

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Методические указания по выполнению лабораторных работ  
по дисциплине «Электроснабжение»

Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника  
Квалификация выпускника – бакалавр

Невинномысск, 2023

Методические указания предназначены для студентов направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» и других технических специальностей. Они содержат рекомендации по организации лабораторных работ студента.

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями ФГОС ВО в части содержания и уровня подготовки выпускников направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

## Содержание

Введение

Лабораторная работа №1

Лабораторная работа №2

Лабораторная работа №3

Лабораторная работа №4

Лабораторная работа №5

Лабораторная работа №6

Лабораторная работа №7

Лабораторная работа №8

Приложения

Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

## Введение

Методические указания устанавливают состав, содержание и оформление видов самостоятельной работы, содержит список рекомендуемой литературы.

Целью освоения дисциплины является приобретение студентами знаний в области построения систем электроснабжения промышленных установок и предприятий. Задачами освоения дисциплины являются изучение методов определения расчетных нагрузок цеха и предприятия; выбора силовых трансформаторов; воздушных и кабельных линий внешнего электроснабжения, а также внутривозводских и цеховых электрических сетей; анализ схем автоматики; методы расчета токов короткого замыкания; технико-экономические расчеты электросетей с использованием ЭВМ.

Реализуемые компетенции (ПК-4):

Знать: физические основы формирования режимов электропотребления; основы систем электроснабжения городов, промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства и транспортных систем

Уметь: рассчитывать интегральные характеристики режимов

Владеть: способностью принимать участие в проектировании объектов профессиональной деятельности в соответствии с техническим заданием и нормативно-технической документацией, соблюдая различные технические, энергоэффективные и экологические требования.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### *Расчет и выбор компенсирующего устройства*

*Цель занятия:* научиться выбирать компенсирующие устройства на стороне низкого напряжения.

На занятие отводится четыре часа.

#### **Пояснение к работе**

Для выбора компенсирующего устройства (КУ) необходимо знать:

- расчетную реактивную мощность КУ;
- тип компенсирующего устройства;
- напряжение КУ.

Расчетную реактивную мощность КУ можно определить из соотношения:

$$Q_{к.р} = \alpha P_m (\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi_k),$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий повышение  $\cos \varphi$  естественным способом, принимается  $\alpha = 0,9$ ;  $\operatorname{tg}\varphi$ ,  $\operatorname{tg}\varphi_k$  – коэффициенты реактивной мощности до и после компенсации.

Компенсацию реактивной мощности по опыту эксплуатации производят до получения значения  $\cos\varphi_k = 0,92 \dots 0,95$ .

Задавшись  $\cos \varphi_k$  из этого промежутка, определяют  $\operatorname{tg}\varphi_k$ .

Значения  $P_{м,з}$ ,  $\operatorname{tg}\varphi$  выбираются по результату расчета нагрузок из «Сводной ведомости нагрузок».

Задавшись типом КУ, зная  $Q_{к.р.}$  и напряжение, выбирают стандартную компенсирующую установку, близкую по мощности.

Применяются комплектные конденсаторные установки (ККУ) или конденсаторы, предназначенные для этой цели.

$$\operatorname{tg}\varphi_\phi = \operatorname{tg}\varphi - Q_{к.ст.} / \alpha P_m,$$

где  $Q_{к.ст.}$  – стандартное значение мощности выбранного компенсирующего устройства КУ, квар.

По  $\operatorname{tg}\varphi$  определяют  $\cos\varphi$ .

По  $\operatorname{tg}\varphi_\phi$  определяется фактический коэффициент мощности  $\cos\varphi_\phi$ :

$$\cos\varphi_\phi = \cos\varphi (\operatorname{arctg}\varphi_\phi).$$

Структура условного обозначения компенсирующих устройств представлена на рис. 8.1.



Рис. 8.1. Структурная схема условного обозначения компенсирующего устройства

**Пример 8.1.** Дано: исходные данные из примера 7.1 практического занятия № 7.

Таблица 8.1

Исходные данные

Параметр	cosφ	tgφ	P <sub>м</sub> , кВт	Q <sub>м</sub> , квар	S <sub>м</sub> , кВА
Всего на НН без КУ	0,85	0,63	393,6	210,1	473,1

Требуется:

- рассчитать и выбрать компенсирующее устройство КУ;
- выбрать трансформатор с учетом КУ;

Решение. Определяется расчетная мощность КУ.

$$Q_{к.р} = \alpha P_m (tg\alpha - tg\varphi_k) = 0,9 \cdot 393,6 \cdot (0,63 - 0,33) = 106,3 \text{ квар.}$$

Принимается  $cos\varphi_k = 0,95$ , тогда  $tg\varphi_k = 0,33$ .

По табл. Е.3 прилож. Е выбираются две конденсаторные установки  $2 \times УК 2-0,38-50$  со ступенчатым регулированием по 25 квар, по одной на секцию.

Определяются фактические значения  $tg\varphi$  и  $cos\varphi$  после компенсации реактивной мощности.

$$tg\varphi_\phi = tg\varphi - \frac{Q_{к.ст}}{\alpha P_m} = 0,63 - \frac{2 \cdot 50}{0,9 \cdot 393,6} = 0,35; \quad cos\varphi_\phi = 0,94 .$$

Результаты расчетов заносятся в табл. 8.2.

Определяется расчетная мощность трансформатора с учетом потерь.

$$S_p = 0,7 S_{ВН} = 0,7 \cdot 429,2 = 300,5 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

$$\Delta P_T = 0,02 S_{НН} = 0,02 \cdot 408,7 = 8,2 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = 0,1 S_{НН} = 0,1 \cdot 408,7 = 40,9 \text{ квар};$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{8,2^2 + 40,9^2} = 41,7 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Выбирается силовой трансформатор (прилож. Е табл. Е.1) типа ТМ 400–10/0,4 кВ, мощностью 400 кВА с техническими параметрами:

$$R_T = 5,6 \text{ мОм};$$

$$X_T = 14,9 \text{ мОм};$$

$$Z_T = 15,9 \text{ мОм};$$

$$\Delta P_{xx} = 0,95 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{кз} = 5,5 \text{ кВт};$$

$$u_{кз} = 4,5 \%;$$

$$Z_T^{(1)} = 195 \text{ мОм}; \quad i_{xx} = 2,1 \%$$

Определяется коэффициент загрузки трансформатора:

$$K_3 = \frac{S_{\text{НН}}}{2S_T} = \frac{408,7}{2 \cdot 400} = 0,51.$$

Данные расчета заносятся в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Сводная ведомость нагрузок

Параметр	$\cos \varphi$	$\text{tg } \varphi$	$P_m, \text{ кВт}$	$Q_m, \text{ квар}$	$S_m, \text{ кВА}$
Всего на НН без КУ	0,85	0,63	393,6	210,1	473,1
КУ				2×50	
Всего на НН с КУ	0,94	0,35	393,6	110,1	408,7
Потери			8,2	40,9	41,7
Всего ВН с КУ			401,8	151	429,2

**Пример 8.2.** Расчет точек подключения компенсирующего устройство к магистральному шинопроводу ШМА1.

Расчетная схема представлена на рис. 8.2

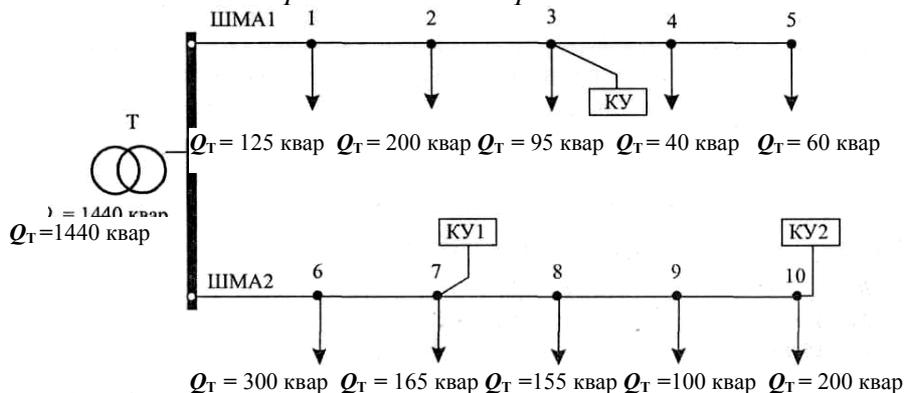


Рис. 8.2. Расчетная схема

Требуется выбрать точки установки КУ.

Решение. На ШМА1 устанавливается одно КУ мощностью 300 квар.

Проверка выполнения условия в точках подключения нагрузок:

$$Q'1 \geq \frac{Q_{\text{к(ШМА1)}}}{2} \geq Q'2;$$

точка 1:  $520 \text{ квар} > 150 \text{ квар} < 395 \text{ квар}$  – условие не выполняется;

точка 2:  $395 \text{ квар} > 150 \text{ квар} < 195 \text{ квар}$  – условие не выполняется;

точка 3:  $195 \text{ квар} > 150 \text{ квар} > 100 \text{ квар}$  – условие выполняется;

точка 4:  $100 \text{ квар} < 150 \text{ квар} > 60 \text{ квар}$  – условие не выполняется.

Следовательно, на ШМА1 подключается КУ мощностью 300 квар в точке 3.

На ШМА2 устанавливаются два КУ мощностью 300 и 400 квар. Проверяется выполнение условия:

$Q'_3 \geq Q_{2к(шма2)} / 2 \geq Q'_4$  для дальнего КУ 2 в точках подключения нагрузок:

точка 10:  $720 \geq 200 \geq 0$  – условие выполняется;

точка 9:  $620 \geq 200 \geq 200$  – условие выполняется.

Следовательно,  $Q_{2к} = 400$  квар можно подключить к точке 9 или 10 по конструктивным соображениям.

КУ2 подключается к точке 10.

Проверяется выполнение условий  $Q'_{1-Q_{2к}} \geq Q_{1к(шма2)}/2 \geq Q'_{2-Q_{2к}}$  для ближнего КУ1 в точках подключения нагрузок:

точка 6:  $520 \text{ квар} \geq 150 \text{ квар} \leq 220 \text{ квар}$  – условие не выполняется;

точка 7:  $220 \text{ квар} \geq 150 \text{ квар} \geq 55 \text{ квар}$  – условие выполняется.

Следовательно,  $Q_{1к} = 300$  квар можно подключить к точке 7.

Ответ: подключить КУ мощностью 300 квар к точке 3; КУ1 мощностью 300 квар к точке 7; КУ2 мощностью 400 квар к точке 10.

## Самостоятельная работа студента

### Задание 8.1

Требуется:

– рассчитать и выбрать компенсирующее устройство КУ;

– выбрать трансформатор с учетом КУ;

Данные для расчетов взять из табл. Д.5 (прилож. Д).

