\Pi}$  нужно рассчитать или замерить, учитывая при определении  $R_{з.н}$ , если  $R_{\Pi} > R_{з.н}$ ,

$$R_{з.н} = R_{з.н} R_{\Pi} / (R_{\Pi} - R_{з.н}), \quad (60)$$

где  $R_{\Pi}$  – сопротивление природных заземлителей.

Заземлители следует размещать в таких местах, где исключается возможность проникновения в грунт нефтепродуктов, которые резко повышают удельное сопротивление грунта.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Справочник по электроснабжению и электрооборудованию. - В 2 т. - Т.1. Электроснабжение/ Под общ. ред. А.А.Федорова. - М.: Энергоатомиздат, 1986. – 568с.
- 2 Федоров А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий/ А.А.Федоров, В.В.Каменева. - М.: Энергия, 1979. - 408с.
- 3 Правила устройства электроустановок. - М.: Энергоатомиздат, 1987.- 648с.
- 4 Князевский Б.А. Электроснабжение промышленных предприятий/ Б.А.Князевский, Б.Ю.Липкин. - М.: Высшая школа, 1979. – 258с.
- 5 Федоров А.А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования/ А.А.Федоров, Л.Е.Старкова. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 368с.
- 6 Алиев И.И. Кабельные изделия: Справочник. – М.: ИП Радио-Софт, 2001. - 224с.
- 7 Кисариков Р.А. Справочник электрика. - М.: ИП Радио-Софт, 2002. - 512с.
- 8 ГОСТ 2.856-75. Изображение элементов электроснабжения. - М.: Издательство стандартов, 1975. - 75с.

## Приложение А Справочный материал

*Таблица А.1 – Допустимая температура проводника*

| Вид и материал проводника                                   | Допустимая температура жил при продолжительной работе, °С |
|---|---|
| Шины и оголенные медные, алюминиевые и стальные провода:    | 70  |
| Кабели с бумажной пропитанной изоляцией напряжением до, кВ: |   |
| - 3   | 80  |
| - 6   | 65  |
| - 10  | 60  |
| - 20  | 50  |
| - 35  | 50  |
| Кабели и провода с резиновой изоляцией:                     |   |
| - обычной   | 55  |
| - теплостойкой  | 65  |
| Провода с полихлорвиниловой изоляцией                       | 70  |

*Таблица А.2 – Предохранители серии ПР-2 напряжением до 500 В*

| Габарит и напряжение сети, В | Номинальный ток, А |                         | Отключаемый ток, кА |       |
|------------------------------|--------------------|-------------------------|---------------------|-------|
|                              | патрона            | плавкой вставки         |                     |       |
| I; 220                       |                    |                         | 220 В               | 380 В |
|                              | 15                 | 6; 10; 15               | 1,2                 | 0,8   |
|                              | 60                 | 15; 20; 25; 35; 45; 60  | 5,5                 | 1,8   |
|                              | 100                | 60; 80; 100             | 11                  | 6     |
|                              | 200                | 100; 125; 160; 200      | 11                  | 6     |
|                              | 350                | 200; 225; 260; 300; 350 | 11                  | 6     |
|                              | 600                | 350; 430; 500; 600      | 15                  | 13    |
|                              | 1000               | 600; 700; 850; 1000     | 15                  | 15    |
| II; 550                      |                    |                         | 380 В               | 500 В |
|                              | 15                 | 6; 10; 15               | 8                   | 7     |
|                              | 60                 | 15; 20; 25; 35; 45; 60  | 4,5                 | 3,5   |
|                              | 100                | 60; 80; 100             | 11                  | 10    |
|                              | 200                | 100; 125; 160; 200      | 11                  | 10    |
|                              | 350                | 200; 225; 260; 300; 350 | 13                  | 11    |
|                              | 660                | 350; 430; 500; 600      | 23                  | 20    |
|                              | 1000               | 600; 700; 850; 1000     | 20                  | 20    |

## Приложение Б

*Таблица Б.1 – Минимальные размеры стальных заземляющих проводников*

| Название  | В домах | Во<br>внешних<br>установках | В земле |
|---|---------|-----------------------------|---------|
| Круглые проводники диаметром, мм  | 5       | 6                           | 6       |
| Прямоугольные проводники<br>- сечением, мм <sup>2</sup><br>- длиной, мм | 24      | 48                          | 48      |
|   | 3       | 4                           | 4       |
| Катаная сталь, толщина полок, мм  | 2       | 2,5                         | 4       |
| Стальные трубы, толщина стенок, мм                                      | 2,5     | 2,5                         | 3,5     |

*Таблица Б. 2 – Перечень электрических нагрузок предприятия*

| Наименование              | Pн,<br>кВт | Кол-во<br>шт. | cosφ<br>tgφ         | Ки   | Кмах | Вариант              |
|---------------------------|------------|---------------|---------------------|------|------|----------------------|
| Токарно-винторезный       | 200        | 3             | $\frac{0,5}{1,73}$  | 0,16 |      | 1,2,3,4,5,6,33       |
| Глубоко сверлильный       | 200        | 2             | $\frac{0,5}{1,73}$  | 0,16 |      | 7,8,9,10,11,12,33    |
| Настольно сверлильный     | 0,55       | 1             | $\frac{0,5}{1,73}$  | 0,16 |      | 13,14,15,16,17,18,33 |
| Кран                      | 94         | 3             | $\frac{0,5}{1,73}$  | 0,1  |      | 19,20,21,22,23,24,33 |
| Кран                      | 126,6      | 1             | $\frac{0,5}{1,73}$  | 0,1  |      | 25,26,27,28,29,30,33 |
| Кран                      | 129,5      | 2             | $\frac{0,5}{1,73}$  | 0,1  |      | 31,32,33             |
| Строгальный станок        | 160        | 3             | $\frac{0,5}{1,73}$  | 0,16 |      | 6,8,9,33             |
| Зубофрезерный станок      | 200        | 2             | $\frac{0,65}{1,15}$ | 0,2  |      | 11,12,13,14,15,16,33 |
| Стенд для испытаний       | 133,5      | 2             | $\frac{0,75}{0,87}$ | 0,4  |      | 17,21,22,33          |
| Насос эмульсионный        | 2,6        | 1             | $\frac{0,8}{1,73}$  | 0,7  |      | 23,24,25,26,27,28,33 |
| Строгальный станок        | 94         | 2             | $\frac{0,5}{1,73}$  | 0,16 |      | 29,30,31,32, 1,2     |
| Расточной станок          | 150        | 2             | $\frac{0,5}{1,73}$  | 0,16 |      | 3,4,5,7,8            |
| Высокочастотная установка | 200        | 1             | $\frac{0,8}{1,73}$  | 0,7  |      | 9,10,11,12,13,14     |
| Карусельный станок        | 180        | 3             | $\frac{0,5}{1,73}$  | 0,16 |      | 15,16,17,18,19,20    |
| Освещение                 | 180,6      | —             | 1                   | 0,8  |      | 21,22,23,24,25,26    |

Продолжение таблицы Б.2

| Наименование            | Рн,<br>кВт | Кол-во<br>шт. | $\cos\varphi$<br>$\operatorname{tg}\varphi$ | Ки   | Кmax | Вариант              |
|-------------------------|------------|---------------|---|------|------|----------------------|
| Вертикально сверлильный | 4,5        | 8             | $\frac{0,5}{1,73}$                          | 0,16 |      | 27,28,29,30,31,32,34 |
| Вертикально сверлильный | 2,8        | 2             | $\frac{0,5}{1,73}$                          | 0,16 |      | 26,27,28,29,30,31,34 |
| Молот                   | 10         | 1             | $\frac{0,65}{1,15}$                         | 0,2  |      | 32, 1,2,3,4,5,34     |
| Вентилятор дутьевой     | 3,4        | 1             | $\frac{0,7}{1}$                             | 0,6  |      | 6,7,8,9,10,11,34     |
| Пресс                   | 20         | 1             | $\frac{0,65}{1,15}$                         | 0,17 |      | 12,13,14,15,16,17,34 |
| Стенд для испытания     | 54         | 1             | $\frac{0,65}{1,15}$                         | 0,17 |      | 18,19,20,21,22,23,34 |
| Стенд для испытания     | 55         | 1             | $\frac{0,65}{1,15}$                         | 0,17 |      | 24,25, 1,2,3,4       |
| Тележка 30 т            | 5          | 1             | $\frac{0,75}{0,87}$                         | 0,4  |      | 5,6,7,8,9,10,34      |
| Тележка 15 т            | 2,2        | 4             | $\frac{0,75}{0,87}$                         | 0,4  |      | 11,12,13,14,15,16    |
| Тележка 20 т            | 3,5        | 1             | $\frac{0,75}{0,87}$                         | 0,4  |      | 17,18,19,20,21,22,34 |
| Кран                    | 49         | 1             | $\frac{0,5}{1,73}$                          | 0,1  |      | 23,24,25,26,27,28    |
| Кран                    | 59         | 1             | $\frac{0,5}{1,73}$                          | 0,1  |      | 29,30,31,32,6,7,34   |
| Кран                    | 94         | 1             | $\frac{0,5}{1,73}$                          | 0,1  |      | 1,2,3,4,5,8          |
| Кран                    | 116,6      | 1             | $\frac{0,5}{1,73}$                          | 0,1  |      | 9,10,15,16,17,18     |
| Отопительный агрегат    | 2,8        | 4             | $\frac{0,8}{1,73}$                          | 0,7  |      | 11,12,13,14,19,20,34 |