### Содержание отчета

1. Начертить расчетную схему подключения компенсирующих устройств.
2. Расчетные данные внести в таблицу.
3. Ответить на контрольные вопросы.
4. Составить баланс реактивной мощности.

### Контрольные вопросы

1. Виды, условные обозначения, назначение компенсирующих устройств.
2. Методика расчета компенсирующего устройства.
3. Способы компенсации реактивной мощности.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

### *Расчет и выбор аппаратов защиты и линий электроснабжения*

*Цель занятия:* научиться выбирать аппараты защиты и линии электроснабжения с учетом соответствия аппарату защиты.

На занятие отводится четыре часа.

### **Пояснение к работе**

#### *Расчет и выбор аппаратов защиты*

К аппаратам защиты относятся плавкие предохранители, автоматические выключатели и тепловые реле. Наиболее современными являются автоматы серии ВА и АЕ, предохранители серии ПР и ПН, тепловые реле серии РТЛ, встраиваемые в магнитные пускатели.

Автоматические выключатели являются наиболее совершенными аппаратами защиты, надежными, срабатывающими при перегрузках и коротких замыканиях в защищаемой линии.

Чувствительными элементами автоматов, воздействующими на механизм отключения, являются расцепители: тепловые (ТР), электромагнитные (ЭМР) и полупроводниковые (ППР).

*Расцепитель* максимального тока (электромагнитный или полупроводниковый) – устройство мгновенного срабатывания при токе КЗ.

*Тепловой расцепитель* (биметаллический или полупроводниковый) – устройство, срабатывающее с выдержкой времени при перегрузке.

*Расцепитель минимального напряжения* – устройство, срабатывающее при недопустимом снижении напряжения в цепи (до 0,3 ... 0,5 от  $V_{ном}$ ).

*Независимый расцепитель* – устройство дистанционного отключения автомата или по сигналам внешних защит.

Максимальный и тепловой расцепители устанавливаются во всех фазах автомата, остальные по одному на автомат.

Ток срабатывания расцепителя (ток трогания) – наименьший ток, вызывающий отключение автомата.

Уставка тока расцепителя – настройка его на заданный ток срабатывания.

Ток отсечки – уставка тока максимального расцепителя на мгновенное срабатывание.

Номинальный ток расцепителя – это наибольший длительный ток расцепителя, не вызывающий отключения и перегрева.

Отключающая способность автомата – наибольший ток короткого замыкания (КЗ), при котором произойдет отключение повреждения.

Тепловые расцепители срабатывают при перегрузках, электромагнитные – при КЗ, полупроводниковые – как при перегрузках, так и при КЗ.

Защита от коротких замыканий выполняется для всех силовых электроприемников.

Для электродвигателей, работающих в повторно-кратковременном режиме, защита от перегрузок не выполняется. Силовые электроприем-

ники, устанавливаемые во взрывоопасных помещениях, защищаются от перегрузок во всех случаях.

Защитные аппараты должны выбираться так, чтобы номинальный ток каждого защитного аппарата был не менее максимального расчетного тока электроприемника.

$$I_{н. защ.} \geq I_p.$$

Кроме этого должна быть обеспечена селективность защиты.

*Выбор предохранителей:*

1. Выбирают плавкую вставку предохранителя.

- Для линии без электрического двигателя:

$$I_{вс} \geq I_p,$$

где  $I_{вс}$  – ток плавкой вставки, А;  $I_p$  – расчетный ток линии, А.

Это условие означает, что предохранитель не должен перегореть при нормальном режиме работы сети.

- Для линии к сварочному трансформатору:

$$I_{вс} \geq 1,2 I_{св} \sqrt{ПВ},$$

где  $I_{св}$  – ток сварочного аппарата, А.

- При выборе аппаратов защиты в линии с компенсирующими установками КУ должно выполняться условие:

$$I_{вс} \geq 1,6 \frac{Q_{ку}}{\sqrt{3} U_{л}},$$

где  $Q_{ку}$  – мощность конденсаторной установки, квар.

- Для линий к распределительному устройству:

$$I_{вс} \geq (I_{п} + I_{дл}) / 2,5,$$

где  $I_{п}$  – пусковой ток двигателя, определяется из соотношений:

$$I_{п} = K_{п} \cdot I_{д},$$

где  $K_{п}$  – кратность пускового тока.

Для асинхронного двигателя  $K_{п} = 6 \div 7,5$ ;

для синхронного двигателя и машин постоянного тока

$K_{п} = 2 \div 3$ ;

$I_{д}$  – номинальный ток электродвигателя А.

Определяют величину тока плавкой вставки предохранителя, защищающего линию электроснабжения двигателей, которая не должна перегорать во время их пуска.

$$I_{вс} \geq I_{п.} / \beta,$$

где  $\beta$  – коэффициент кратковременной перегрузки плавкой вставки предохранителя: для двигателя, пускаемого без нагрузки, он равен 2,5; для двигателей с тяжелыми условиями пуска – 1,6 (например, крановых) и для линий к сварочным трансформаторам.

2. Предохранитель выбирают со стандартной плавкой вставкой по условию:

$$I_{нп} \geq I_{в},$$

где  $I_{нп}$  – номинальный ток предохранителя, А.

Данные предохранителей представлены в прилож. Д, табл. Д.2.

Проверяют соответствие тока плавкой вставки условию защиты линии данного сечения от токов КЗ:

$$I_{вс.} < 3 \cdot I_{дл},$$

где  $I_{дл}$  – длительно допустимый ток для данного сечения провода (кабеля). Если это условие не выполняется, то выбирают следующее стандартное сечение провода (кабеля) по прилож. Ж.

### **Выбор автоматических выключателей**

Для выбора автомата нужно знать ток в линии, где он установлен, тип автомата и число фаз. При защите сетей *автоматами* необходимо выбрать их ток уставки  $I_{н.р.}$ .

*Автоматы* выбираются согласно условиям:

$$I_{н.а.} \geq I_{н.р.},$$

где  $I_{н.а.}$  – номинальный ток автомата, А;  $I_{н.р.}$  – номинальный ток распределителя, А;  $V_{н.а.} \geq V_{сети},$

где  $V_{н.а.}$  – номинальное напряжение автомата, В;  $V_{сети}$  – напряжение сети.

- для линии без электродвигателя:

$$I_{н.р.} > I_{дл},$$

где  $I_{дл.}$  – длительный ток в линии, А;

- для линии с одним электродвигателем:

$$I_{н.р.} > 1,25 I_{д},$$

где  $I_{д}$  – ток двигателя;

- для групповой линии с несколькими электродвигателями:

$$I_{н.р.} > 1,1 I_{м},$$

где  $I_{м}$  – максимальный ток в линии, А;

$K_o$  – кратность отсечки, определяется по формуле:

$$K_o > I_o / I_{н.р.},$$

где  $I_o$  – ток отсечки, А;

- для линии без электродвигателя:

$$I_o > I_{д.};$$

- для линии с одним электродвигателем:

$$I_o > 1,2 I_{п},$$

где  $I_{п}$  – пусковой ток А;

- для групповой линии с несколькими электродвигателями:

$$I_o > 1,2 I_{пик},$$

где  $I_{пик}$  – пиковый ток, А. Это наибольший ток, возникающий в линии, длительностью 1–2 с;

в группе до 5 электродвигателей включительно:

$$I_{пик} = I_{п.нб.} + I_{м} - I_{н.нб.};$$

в группе более 5 электродвигателей:

$$I_{пик} = I_{пуск.нб.} + I_{м} - I_{н.нб.} K_{и},$$

где  $I_{п.нб.}$  – пусковой ток наибольшего по мощности электродвигателя, А;  
 $I_M$  – максимальный ток на группу А;  $I_{н.нб.}$  – номинальный ток наибольшего  
 в группе электродвигателя, А.

При выборе аппаратов защиты в линии с компенсирующими уста-  
 новками КУ должно выполняться условие:

$$I_o \geq 1,3 \frac{Q_{ку}}{\sqrt{3}U_{л}}$$

Зная тип, номинальный ток автомата и число полюсов автомата, вы-  
 писываются все каталожные данные автомата из прилож. Д., табл. Д.4.

- *Тепловые реле* выбираются согласно условию:

$$I_{т.р.} > 1,25 I_{н.д.}$$

где  $I_{т.р.}$  – ток теплового реле, номинальный, А;  $I_{н.д.}$  – номинальный ток  
 двигателя, А.

### **Выбор марки и сечения линии электроснабжения**

Выбор сечений проводов, кабелей и шин производится по наиболь-  
 шему длительно допустимому току нагрузки по условиям нагрева и про-  
 веряется на соответствие выбранному аппарату защиты и по потере на-  
 пряжения.

Сечения электрических линий электроснабжения цеха рассчитывают  
 в определенной последовательности:

1. Составляют схему электроснабжения цеха и по ней вычисляют  
 длину электрической линии.

2. Выбирают тип линии (кабель, провод, шинопровод), материал токо-  
 ведущих жил проводов или кабелей, вид изоляции и брони, тип прокладки.

3. Вычисляют расчетный ток линии по формулам:

- Сразу после трансформатора:

$$I_T = \frac{S_T}{\sqrt{3}V_{н.т}}$$

где  $S_T$  – номинальная мощность трансформатора, кВА;  $V_{нт}$  – номинальное  
 напряжение трансформатора, кВ .

Принимается  $V_{нт} = 0,4$ кВ.

- Линия к распределительному устройству РУ (распределитель-  
 ному пункту, шинопроводу),

$$I_{ру} = \frac{S_{м.ру}}{\sqrt{3}V_{н.ру}}$$

где  $S_{м.ру}$  – максимальная расчетная мощность РУ, кВА;  $V_{н.ру}$  – номиналь-  
 ное напряжение РУ, кВ.

Принимается  $V_{н.ру} = 0,38$  кВ.

- Линия к электродвигателю переменного тока:

$$I_{д} = \frac{P_{д}}{\sqrt{3}V_{н.д.} \eta_{д} \cos \varphi_{д}}$$

где  $P_d$  – мощность электродвигателя переменного тока, кВт;  $V_{нд}$  – номинальное напряжение РУ, кВ;  $\eta_d$  – коэффициент полезного действия двигателя в относительных единицах.

Примечание. Если электродвигатель повторно-кратковременного режима, то

$$P_d = P_n \cdot \sqrt{ПВ}$$

- Линия к сварочному трансформатору:

$$I_{св} = \frac{S_{св} \sqrt{ПВ}}{\sqrt{3} V_H},$$

где  $S_{св}$  – полная мощность сварочного трехфазного трансформатора кВ; ПВ – продолжительность включения в относительных единицах.

4. По величине расчетного тока определяют сечение проводов или жил кабеля по таблицам, приведенным в ПУЭ или прилож. Ж .

Сечение проводов и жил кабеля выбирают так, чтобы выполнялось условие:

$$I_{доп} \geq I_p / k_{пр},$$

где  $k_{пр}$  – поправочный коэффициент на условия прокладки проводов и кабелей. Таблицы поправок приведены в ПУЭ.

Выбранное сечение проводов необходимо согласовать с коммутационными возможностями аппаратов защиты.

$$I_{доп} > K_{зщ} \cdot I_{зщ},$$

где  $K_{зщ}$  – коэффициент кратности допустимых токов защитных аппаратов. Данные коэффициента кратности допустимых токов представлены в прилож. Д.

Если это неравенство для выбранного сечения не соблюдается, то берут следующее стандартное сечение кабеля (провода).

**Пример 9.1.** Дано: электроприемник № 1 – компрессорная установка: КПД = 0,9;  $P_n = 28$  кВт;  $\cos \varphi = 0,8$ ; подключен к шинопроводу ШМА1.  $I_m = I_{ШМА1} = 326,8$  А. От шинопровода ШМА1 также питаются :

Наименование ЭП	Компрессорная установка			Станок карусельный	Печь сопротивления	Транспортер
$P_{ном, кВт}$	28	28	28	40	35	10
$\cos \varphi$	0,8	0,8	0,8	0,5	0,95	0,75

Требуется:

- составить расчетную схему электроснабжения;
- рассчитать и выбрать аппарат защиты;
- рассчитать и выбрать кабельную линию электроснабжения.

Решение. Составляется расчетная схема электроснабжения до электроприемника № 1, подключенного к ШМА1 (рис. 9.1). Этот электроприемник является трехфазным длительного режима работы. На схему наносятся известные данные.



Рис. 9.1. Схема электроснабжения электроприемника № 1

Примечание. При составлении расчетной схемы длину шин низкого напряжения трансформатора не принимать во внимание, а длину ШМА учитывать (от точки подключения питания к ШМА до точки подключения электроприемника).

1. Выбирается автоматический выключатель SF1 типа ВА.

Линия: шины низкого напряжения – магистральный шинопровод ШМА1 (ШНН – ШМА), линия с группой ЭД.

Согласно заданию максимальный ток ШМА1:

$$I_M = I_{ШМА1} = 326,8 \text{ А.}$$

Так как к шинопроводу ШМА1 подключено более пяти электродвигателей, а наибольшим по мощности является станок карусельный  $P_n = 40 \text{ кВт}$ , то пиковый ток определяется по формуле:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п.нб.}} + I_M - I_{\text{н.нб.}} \cdot K_{\text{и}} = 878,8 + 326,8 - 18,9 = 1186,7 \text{ А;}$$

$$I_{\text{п.нб.}} = 6,5 I_{\text{н.нб.}} = 6,5 \cdot 135,2 = 878,8 \text{ А;}$$

$$I_{\text{н.нб.}} = P_n / \sqrt{3} \cdot V_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta = 40 / 1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,9 = 135,2 \text{ А;}$$

$$I_{\text{н.нб.}} \cdot K_{\text{и}} = 135,2 \cdot 0,14 = 18,9 \text{ А.}$$

Ток отсечки составит:

$$I_o \geq 1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 1,25 \cdot 1186,7 = 1483,4 \text{ А.}$$

Коэффициент отсечки:

$$K_o \geq I_o / I_{\text{н.р.}} = 1483 / 400 = 3,7.$$

Принимается  $K_o = 5$ .

По току нагрузки  $I_{ШМА1} = 326,8 \text{ А}$  устанавливаем ШРА вместо ШМА.

По прилож. И выбирается ШРА 4-630-32-У3. Технические характеристики распределительного шинопровода представлены в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Технические характеристики ШРА 4-630-32-У3

$V_n$ , В	$I_{\text{н.ш}}$ , А	$X_o$ , Ом/км	$\Delta u$ , В/м	Сечение шинопровода, мм	$I_d$ , кА
660	630	0,1	$8,5 \times 10^{-2}$	$80 \times 5$	35

Автоматический выключатель SF1 выбираем по условию:

$$I_{\text{н.а.}} \geq I_{\text{н.р.}}$$

$$I_{\text{н.р.}} > 1,1 \cdot I_M = 1,1 \cdot I_{ШМА1} = 1,1 \cdot 326,8 = 359,5 \text{ А.}$$

По прилож. Д выбирается ВА 55-39-3. Технические характеристики автомата представлены в табл. 9.2.

Таблица 9.2

## Технические характеристики автомата SF1

$V_{н.а. В}$	$I_{н.а. А}$	$I_{н.р. А}$	$I_{у(п)} А$	$I_{у(кз)} А$	$I_{откл. кА}$
380	400	400	$1,25 I_{н.р}$	$5 \cdot I_{н.р}$	25кА

2. Выбирается автоматический выключатель SF типа ВА.

Линия магистральный шинопровод ШМА – компрессорная установка, линия с одним электродвигателем.

Номинальный ток компрессора:

$$I_d = P_n / \sqrt{3} \cdot V_n \cdot \cos\varphi \cdot \eta = 28 / 1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 59,2 \text{ А.}$$

Номинальный ток расцепителя автомата:

$$I_{н.р} \geq 1,25 \cdot I_d = 1,25 \cdot 59,2 = 74 \text{ А.}$$

По прилож. Д принимаем  $I_{н.р} = 80 \text{ А.}$

Ток отсечки составит:

$$I_o > 1,2 \cdot I_n = 1,2 \cdot 6,5 \cdot 59,2 = 461,8 \text{ А.}$$

Коэффициент отсечки:

$$K_o \geq I_o / I_{н.р} = 461,8 / 80 = 5,8.$$

Принимается  $K_o = 7.$

Номинальный ток автомата:

$$I_{н.а.} \geq I_{н.р.} \geq 80 \text{ А.}$$

Принимается  $I_{н.а.} = 100 \text{ А.}$

По прилож. Д выбирается ВА 58-31-3. Технические характеристики выбранного автомата представлены в табл. 9.3.

Таблица 9.3

## Технические характеристики автомата ВА 58-31-3

$V_{н.а. В}$	$I_{н.а. А}$	$I_{н.р. А}$	$I_{у(п)} А$	$I_{у(кз)} А$	$I_{откл. кА}$
380	100	80	$1,25 I_{н.р}$	$7 \cdot I_{н.р}$	25кА

3. Выбираются линии электроснабжения с учетом соответствия аппаратам защиты согласно условию:

$$I_{доп} > K_{зщ} I_{у(п)}.$$

Линия с SFI:

Шинопровод ШМА1 запитан кабелем АВВГ, проложенным в металлической трубе в помещении с нормальной средой. Коэффициент защиты принимается  $K_{зщ} = 1.$

Сечение кабеля выбираем по длительно-допустимому току с учетом соответствия аппарату защиты по условию:

$$I_{доп} > K_{зщ} \cdot I_{у(п)} = 1 \cdot 1,25 \cdot 400 = 500 \text{ А.}$$

Выбираются три кабеля марки АВВГ – 3×(3×95).

Согласно ПУЭ, длительно-допустимый ток для кабеля сечением 95 мм<sup>2</sup> составит:

$$I_{доп} = 3 \times 170 \text{ А.}$$

Условие  $I_{доп} > K_{зщ} \cdot I_{у(п)}$  выполняется, значит сечение кабеля выбрано правильно.

- Линия с SF:

Длительно-допустимый ток в линии:

$$I_{\text{доп}} > K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{у(п)}} = K_{\text{зщ}} \cdot 1,25 \cdot I_{\text{н.р}} = 1 \cdot 1,25 \cdot 80 = 100 \text{ А.}$$

Выбирается провод марки АПВ 3×(1×50).

По прилож. Ж длительно-допустимый ток для провода сечением 50 мм<sup>2</sup> составит:  $I_{\text{доп}} = 130 \text{ А}$ . Так как условие  $I_{\text{доп}} > K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{у(п)}}$  выполняется, следовательно сечение провода выбрано правильно.

**Пример 9.2.** Линия с автоматом типа ВА и РУ типа ШМА4.

Дано распределительное устройство типа ШМА 4-1250-44-У3 с техническими характеристиками:

$$I_{\text{н}} = 1250 \text{ А}; V_{\text{н}} = 660 \text{ В}; i_{\text{в.доп}} = 90 \dots 70 \text{ кА};$$

$$\Delta V_0 = 0,0893 \text{ В/м}; z_0 = 0,0338 \text{ Ом/км}; b \times a = 8 \times 140 \text{ мм};$$

$$x_0 = 0,0163 \text{ Ом/км}; z_0 = 0,0419 \text{ Ом/км}; z_{\text{он.}} = 0,0862 \text{ Ом/км}.$$

Требуется:

- составить схему линии ЭСН;
- выбрать аппарат защиты типа ВА;
- выбрать сечение кабеля типа АВВГ.

Решение:

- Составляется схема линии электроснабжения, обозначаются элементы, указываются основные данные (рис. 9.2.).

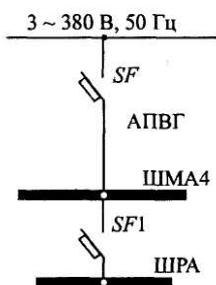


Рис. 9.2. Схема линии электроснабжения

- Определяется длительный ток в линии без ЭД:

$$I_{\text{дл}} = I_{\text{н}} = 1250 \text{ А (по заданию).}$$

- Определяются данные и выбирается аппарат защиты SF типа ВА:

$$I_{\text{н.р}} > I_{\text{д}} = 1250 \text{ А.}$$

$$I_{\text{н.а}} > I_{\text{н.р.}}$$

$I_{\text{н.р}}$  регулируется ступенями:  $0,63 I_{\text{н.а}} - 0,8 I_{\text{н.а}} - 1,0 I_{\text{н.а}}$ ;

$$I_{\text{н.р}} = 0,8 I_{\text{н.а}} = 0,8 \cdot 1600 = 1280 \text{ А.}$$

По прилож. Д выбирается ВА 53-43-3 с техническими характеристиками:

Таблица 9.4  
Технические характеристики автомата ВА 53-43-3

$V_{\text{н.а}}$ В	$I_{\text{н.а}}$ А	$I_{\text{н.р}}$ А	$I_{\text{у(п)}}$ А	$I_{\text{у(кз)}}$ А	$I_{\text{откл}}$ кА
380	1600	1280	$1,25 I_{\text{н.р}}$	$2 \cdot I_{\text{н.р}}$	31кА

Определяются данные и выбирается кабель типа АВВГ в соответствии с аппаратом защиты:

$$I_{\text{доп}} > K_{\text{зщ}} I_{\text{У(н)}} = 1,25 \times 1280 = 1600 \text{ А.}$$

При прокладке в помещениях с нормальными условиями в воздухе  $K_{\text{зщ}} = 1$ .