Продолжение таблицы Б.2

| Наименование           | Рн,<br>кВт | Кол-во<br>шт. | $\cos\varphi$<br>$\operatorname{tg}\varphi$ | Ки   | Ктах | Вариант           |
|------------------------|------------|---------------|---|------|------|-------------------|
| Строгальный станок     | 4,5        | 5             | $\frac{0,5}{1,73}$                          | 0,16 |      | 1,2,30,31,32      |
| Строгальный станок     | 160        | 2             | $\frac{0,5}{1,73}$                          | 0,16 |      | 4,5,6,27,28,29    |
| Строгальный станок     | 52         | 2             | $\frac{0,5}{1,73}$                          | 0,16 |      | 7,24,25,26        |
| Строгальный станок     | 47         | 2             | $\frac{0,5}{1,73}$                          | 0,16 |      | 10,11,12,21,22,23 |
| Строгальный станок     | 49         | 6             | $\frac{0,5}{1,73}$                          | 0,16 |      | 13,14,15,18,19,20 |
| Строгальный станок     | 10         | 3             | $\frac{0,5}{1,73}$                          | 0,16 |      | 16,17, 1,2,3,4    |
| Зубострогальный станок | 14,8       | 1             | $\frac{0,5}{1,73}$                          | 0,17 |      | 18,19,20,5,6,7    |
| Точильный станок       | 2          | 2             | $\frac{0,5}{1,73}$                          | 0,16 |      | 21,22,23,8,9,10   |
| Точильный станок       | 3,2        | 1             | $\frac{0,5}{1,73}$                          | 0,16 |      | 24,25,26,11,12,13 |
| Заточной станок        | 2,8        | 5             | $\frac{0,5}{1,73}$                          | 0,16 |      | 27,28,29,14,15,16 |
| Заточной станок        | 0,65       | 3             | $\frac{0,5}{1,73}$                          | 0,16 |      | 30,31,32,17,18,19 |
| Заточно-расточной      | 28         | 1             | $\frac{0,5}{1,73}$                          | 0,16 |      | 1,,2,3,20,21,22   |
| Расточный станок       | 14         | 3             | $\frac{0,5}{1,73}$                          | 0,16 |      | 5,6,23,24,25      |



Продолжение таблицы Б.2

| Наименование              | Рн,<br>кВт | Кол-<br>во<br>шт. | $\cos\varphi$<br>$\operatorname{tg}\varphi$ | Ки   | Ктах | Вариант           |
|---------------------------|------------|-------------------|---|------|------|-------------------|
| Расточной станок          | 10,2       | 3                 | $\frac{0,5}{1,73}$                          | 0,16 |      | 7,8,9,26,27,28    |
| Расточной станок          | 75         | 1                 | $\frac{0,5}{1,73}$                          | 0,16 |      | 10,11,12,29,30,31 |
| Резьбонарезной станок     | 1          | 1                 | $\frac{0,5}{1,73}$                          | 0,16 |      | 13,14,15,32,1,2   |
| Резьбонарезной станок     | 2,8        | 2                 | $\frac{0,5}{1,73}$                          | 0,16 |      | 16,17,18,3,4,5    |
| Двигатель асинхронный     | 1          | 9                 | $\frac{0,9}{0,47}$                          | 0,55 |      | 19,20,21,6,7,8    |
| Двигатель асинхронный     | 7          | 1                 | $\frac{0,9}{0,47}$                          | 0,55 |      | 22,23,24,9,10,11  |
| Агрегат для закалки       | 1          | 1                 | $\frac{0,9}{0,47}$                          | 0,75 |      | 25,26,27,12,13,14 |
| Агрегат для закалки       | 1,5        | 1                 | $\frac{0,9}{0,47}$                          | 0,75 |      | 28,29,30,15,16,17 |
| Круглошлифовальный        | 26         | 1                 | $\frac{0,65}{1,15}$                         | 0,2  |      | 31,32,1,18,19,20  |
| Плоскошлифовальный        | 20         | 1                 | $\frac{0,65}{1,15}$                         | 0,2  |      | 2,3,4,21,22,23    |
| Плоскошлифовальный        | 7,5        | 1                 | $\frac{0,65}{1,15}$                         | 0,2  |      | 5,6,7,24,25,26    |
| Приточная установка       | 14         | 2                 | $\frac{0,8}{0,73}$                          | 0,7  |      | 8,9,10,27,28,29   |
| Высокочастотная установка | 200        | 1                 | $\frac{0,8}{0,73}$                          | 0,7  |      | 11,12,13,30,31,32 |