По прилож. Ж выбирается кабель АВВГ–  $6 \times (3 \times 185)$ ,

$$I_{\text{доп}} = 6 \times 270 \text{ А.}$$

**Пример 9.3.** Линия с автоматом типа ВА и РУ типа ПР 85.

Дано: распределительное устройство типа ПР 85-3099-54-Т2:

$I_n = 400 \text{ А}$ ;  $I_{\text{раб}} = 300 \text{ А}$ ; четыре автомата типа ВА 51-31-3.

Наибольший асинхронный электродвигатель на РУ типа 4А с техническими данными:

$$P_m = 55 \text{ кВт}; \quad \eta = 91 \%; \quad \cos \varphi = 0,92; \quad K_n = I_n / I_{\text{н.д}} = 7,5.$$

Требуется:

- изобразить схему линии электроснабжения;
- выбрать аппарат защиты типа ВА;
- выбрать сечение кабеля типа АВВГ.

Решение. Составляется схема линии электроснабжения, обозначаются элементы, указываются основные данные (рис. 9.3).

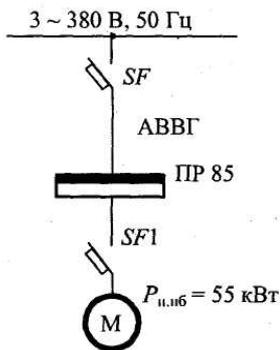


Рис. 9.3. Схема линии электроснабжения

Определяется длительный ток в линии:

$$I_{\text{дл}} = I_{\text{раб}} = 300 \text{ А (по заданию).}$$

Определяются данные и выбирается автомат типа ВА (линия с группой ЭД):

$$I_{\text{н.р}} > 1,1 I_{\text{дл}} = 1,1 \times 300 = 330 \text{ А.}$$

$$I_{\text{на}} > I_{\text{н.р.}}$$

$I_{\text{нр}}$  – регулируется ступенчато:  $0,63 I_{\text{на}} - 0,8 I_n - 1,0 I_{\text{на}}$ .

$$I_0 > 1,25 I_{\text{пик}} = 1,25 \times 949,5 = 1187 \text{ А.}$$

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{н.нб}} + I_{\text{раб}} - I_{\text{н.д}} = 749,5 + 300 - 99,9 = 949,5 \text{ А};$$

$$I_{\text{У(н)}} = 1,25 I_{\text{н.р.}}$$

$$I_{\text{н.нб}} = K_n \cdot I_{\text{н.д}} = 7,5 \times 99,9 = 749,5 \text{ А};$$

$$I_{н.д.} = \frac{P \cdot 10^3}{\sqrt{3} V_n \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{55 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,92 \cdot 0,91} = 99,9 \text{ А};$$

$$K_o > \frac{I_o}{I_{нр}} = \frac{1187}{400} = 2,97.$$

Принимается  $K_o = 3$ .

По прилож.. Д выбирается ВА 53-37-3.

Таблица 9.5.

Технические характеристики автомата ВА 53-37-3

$V_{н.а.}$ В	$I_{н.а.}$ А	$I_{н.р.}$ А	$I_{y(n)}$ А	$I_{y(кз)}$ А	$I_{откл}$ кА
380	400	400	$1,1 I_{н.р}$	$3 \cdot I_{н.р.}$	20кА

Определяются данные и выбирается проводник типа АВВГ:

$$I_{доп} > K_{зщ} I_{y(n)} = 1,25 \times 400 = 500 \text{ А}.$$

При нормальных условиях прокладки в воздухе  $K_{зщ} = 1$ .

По прилож. Ж выбирается АВВГ-3 × (3 × 95),  $I_{доп} = 3 \times 170 \text{ А}$ .

**Пример 9.4.** Линия с автоматом типа ВА и асинхронным двигателем повторно-кратковременного режима типа МТКР.

Дано: АД типа МТКР 4120-6.

$P_B = 40 \%$ ,  $P_n = 30 \text{ кВт}$ ,  $\eta = 83 \%$ ,  $n_n = 935 \text{ об/мин}$ ;

$M = 981 \text{ Н·м}$ ,  $I_n = 70 \text{ А}$ ,  $I_n = 380 \text{ А}$ ,  $\cos \varphi = 0,78$ .

Требуется:

- изобразить схему линии электроснабжения;
- выбрать аппарат защиты типа ВА;
- выбрать сечение кабеля типа ВРГ.

Решение. Составляется схема линии электроснабжения, обозначаются элементы, указываются основные данные (рис 9.4.).

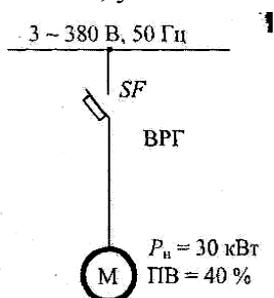


Рис. 9.4. Схема линии электроснабжения

- Определяется длительный ток в линии:

$$I_{дл} = \frac{P_n \cdot 10^3 \cdot \sqrt{ПБ}}{\sqrt{3} V_n \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{30 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{0,4}}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,78 \cdot 0,835} = 44,3 \text{ А}.$$

- Определяются данные и выбирается аппарат защиты типа ВА (линия с одним ЭД):

$$I_{нр} \geq 1,25 \cdot 44,3 = 55,4 \text{ А}.$$

$$I_{на} \geq I_{нр}.$$

По прилож. Д выбирается автомат типа ВА 51-31-3.

Таблица 9.6

Технические характеристики автомата ВА 51-31-3

$V_{н.а.}$ В	$I_{н.а.}$ А	$I_{н.р.}$ А	$I_{у(п)}$ А	$I_{у(кз)}$ А	$I_{откл.}$ кА
380	100	63	$1,35 I_{н.р.}$	$10 \cdot I_{н.р.}$	6кА

$$I_0 \geq 1,2 I_{н.дв.} = 1,2 \cdot 380 = 456 \text{ А,}$$

$$K_0 \geq I_0 / I_{н.р.} = 456 / 63 = 7,2; K_0 = 10.$$

- Определяются данные и выбирается кабель типа ВРГ с учетом соответствия аппарату защиты:

$$I_{доп} \geq K_{зщ} I_{у(п)} = 1,35 \cdot 63 = 85,1 \text{ А.}$$

При нормальной прокладке в воздухе  $K_{зщ} = 1$ .

По прилож. Ж выбирается кабель ВРГ-3×25,  $I_{доп} = 95 \text{ А}$ .

**Пример 9.5.** Линия с автоматом типа АЕ и РУ типа ШОС4.

Дано. РУ типа ШОС 4-63-44 УЗ с номинальными данными:

$$I_n = 63 \text{ А, } V_n = 380 / 220 \text{ В, } i_{у.доп} = 5 \text{ кА; } I_{н.шт} = 25 \text{ А.}$$

Требуется:

- изобразить схему линии электроснабжения;
- выбрать аппарат защиты типа АЕ;
- выбрать провод типа ППВ.

Решение:

- Составляется схема линии электроснабжения, обозначаются элементы, указываются основные данные (рис. 9.5).

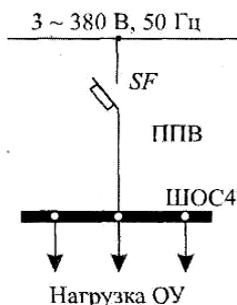


Рис. 9.5. Схема линии электроснабжения

- Определяется длительный ток в линии:

$$I_{дл} = I_n = 63 \text{ А (по заданию).}$$

- Определяются данные и выбирается автомат типа АЕ:

$$I_{н.р.} \geq I_{дл} = 63 \text{ А,}$$

$$I_{н.а.} \geq I_{н.р.}$$

По [5, с. 50] выбирается автоматический выключатель типа АЕ 2046:

Таблица 9.7

Технические характеристики автомата АЕ 2046

$V_{н.а.}$ В	$I_{н.а.}$ А	$I_{н.р.}$ А	$I_{у(п)}$ А	$I_{у(кз)}$ А	$I_{откл.}$ А
380	63	63	$1,25 I_{н.р.}$	$3 \cdot I_{н.р.}$	5кА

- Определяются данные и выбирается провод типа ППВ в соответствии с аппаратом защиты:

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} I_{\text{у(п)}} = 1,25 \cdot 63 = 78,8 \text{ А.}$$

При прокладке в нормальных помещениях в воздухе  $K_{\text{зщ}} = 1$ .

По прилож. Ж выбирается провод марки ППВ-3× 25,  $I_{\text{доп}} = 95 \text{ А}$ .

### Самостоятельная работа студента

#### Задание 9.1.

1. Составить схему линии электроснабжения.
2. Выбрать аппарат защиты.
3. Выбрать сечение проводника.
4. Проверить правильность выбора проводника на соответствие выбранному аппарату защиты.

Данные взять из табл. 9.8

Таблица 9.8

#### Варианты индивидуальных заданий

Вариант	Категория ЭСН	S, м <sup>2</sup>	Номера электроприемников		Вариант
1	1	450	4	5	16
2	2	500	2	24	17
3	3	550	3	7	18
4	2	600	23	6	19
5	3	400	8	19	20
6	1	450	9	18	21
7	3	500	10	11	22
8	1	550	11	10	23
9	2	600	12	22	24
10	1	600	13	25	25
11	2	550	14	24	26
12	3	500	15	26	27
13	2	450	16	27	28
14	3	400	17	28	29
15	1	350	18	29	30

Примечание. Наименования электроприемников даны в табл. Д.5 (прилож. Д).

#### Содержание отчета

1. Начертить схему линии электроснабжения.
2. Письменно ответить на контрольные вопросы.

#### Контрольные вопросы

1. Виды, назначение, условные обозначения аппаратов защиты.
2. Условия выбора линий электроснабжения с учетом соответствия аппарату защиты.
3. Условия выбора автоматических выключателей.
4. Условия выбора предохранителей.
5. Условия выбора тепловых реле.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### *Расчет токов короткого замыкания*

*Цель занятия:* научиться рассчитывать токи короткого замыкания.  
На занятие отводится четыре часа.

#### Пояснение к работе

Расчитать токи короткого замыкания (КЗ) – это значит:

- по расчетной схеме составить схему замещения, выбрать точки КЗ; рассчитать сопротивления;
- определить в каждой выбранной точке трехфазные, двухфазные и однофазные токи КЗ;
- заполнить «Сводную ведомость токов КЗ».

Схема замещения представляет собой вариант расчетной схемы, в которой все элементы заменены сопротивлениями, а магнитные связи – электрическими. Точки КЗ выбираются на ступенях распределения и на конечном электроприемнике.

Точки КЗ нумеруются сверху вниз, начиная от источника.

Для определения токов КЗ используются следующие соотношения:

а) ток трехфазного короткого замыкания, кА:

$$I_k^{(3)} = \frac{V_k}{\sqrt{3}Z_k},$$

где  $V_k$  – линейное напряжение в точке КЗ, кВ;  $Z_k$  – полное сопротивление до точки КЗ, Ом;

б) ток двухфазного короткого замыкания, кА:

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_k^{(3)} = 0,87 \times I_k^{(3)},$$

в) ток однофазного короткого замыкания, кА:

$$I_k^{(1)} = \frac{V_{\text{кф}}}{Z_n + \frac{Z_T^{(1)}}{3}},$$

где  $V_{\text{кф}}$  – фазное напряжение в точке КЗ, кВ;  $Z_n$  – полное сопротивление петли фаза – нуль до точки КЗ, Ом;  $Z_T^{(1)}$  – полное сопротивление трансформатора однофазному КЗ, Ом;

г) ударный ток, кА:

$$i_y = \sqrt{2} K_y I_k^{(3)},$$

где  $K_y$  – ударный коэффициент, определяется по графику

$$K_y = F \cdot \left( \frac{R_k}{X_k} \right).$$

Примечание. График (рис. 9.1) может быть построен при обратном соотношении,

$$K_y = F \cdot \left( \frac{X_k}{R_k} \right).$$

д) действующее значение ударного тока, кА:

$$I_y = q \cdot I_k^{(3)},$$

где  $q$  – коэффициент действующего значения ударного тока.

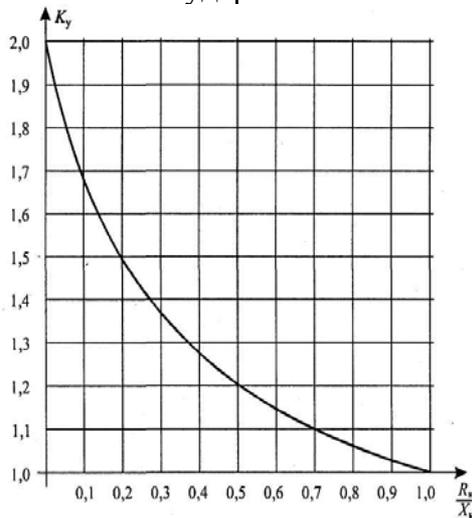


Рис. 10.1. Зависимость  $K_y = F \left( \frac{R_k}{X_k} \right)$

$$Q = \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2}.$$

Сопротивления схем замещения определяются следующим образом:

1. Для силовых трансформаторов по табл. И.1 прилож. И или расчетным путем из соотношений:

$$R_T = \Delta P_k \left( \frac{V_{HH}}{S_T} \right)^2 \cdot 10^6, \quad Z_T = U_k \frac{V_{HH}^2}{S_T} \cdot 10^4; \quad X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2};$$

где  $\Delta P_k$  – потери активной мощности КЗ, кВт,  $U_k$  – напряжение КЗ, %;  $V_{HH}$  – линейное напряжение обмотки низкого напряжения (НН), кВ;  $S_T$  – полная мощность трансформатора, кВА.

2. Для трансформаторов тока сопротивления схем замещения определяются по табл. И.2 (прилож. И).

3. Для коммутационных и защитных аппаратов – по табл. И.3. Сопротивления зависят от номинального тока аппарата  $I_{на}$ .

Примечание. Сопротивление предохранителей не учитывается, а у рубильников учитывается только переходное сопротивление контактов.

4. Для ступеней распределения сопротивления схем замещения определяются по табл. И.4 (прилож. И).

5. Для линий электроснабжения кабельных, воздушных и шинопроводов из соотношений:

$$R_{л} = r_0 \cdot L_{л}; \quad X_{л} = x_0 \cdot L_{л};$$

где  $r_0$  и  $x_0$  – удельные активное и индуктивное сопротивления, мОм/м;  $L_{л}$  – протяженность линии, м.

Удельные сопротивления для расчета трехфазных и двухфазных токов КЗ определяются по таблицам И.6, И.7, И.8.

При отсутствии данных  $r_0$  можно определить расчетным путем:

$$r_0 = 10^3 / \gamma S,$$

где  $S$  – сечение проводника, мм;  $\gamma$  – удельная проводимость материала, м/(Ом мм).

Принимается:  $\gamma = 30$  м/(Ом  $\times$  мм<sup>2</sup>) – для алюминия,

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

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

При отсутствии данных  $x_0$  можно принять равным :

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

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

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

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

При расчете однофазных токов КЗ значение удельных индуктивных сопротивлений петли фаза–нуль принимается равным:

$X_{0 \text{ п}} = 0,15$  мОм/м – для КЛ до 1 кВ и проводов в трубах,

$X_{0 \text{ п}} = 0,6$  мОм/м – для ВЛ до 1 кВ,

$X_{0 \text{ п}} = 0,4$  мОм/м – для изолированных открыто проложенных проводов,

$X_{0 \text{ п}} = 0,2$  мОм/м – для шинопроводов.

Удельное активное сопротивление петли фаза–нуль определяется для любых линий по формуле:

$$r_{0 \text{ п}} = 2 r_0.$$

6. Для неподвижных контактных соединений значения активных переходных сопротивлений определяют по табл. И.8.

Примечание 1. При расчетах можно использовать следующие значения  $K_y$ :

$K_y = 1,2$  – при КЗ на ШНН трансформаторов мощностью до 400 кВА;

$K_y = 1,3$  – при КЗ на ШНН трансформаторов мощностью более 400 кВА;

$K_y = 1$  – при более удаленных точках;

$K_y = 1,8$  – при КЗ в сетях ВН, где активное сопротивление не оказывает существенного влияния. Сопротивления элементов на высоком напряжении приводятся к низкому напряжению по формулам:

$$R_{\text{нн}} = R_{\text{вн}} \left( \frac{V_{\text{нн}}}{V_{\text{вн}}} \right)^2; \quad X_{\text{нн}} = X_{\text{вн}} \left( \frac{V_{\text{нн}}}{V_{\text{вн}}} \right)^2;$$

где  $R_{\text{нн}}$  и  $X_{\text{нн}}$  – сопротивления, приведенные к НН, мОм;  $R_{\text{вн}}$  и  $X_{\text{вн}}$  – сопротивления на ВН, мОм;  $V_{\text{нн}}$  и  $V_{\text{вн}}$  – напряжение низкое и высокое, кВ.

Примечание 2. На величину тока КЗ могут оказать влияние АД мощностью более 100 кВт с напряжением до 1 кВ в сети, если они подключены вблизи места КЗ. Объясняется это тем, что при КЗ резко снижается напряжение, а АД, вращаясь по инерции, генерирует ток в месте КЗ. Этот ток быстро затухает, а поэтому учитывается в начальный момент при определении периодической составляющей и ударного тока.

$$\Delta I_{\text{по(ад)}} = 4,5 \cdot I_{\text{н(ад)}}; \quad \Delta i_y = 6,5 \cdot I_{\text{н(ад)}},$$

где  $I_{\text{н(ад)}}$  – номинальный ток одновременно работающих АД.

**Пример 9.1.** Дано: расчетная схема (рис. 9.2а).

$L_{ВН} = 3 \text{ км};$

$L_{кл1} = 5 \text{ м}$  (длина линии электроснабжения от ШНН до ШМА1);

$L_{ш} = 2 \text{ м}$  (участок ШМА1 до ответвления);

$L_{кл2} = 20 \text{ м}$  (длина линии ЭСН от ШМА1 до потребителя).

Требуется:

- составить схему замещения, пронумеровать точки КЗ;
- рассчитать сопротивления и нанести их на схему замещения;
- определить токи КЗ в каждой точке и составить «Сводную ведомость токов КЗ».

Решение. Составляется схема замещения (рис. 9.2б) и нумеруются точки КЗ в соответствии с расчетной схемой.

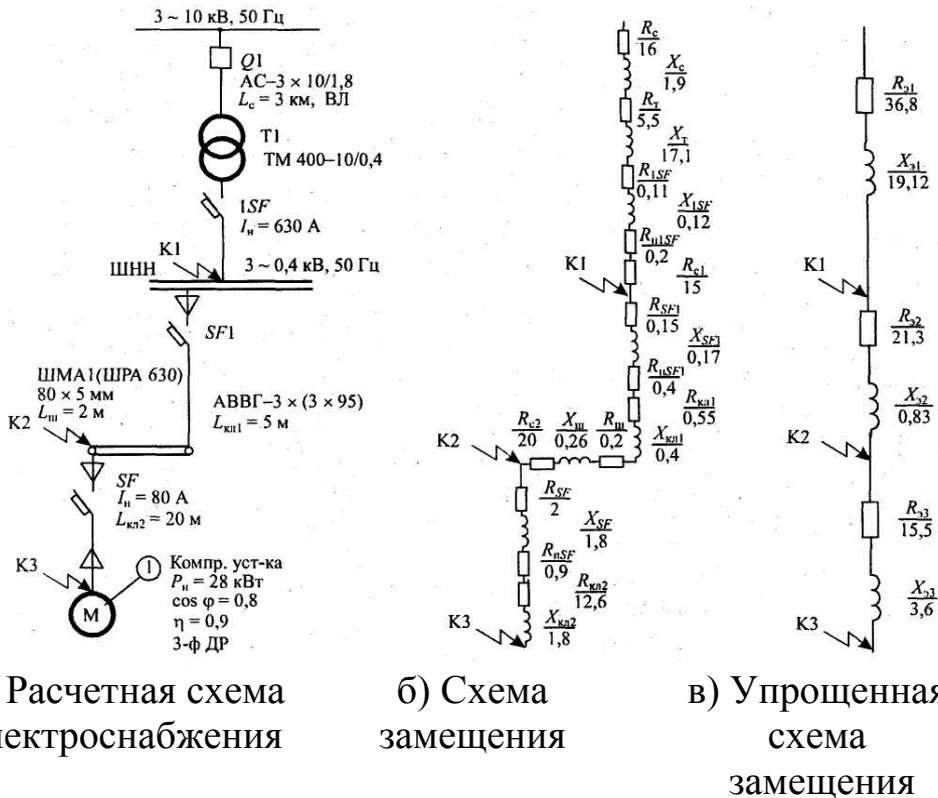


Рис. 10.2. Схемы электроснабжения

Вычисляются сопротивления элементов и наносятся на схему замещения (рис. 10.2б).