## Приложение В

*Таблица В.1 – Технические данные комплектных трансформаторных подстанций*

| Подстанция            | Мощность, кВА | напряжение, кВ |            |
|-----------------------|---------------|----------------|------------|
|                       |               | ВН             | НН         |
| КТПН – 62 – 320/180К  | 180...320     | 6...10         | 0,4...0,23 |
| КТПН – 62 – 320/10 УУ | 180...320     | 6...10         | 0,4...0,23 |
| КТПН – 62 – 320/180В  | 180...320     | 6...10         | 0,4...0,23 |
| КТПН – 62 – 560 В     | 560           | 6...10         | 0,4...0,23 |
| КТПН – 62 – 560 К     | 560           | 6...10         | 0,4...0,23 |
| КТПН – 62 – 560 У     | 560           | 6...10         | 0,4...0,23 |
| КТП – 25/6 – 10       | 25            | 6...10         | 0,4...0,23 |
| КТП – 40/6 – 10       | 40            | 6...10         | 0,4...0,23 |
| КТП – 63/6 – 10       | 63            | 6...10         | 0,4...0,23 |
| КТП – 100/6 – 10      | 100           | 6...10         | 0,4...0,23 |
| КТП – 160/6 – 10      | 160           | 6...10         | 0,4...0,23 |
| СКТП – 100/6 – 10     | 100           | 6...10         | 0,4...0,23 |
| СКТП – 180/6 – 10     | 180           | 6...10         | 0,4...0,23 |
| СКТП – 250/6 – 10     | 250           | 6...10         | 0,4...0,23 |
| СКТП – 630/6 – 10     | 630           | 6...10         | 0,4...0,23 |
| СКТП – 750/6 – 10     | 750           | 6...10         | 0,4...0,23 |
| СКТП – 1000/6 – 10    | 1000          | 6...10         | 0,4        |
| СКТП – 400/6 – 10     | 400           | 6...10         | 0,4        |

*Таблица В.2 – Технические данные комплектных передвижных электростанций*

| Электростанция         | Мощность, кВт | Напряжение, В | Ток, А | Тип агрегата          | Масса, кг |
|------------------------|---------------|---------------|--------|-----------------------|-----------|
| ЗСД – 10 – Т/400 – М   | 10            | 400           | 18     | АД – 10 – Т/400       | 1740      |
| ЗСД – 50 – Т/400 – М   | 50            | 400           | 91     | АД – 50 – Т           | 5600      |
| ЗСД – 75 – Т/400 – М   | 75            | 400           | 135    | АД – 75 – Т/400 – М   | 6000      |
| ЗСД – 100 – Т/400 – РК | 100           | 400           | 180    | АСД – 100 – Т/400 – Р | 5650      |
| ЗД – Т/400 – ЗРК       | 200           | 400           | 360    | ДГА – 200 – Т/400     | 512000    |
| ПАЗС – 1250            | 1250          | 6300          | 173    | ПАЗС – 1250           | 28000     |
| ПАЗС – 1600            | 1600          | 6300          | 183    | ПАЗС – 1600           | 28000     |
| ПАЗС – 2500            | 2500          | 6300          | 267    | ПАЗС – 2500           | 28000     |

## Приложение Г

Таблица Г.1 - Технические данные конденсаторных установок

| Установка       | Номинальное напряжение, кВ | Номинальная мощность, кВт | Масса, кг |
|-----------------|----------------------------|---------------------------|-----------|
| УК-0,38-110НН   | 0,38                       | 110                       | 350       |
| УК-0,38-220Н    | 0,38                       | 220                       | 760       |
| УК-0,38-36УЗ    | 0,38                       | 36                        | 72        |
| УК-0,38-54УЗ    | 0,38                       | 54                        | 102       |
| УК-0,38-72УЗ    | 0,38                       | 72                        | 132       |
| УК-0,38-36УЗ    | 0,38                       | 36                        | 73        |
| УК-0,38-108УЗ   | 0,38                       | 108                       | 180       |
| УК-0,38-144-4УЗ | 0,38                       | 144                       | 254       |
| УК-10-450-ЛУЗ   | 10,5                       | 450                       | 650       |
| УК-6-450-ЛУЗ    | 6,3                        | 450                       | 650       |
| УКМ-6,3-400-У1  | 6,3                        | 400                       | -         |
| УКМ-6,3-600-У1  | 6,3                        | 600                       | -         |

# **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению курсового проекта по курсу

## **« ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ»**

(для студентов специальности 7. 092203 всех форм обучения)

Составитель  
Редактор

Квашнин Валерий Олегович  
Дудченко Елена Александровна

Подп. в печать  
Ризограф. печать  
Тираж        экз.

Усл. печ л  
Заказ №

Формат 60x84/16  
Уч.-изд. л.