Для системы:

$$I_c = \frac{S_m}{\sqrt{3}V_c} = \frac{400}{1,73} = 23,1 \text{ А.}$$

Воздушная линия электропередач выполнена голым проводом марки АС-3  $\times 10 / 1,8$ ;  $I_{\text{доп}} = 84 \text{ А}$ ;  $x_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$ ;

$$x'_c = x_0 L_c = 0,4 \cdot 3 = 1,2 \text{ Ом};$$

$$r_0 = 10^3 / \gamma S = 10^3 / 30 \cdot 10 = 3,33 \text{ Ом/км};$$

$$R_c = r_0 L_c = 3,33 \cdot 3 = 10 \text{ Ом}.$$

Сопротивления приводятся к НН:

$$R_c = R'_c \left( \frac{V_{\text{НН}}}{V_{\text{ВН}}} \right)^2 = 10 \cdot (0,4 / 10)^2 \cdot 10^3 = 16 \text{ мОм};$$

$$X_c = X'_c \left( \frac{V_{\text{НН}}}{V_{\text{ВН}}} \right)^2 = 1,2 \cdot (0,4 / 10)^2 \cdot 10^3 = 1,9 \text{ мОм}.$$

Для трансформатора по табл. И.1 определяем:

$$R_T = 5,5 \text{ мОм}, \quad X_T = 17,1 \text{ мОм}; \quad Z_T^{(1)} = 195 \text{ мОм}.$$

Для автоматов – по табл. И.3:

$$1\text{SF} \quad R_{1\text{SF}} = 0,11 \text{ мОм} \quad X_{1\text{SF}} = 0,12 \text{ мОм}; \quad R_{\text{н}1\text{SF}} = 0,2 \text{ мОм}$$

$$\text{SF1} \quad R_{\text{SF1}} = 0,15 \text{ мОм}; \quad X_{\text{SF1}} = 0,17 \text{ мОм}; \quad R_{\text{н}SF1} = 0,4 \text{ мОм};$$

$$\text{SF} \quad R_{\text{SF}} = 2 \text{ мОм}; \quad X_{\text{SF}} = 1,8 \text{ мОм}; \quad R_{\text{н}SF} = 0,9 \text{ мОм}.$$

Для кабельных линий – по табл. И.5:

$$\text{КЛ1:} \quad r_0 = 0,33 \text{ мОм/м}; \quad x_0 = 0,08 \text{ мОм/м}.$$

Так как в схеме три параллельных кабеля, то

$$r_0 = (1/3) \cdot r_0' = (1/3) \cdot 0,33 = 0,11 \text{ мОм/м};$$

$$R_{\text{кл1}} = r_0 L_{\text{кл1}} = 0,11 \cdot 5 = 0,55 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{кл1}} = x_0 L_{\text{кл1}} = 0,08 \cdot 5 = 0,4 \text{ мОм}.$$

$$\text{КЛ2:} \quad r_0 = 0,63 \text{ мОм/м}; \quad x_0 = 0,09 \text{ мОм/м}.$$

$$R_{\text{кл2}} = 0,63 \cdot 20 = 12,6 \text{ мОм};$$

$$x_{\text{кл2}} = 0,09 \cdot 20 = 1,8 \text{ мОм}.$$

Для шинпровода ШРА 630 из табл. И.6 берем значения переходных сопротивлений:

$$r_0 = 0,1 \text{ мОм/м}; \quad x_0 = 0,13 \text{ мОм/м};$$

$$r_{\text{оп}} = 0,2 \text{ мОм/м}; \quad x_{\text{оп}} = 0,26 \text{ мОм/м};$$

$$R_{\text{ш}} = r_0 L_{\text{ш}} = 0,1 \cdot 2 = 0,2 \text{ мОм};$$

$$x_{\text{ш}} = x_0 L_{\text{ш}} = 0,13 \cdot 2 = 0,26 \text{ мОм}.$$

Для ступеней распределения значения переходных сопротивлений берем из табл. И.3:

$$R_{C1} = 15 \text{ мОм}; \quad R_{C2} = 20 \text{ мОм}.$$

По упрощенной схеме замещения вычисляются эквивалентные сопротивления на участках между точками КЗ и наносятся на схему (рис. 10.2в).:

$$R_{\text{э1}} = R_c + R_T + R_{1\text{SF}} + R_{\text{н}1\text{SF}} + R_{C1} = 16 + 5,5 + 0,11 + 0,2 + 15 = 36,8 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{э1}} = X_c + X_T + X_{1\text{SF}} = 1,9 + 17,1 + 0,12 = 19,12 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{э2}} = R_{\text{SF1}} + R_{\text{н}SF1} + R_{\text{кл1}} + R_{\text{ш}} + R_{C2} = 1,15 + 0,4 + 0,55 + 0,2 + 20 = 22,3 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{э2}} = X_{\text{SF1}} + X_{\text{кл1}} + X_{\text{ш}} = 0,17 + 0,4 + 0,26 = 0,83 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{э3}} = R_{\text{SF}} + R_{\text{н}SF} + R_{\text{кл2}} = 2 + 0,9 + 12,6 = 15,5 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{э3}} = X_{\text{SF}} + X_{\text{кл2}} = 1,8 + 1,8 = 3,6 \text{ мОм}.$$

Вычисляются сопротивления до каждой точки КЗ и заносятся в «Сводную ведомость токов КЗ» (табл. 10.1.):

$$R_{к1} = R_{з1} = 36,8 \text{ мОм}; \quad X_{к1} = X_{з1} = 19,12 \text{ мОм};$$

$$Z_{к1} = \sqrt{R_{к1}^2 + X_{к1}^2} = \sqrt{36,8^2 + 19,12^2} = 41,5 \text{ мОм};$$

$$R_{к2} = R_{з1} + R_{з2} = 36,8 + 21,3 = 58,1 \text{ мОм};$$

$$X_{к2} = X_{з1} + X_{з2} = 19,12 + 0,83 = 19,95 \text{ мОм};$$

$$Z_{к2} = \sqrt{R_{к2}^2 + X_{к2}^2} = \sqrt{58,1^2 + 19,98^2} = 61,4 \text{ мОм};$$

$$R_{к3} = R_{к2} + R_{з3} = 58,1 + 15,5 = 73,6 \text{ мОм};$$

$$X_{к3} = X_{к2} + X_{з3} = 19,95 + 3,6 = 23,55 \text{ мОм};$$

$$Z_{к3} = \sqrt{R_{к3}^2 + X_{к3}^2} = \sqrt{73,6^2 + 23,55^2} = 77,3 \text{ мОм};$$

$$\frac{R_{к1}}{X_{к1}} = \frac{36,8}{19,12} = 1,9; \quad \frac{R_{к2}}{X_{к2}} = \frac{58,1}{19,95} = 2,9; \quad \frac{R_{к3}}{X_{к3}} = \frac{73,6}{23,55} = 3,1.$$

Определяются коэффициенты  $K_y$  (рис. 9.4.) и  $q$ :

$$K_{y1} = F\left(\frac{R_{к1}}{X_{к1}}\right) = F(1,9) = 1,0.$$

$$K_{y2} = F\left(\frac{R_{к2}}{X_{к2}}\right) = F(2,9) = 1,0.$$

$$K_{y3} = F\left(\frac{R_{к3}}{X_{к3}}\right) = F(3,1) = 1,0.$$

$$q_1 = \sqrt{1 + 2(K_{y1} - 1)^2} = \sqrt{1 + 2(1,0 - 1)^2} = 1.$$

$$q_2 = q_3 = 1.$$

Определяются трехфазные и двухфазные токи КЗ и заносятся в «Сводную ведомость токов короткого замыкания» (табл. 10.1).

$$I_{к1}^{(3)} = \frac{V_{к1}}{\sqrt{3}Z_{к1}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 41,5} = 5,6 \text{ кА};$$

$$I_{к2}^{(3)} = \frac{V_{к2}}{\sqrt{3}Z_{к2}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 61,4} = 3,6 \text{ кА};$$

$$I_{к3}^{(3)} = \frac{V_{к3}}{\sqrt{3}Z_{к3}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 77,3} = 2,8 \text{ кА};$$

$$I_{yк1} = q_1 \cdot I_{к1}^{(3)} = 5,6 \text{ кА};$$

$$I_{yк2} = q_2 \cdot I_{к2}^{(3)} = 3,6 \text{ кА};$$

$$I_{yк3} = q_3 \cdot I_{к3}^{(3)} = 2,8 \text{ кА};$$

$$i_{yк1} = \sqrt{2}K_{y1} \cdot I_{к1}^{(3)} = 1,41 \cdot 1,0 \cdot 5,6 = 7,9 \text{ кА};$$

$$i_{yк2} = \sqrt{2}K_{y2} \cdot I_{к2}^{(3)} = 1,41 \cdot 3,6 = 5,1 \text{ кА};$$

$$i_{yк3} = \sqrt{2}K_{y3} \cdot I_{к3}^{(3)} = 1,41 \cdot 2,8 = 4,0 \text{ кА};$$

$$I_{к1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{к1}^{(3)} = 0,87 \cdot 5,6 = 4,9 \text{ кА};$$

$$I_{к2}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{к2}^{(3)} = 0,87 \cdot 3,6 = 3,1 \text{ кА};$$

$$I_{к3}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{к3}^{(3)} = 0,87 \cdot 2,8 = 2,4 \text{ кА}.$$

Таблица 10.1

Сводная ведомость токов КЗ

Точка КЗ	$R_{к}$ , МОм	$X_{к}$ , МОм	$Z_{к}$ , МОм	$R_{к}/X_{к}$	$K_y$	$q$	$I_{к}^{(3)}$ , кА	$I_y$ , кА	$I_{\infty}^{(3)}$ , кА	$I_{к}^{(2)}$ , кА	$Z_{п}$ , МОм	$I_{к}^{(1)}$ , кА
К1	36,8	19,1	41,5	1,9	1,0	1	5,6	7,9	5,6	4,9	15	2,9
К2	58,1	19,9	61,4	2,9	1,0	1	3,6	5,1	3,6	3,1	36,9	2,2
К3	73,6	23,5	77,3	3,1	1,0	1	2,8	4,0	2,8	2,4	62,3	1,7

Составляется схема замещения для расчета однофазных токов КЗ (рис. 10.3) и определяются сопротивления.

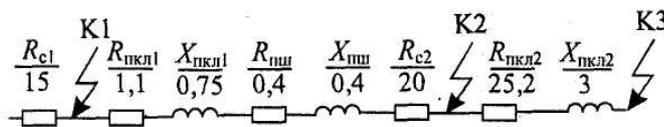


Рис. 10.3. Схема замещения для расчета 1-фазных токов КЗ

Для кабельных линий:

$$X_{пк1} = x_{0п}L = 0,15 \cdot 5 = 0,75 \text{ МОм};$$

$$R_{пк1} = 2r_0L_{к1} = 2 \cdot 0,11 \cdot 5 = 1,1 \text{ МОм};$$

$$R_{пш} = r_{0пш}L_{ш} = 0,26 \cdot 2 = 0,4 \text{ МОм};$$

$$X_{пш} = x_{0пш}L_{ш} = 0,26 \cdot 20,52 \text{ МОм};$$

$$R_{пк2} = 2r_0L_{к2} = 0,15 \cdot 20 = 3 \text{ МОм};$$

$$Z_{п1} = 15 \text{ МОм};$$

$$R_{п2} = R_{c1} + R_{пк1} + R_{пш} + R_{c2} = 15 + 1,1 + 0,4 + 20 = 36,5 \text{ МОм};$$

$$X_{п2} = X_{пк1} + X_{пш} = 0,75 + 0,52 = 1,27 = 1,3 \text{ МОм};$$

$$Z_{п2} = \sqrt{R_{п2}^2 + X_{п2}^2} = \sqrt{36,5^2 + 1,3} = 36,9;$$

$$R_{п3} = R_{п2} + R_{пк2} = 36,5 + 25,5 = 61,7 \text{ МОм};$$

$$X_{п3} = X_{п2} + X_{пк2} + 1,3 + 3 = 4,3 \text{ МОм};$$

$$Z_{п3} = \sqrt{R_{п3}^2 + X_{п3}^2} = \sqrt{61,7^2 + 4,3} = 62,3 \text{ МОм};$$

$$I_{\kappa 1}^{(1)} = \frac{V_{\kappa \phi}}{Z_{n1} + Z_m^{(1)} / 3} = \frac{0,23 \cdot 10^3}{15 + 195 / 3} = 2,9 \text{ кА};$$

$$I_{\kappa 2}^{(1)} = \frac{V_{\kappa \phi}}{Z_{n2} + Z_m^{(1)} / 3} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{36,9 + 195 / 3} = 2,2 \text{ кА};$$

$$I_{\kappa 3}^{(1)} = \frac{V_{\kappa \phi}}{Z_{n3} + Z_m^{(1)} / 3} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{62,3 + 195 / 3} = 1,7 \text{ кА}.$$

Примечание. Длина шинпровода  $L_{\text{ш}}$  до отвления используется в том случае, если при распределении нагрузки, указанной номером, электроприемник подключен к шинпроводу. В остальных случаях принимать  $L_{\text{ш}} = 0$ .

## Самостоятельная работа студента

### Задание 10.1

Таблица 10.2

#### Варианты индивидуальных заданий

Вариант	№ ЭП	$L_{\text{ВН}}, \text{ км}$	$L_{\text{вп1}}, \text{ м}$	$L_{\text{вп2}}, \text{ м}$	$L_{\text{ш}}, \text{ м}$	$L_{\text{ш}}, \text{ м}$	$L_{\text{вп2}}, \text{ м}$	$L_{\text{вп1}}, \text{ м}$	$L_{\text{ВН}}, \text{ км}$	№ ЭП	Вариант
1	2	3	4	5	6	6	5	4	3	2	1
1	4	1,5	15	30	6	5,5	25	15	2	6	16
2	2	3	20	25	4,5	6	20	20	1,8	24	17
3	3	4,5	25	20	3	5,5	15	25	1,6	7	18
4	23	6	30	15	1,5	5	10	30	1,5	6	19
5	8	7,5	35	10	1	4,5	30	10	1,4	19	20
6	9	9	40	5	0,5	4	5	40	1,2	2	21
7	10	10,5	20	28	1	3,5	28	20	1	11	22
8	11	12	15	23	1,5	3	23	25	2,5	10	23
9	12	13,5	25	18	2	2,5	18	30	2,4	22	24
10	13	6	40	13	2,5	2	15	10	2,3	12	25
11	14	15	30	8	3	1,5	13	15	2,2	20	26
12	15	16,5	25	20	3,5	1	8	35	2,1	21	27
13	16	18	15	15	4	0,5	10	40	0,8	17	28
14	17	19,5	30	10	4,5	3	15	25	0,6	16	29
15	18	21	10	25	5	2	20	5	3	1	30

Примечание. Наименования электроприемников даны в табл. Д.5 (прилож. Д).

### Содержание отчета

1. Начертить расчетную схему, схему замещения.

2. Расчеты оформить в тетради.
3. Ответить на контрольные вопросы.

### Контрольные вопросы

1. Основные понятия и соотношения токов КЗ.
2. Способы расчетов токов КЗ.
3. Электродинамическое и термическое действие токов КЗ.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### *Проверка элементов цеховой сети*

*Цель занятия:* научиться проверять аппараты защиты на надежность срабатывания, на отключающую способность, на отстройку от пусковых токов.

На занятие отводится четыре часа.

### Пояснение к работе

Аппараты защиты проверяют:

- 1) на надежность срабатывания согласно условиям:
  - для предохранителей

$$I_{\text{к}}^{(1)} \geq 3I_{\text{вс}};$$

- для автоматов с комбинированным расцепителем:

$$I_{\text{к}}^{(1)} \geq 3I_{\text{н.р}};$$

- для автоматов только с максимальным расцепителем на  $I_{\text{на}} < 100 \text{ А}$

$$I_{\text{к}}^{(1)} > 1,4I_0;$$

- для автоматов только с максимальным расцепителем на  $I_{\text{на}} > 100 \text{ А}$

$$I_{\text{к}}^{(1)} > 1,25I_0;$$

где  $I_{\text{к}}^{(1)}$  – однофазный ток короткого замыкания КЗ, кА;  $I_{\text{вс}}$  – номинальный ток плавкой вставки предохранителя, кА;  $I_{\text{н.р}}$  – номинальный ток расцепителя автомата, кА;  $I_0$  – ток отсечки автомата, кА;

- 2) на отключающую способность согласно условию:

$$I_{\text{откл}} > \sqrt{2} I_{\infty}^{(3)},$$

где  $I_{\text{откл}}$  – ток автомата по каталогу, кА;  $I_{\infty}^{(3)}$  – трехфазный ток КЗ в установившемся режиме, кА;

- 3) на отстройку от пусковых токов согласно условиям для электродвигателя:

$$I_0 = I_{\text{у(кз)}} > I_{\text{п}};$$

для распределительного устройства с группой ЭД:

$$I_0 = I_{\text{у(кз)}} > I_{\text{пик}};$$

где  $I_{\text{у(кз)}}$  – ток установки автомата в зоне КЗ, кА;  $I_{\text{п}}$  – пусковой ток электродвигателя, кА.

Провода и кабели проверяют:

1. На соответствие выбранному аппарату защиты согласно условию:  
для автоматов и тепловых реле:

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{у(н)}};$$

для предохранителей

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{вс}};$$

где  $I_{\text{доп}}$  – допустимый ток проводника по каталогу, А;  $I_{\text{у(н)}}$  – ток уставки автомата в зоне перегрузки, А;  $K_{\text{зщ}}$  – кратность (коэффициент) защиты (табл. Д.1, прилож. Д);  $I_{\text{вс}}$  – ток плавкой вставки предохранителя.

2. На термическую стойкость согласно условию:

$$S_{\text{кл}} \geq S_{\text{кл.тс}},$$

где  $S_{\text{кл}}$  – фактическое сечение кабельной линии, мм<sup>2</sup>;  $S_{\text{кл.тс}}$  – термически стойкое сечение кабельной линии мм<sup>2</sup>.

Шинопроводы проверяют:

3. На динамическую стойкость согласно условию:

$$\sigma_{\text{ш.доп}} \geq \sigma_{\text{ш}},$$

где  $\sigma_{\text{ш.доп}}$  – допустимое механическое напряжение в шинопроводе, Н / см<sup>2</sup>;  
 $\sigma_{\text{ш}}$  – фактическое механическое напряжение в шинопроводе, Н/см<sup>2</sup>;

4. На термическую стойкость согласно условию:

$$S_{\text{ш}} \geq S_{\text{ш.тс}},$$

где  $S_{\text{ш}}$  – фактическое сечение шинопровода, мм<sup>2</sup>;  $S_{\text{ш.тс}}$  – термически стойкое сечение шинопровода, мм<sup>2</sup>.

Действие токов КЗ бывает динамическим и термическим.

#### ***Динамическое действие токов короткого замыкания.***

При прохождении тока в проводниках возникает механическая сила, которая стремится их сблизить (одинаковое направление тока) или оттолкнуть (противоположное направление тока).

Максимальное усиление на шину определяется по формуле:

$$F_{\text{м}}^{(3)} = 0,176 \frac{\ell}{a} i_{\text{у}}^2,$$

где  $F_{\text{м}}^{(3)}$  – максимальное усилие, Н;  $\ell$  – длина пролета между соседними опорами, см;  $a$  – расстояние между осями шин, см;  $i_{\text{у}}$  – ударный ток КЗ, трехфазный, кА.

*Примечание.* При отсутствии данных  $\ell$  принимается равным кратному числу от 1,5 м, т. е. 1,5–3–4,5–6 м.

Величина  $a$  принимается равной 100, 150, 200 мм.

Наибольший изгибающий момент ( $M_{\text{max}}$  Н · см) определяется следующим образом:

$$M_{\text{max}} = 0,125 F_{\text{м}}^{(3)} \quad (\text{при двух пролетах}),$$

$$M_{\text{max}} = 0,1 F_{\text{м}}^{(3)} \cdot \ell \quad (\text{при трех и более пролетах}).$$

Напряжение ( $\sigma$ , Н / см<sup>2</sup>) в материале шин от изгиба определяется по формуле:

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W},$$

где  $W$  – момент сопротивления сечения,  $\text{см}^3$ .

При расположении шин плашмя:

$$W = \frac{b^2 h}{6},$$

для круглых шин с диаметром  $d$ ,  $\text{см}$ :

$$W = 0,1d^3,$$

при расположении шин широкими сторонами друг к другу:

$$W = \frac{bh^2}{6}.$$

Шины будут работать надежно, если выполнено условие:

$$\sigma_{\text{доп}} \geq \sigma.$$

Для сравнения с расчетным значением принимают:

$$\sigma_{\text{доп}} = 14 \cdot 10^3 \text{ Н/см}^2 \text{ – для меди};$$

$$\sigma_{\text{доп}} = 7 \cdot 10^3 \text{ Н/см}^2 \text{ – для алюминия};$$

$$\sigma_{\text{доп}} = 16 \cdot 10^3 \text{ Н/см}^2 \text{ – для стали}.$$

Если при расчете оказалось, что  $\sigma \geq \sigma_{\text{доп}}$ , то для выполнения условия необходимо увеличить расстояние между шинами ( $a$ ) или уменьшить пролет между опорами – изоляторами.

На динамическую стойкость проверяют шины, опорные и проходные изоляторы, трансформаторы тока.

### ***Термическое действие токов короткого замыкания***

Ток КЗ вызывает дополнительный нагрев токоведущих частей и аппаратов. Повышение температуры сверх допустимой снижает прочность изоляции, так как время действия тока КЗ до срабатывания защиты невелико (доли секунды), то согласно ПУЭ допускается кратковременное увеличение температуры токоведущих частей (табл. И.9 прилож. И).

Минимальное термически стойкое сечение :

$$S_{\text{тс}} = \alpha I_{\infty}^{(3)} \sqrt{t_{\text{пр}}},$$

где  $\alpha$  – термический коэффициент, принимается:  $\alpha = 6$  – для меди;  $\alpha = 11$  – для алюминия;  $\alpha = 15$  – для стали;  $I_{\infty}^{(3)}$  – установившийся трехфазный ток КЗ,  $\text{kA}$ ;  $t_{\text{пр}}$  – приведенное время действия тока КЗ,  $\text{с}$  (табл. 11.1).

Таблица 11.1

Значения приведенного времени действия тока КЗ

Параметр	Степень							
	4		3		2		1	
$t_{\text{дс}}$	01	0,2	0,5	1	1,5	2	3	4
$t_{\text{прс}}$	0,1	0,2	0,5	0,9	1,2	1,7	2,5	3,5

Время действия тока КЗ  $t_d$ . (табл. 11.1) имеет две составляющих: время срабатывания защиты  $t_3$  и время отключения и выключения  $t_b$ :

$$t_d = t_3 + t_b.$$

Должно быть выполнено условие термической стойкости:

$$S_{ш} \geq S_{ш.тс.}$$

Примечание. Отсчет ступеней распределения ведется от источника. Если условие не выполняется, то следует уменьшить  $t_d$  (быстродействие защиты).

*Проверка по потере напряжения* производится для характерной линии электроснабжения.

Характерной линией является та, у которой произведение  $K_n \cdot I_n \cdot L$  – наибольшая величина, где  $K_n$  – кратность пускового тока (для линии с электродвигателем) или тока перегрузки (для линии без электродвигателя);  $I_n$  – номинальный ток потребителя, А;  $L$  – расстояние от начала линии до потребителя, м.

При отсутствии данных принимается:

$K_n = 6 \dots 6,5$  для синхронных электродвигателей (СД) и асинхронных с короткозамкнутым ротором;

$K_n = 2 \dots 3$  для АД с фазным ротором и машин постоянного тока.

Примечание. Обычно это линия с наиболее мощным ЭД или наиболее удаленным потребителем.

Для выполнения проверки составляется расчетная схема. В зависимости от способа задания нагрузки применяется один из трех вариантов:

а) по токам участков

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^2}{V_n} I \ell (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi);$$

б) по токам ответвлений

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^2}{V_n} i L (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi);$$

в) по мощностям ответвлений

$$\Delta V = \frac{10^5}{V_n^2} (P r_0 + Q x_0) L;$$

где  $\Delta V$  – потеря напряжения, %;  $V_n$  – номинальное напряжение, В;  $I$  – ток участка, А;  $i$  – ток ответвления, А;  $\ell$  – длина участка, км;  $L$  – расстояние от начала ответвления;  $P$  – активная мощность ответвления, кВт;  $Q$  – реактивная мощность ответвления, квар;  $r_0$ ,  $x_0$  – удельные активное и индуктивное сопротивления, Ом /км.

Данную формулу следует применить для всех участков с различным сечением, а затем сложить результаты.

Должно быть выполнено условие:

$$\Delta V < 10 \% \text{ от } V_{\text{ном}}$$

**Пример 11.1.** Дано: линия электрообеспечения с результатами расчетов аппаратов защиты, проводников и токов КЗ (данные из примера 10.1) представлена на рис. 11.1 а технические данные автоматов и сводная ведомость токов КЗ даны в табл. 11.2–11.5.

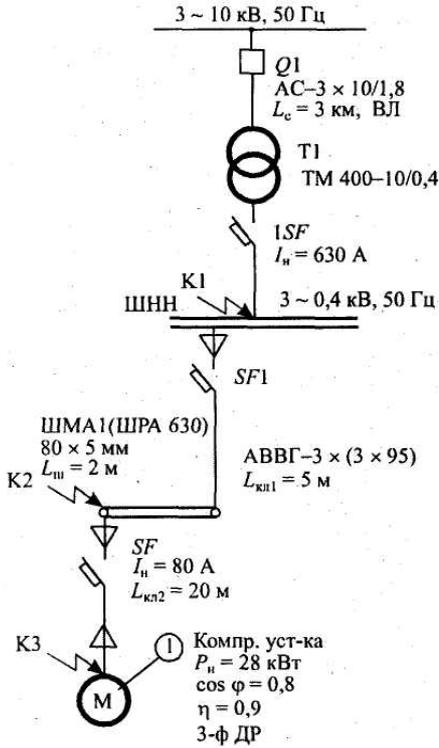


Рис. 11.1. Расчетная схема

Таблица 11.2

Технические характеристики автомата SF1 ВА 55-39-3

$V_{\text{н.а.}}$	$I_{\text{н.а.}}$	$I_{\text{н.р.}}$	$I_{\text{у(п)}}$	$I_{\text{у(кз)}}$	$I_{\text{откл}}$
В	А	А	А	А	кА
380	400	400	$1,25 I_{\text{н.р}}$	$5 \cdot I_{\text{н.р}}$	25кА

Таблица 11.3

Технические характеристики автомата SF ВА 58-31-3

$V_{\text{н.а.}}$	$I_{\text{н.а.}}$	$I_{\text{н.р.}}$	$I_{\text{у(п)}}$	$I_{\text{у(кз)}}$	$I_{\text{откл}}$
В	А	А	А	А	кА
380	100	80	$1,25 I_{\text{н.р}}$	$7 \cdot I_{\text{н.р}}$	25кА

Таблица 11.4

Технические характеристики автомата SF1 ВА 55-39-3

$V_{\text{н.а.}}$	$I_{\text{н.а.}}$	$I_{\text{н.р.}}$	$I_{\text{у(п)}}$	$I_{\text{у(кз)}}$	$I_{\text{откл}}$
В	А	А	А	А	кА
380	630	630	$1,25 I_{\text{н.р}}$	$2 \cdot I_{\text{н.р}}$	25кА

Шины установлены плашмя:  $b = 5 \text{ мм}$ ,  $h = 80 \text{ мм}$ ,  $a = 100 \text{ мм}$ ,

Таблица 11.5

*Сводная ведомость токов КЗ*

Точка КЗ	$I_K^{(3)}$ , кА	$I_y$ , кА	$I_\infty^{(3)}$ , кА	$I_K^{(2)}$ , кА	$I_K^{(1)}$ , кА
К1	5,6	7,9	5,6	4,9	2,9
К2	3,6	5,1	3,6	3,1	2,2
К3	2,8	4,0	2,8	2,4	1,7

*Требуется проверить:*

- аппарат защиты по токам КЗ;
- проводники по токам КЗ;
- линию электроснабжения по потере напряжения.

Решение:

1. Согласно условиям по токам КЗ, аппараты защиты проверяются:

- на надежность срабатывания:

$$\text{ISF: } I_{K1}^{(1)} > 3I_{н.р(\text{ISF})}; 2,9 > 3 \cdot 0,63 \text{ кА};$$

$$\text{SF1 } I_{K2}^{(1)} > 3I_{н.р(\text{SF1})}; 2,2 > 3 \cdot 0,4 \text{ кА};$$

$$\text{SF: } I_{K3}^{(1)} > 3I_{н.р(\text{SF1})}; 1,7 > 3 \cdot 0,08 \text{ кА}.$$

Надежность срабатывания автоматов обеспечена:

- на отключающую способность:

$$1\text{SF: } I_{откл(1\text{SF})} \geq \sqrt{2}I_{K1\infty}^{(3)}; 25 > 1,41 \cdot 5,6;$$

$$\text{SF1: } I_{откл(\text{SF1})} \geq \sqrt{2}I_{K2\infty}^{(3)}; 25 > 1,41 \cdot 3,6;$$

$$\text{SF: } I_{откл(\text{SF})} \geq \sqrt{2}I_{K2\infty}^{(3)}; 25 > 1,41 \cdot 2,8.$$

- на отстройку от пусковых токов; учтено при выборе  $K_0$  для  $I_{y(кз)}$  каждого автомата:

$$I_{y(кз)} > I_n \text{ (для ЭД);}$$

$$I_{y(кз)} > I_{пик} \text{ (для РУ).}$$

2. Согласно условиям проводники проверяются:

- на термическую стойкость:

$$\text{КЛ (ШНН–ШМА): } S_{КЛ1} \geq S_{КЛ1-тс}; 3 \times 95 > 74,1 \text{ мм}^2;$$

$$S_{КЛ1-тс} = \alpha I_{K2\infty}^{(3)} \sqrt{t_{пр(1)}} = 11 \cdot 3,6 \cdot \sqrt{3,5} = 74,1 \text{ мм}^2.$$

$$\text{По табл. 11.1 } t_{пр(1)} = 3,5 \text{ с.}$$

$$\text{КЛ (ШМА– компрессорная установка): } S_{КЛ2} > S_{КЛ2-тс} 50 > 40,2 \text{ мм}^2:$$

$$S_{КЛ2-тс} = \alpha I_{K3\infty}^{(3)} \sqrt{t_{пр(II)}} = 11 \cdot 2,8 \cdot \sqrt{1,7} = 40,2 \text{ мм}^2.$$

$$\text{По табл. 11.1 } t_{пр(II)} = 1,7 \text{ с.}$$

По термической стойкости кабельные линии удовлетворяют.

При выборе сечения проводника учтено условие:

$$I_{доп} \geq K_{зщ} \cdot I_{y(n)}.$$

- 3. Согласно условиям шинопровод проверяется на динамическую стойкость:

$$\sigma_{ш.доп} \geq \sigma_{ш}.$$

Для алюминиевых шин  $\sigma_{\text{доп}} = 7 \cdot 10^3 \text{ Н / см}^2$ .

$$\sigma_{\text{ш}} = \frac{M_{\text{max}}}{W} = \frac{5150}{5,3} = 972 \text{ Н/см}^2.$$

$$M_{\text{max}} = 0,125 \cdot F_M^{(3)} \ell = 0,125 \cdot 137,3 \cdot 3 \cdot 10^2 = 5150 \text{ Н} \cdot \text{см};$$

так как  $L_{\text{ш}} = 2 \text{ м}$ , то достаточно иметь один пролет  $\ell = 3 \text{ м}$ .

$$F_M^{(3)} = 0,176 \frac{\ell}{\alpha} i_{y.k2}^2 = 0,176 \frac{3 \cdot 10^2}{10} \cdot 5,1^2 = 137,3 \text{ Н}.$$

Принимается установка шин плашмя с  $a = 100 \text{ мм}$  (рис. 11.2).

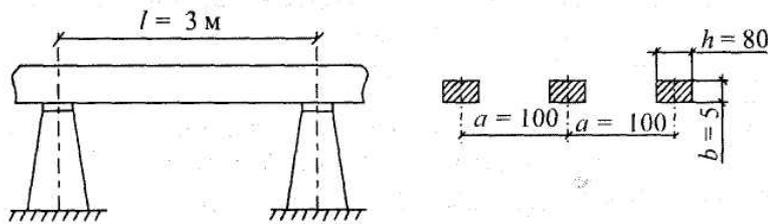


Рис. 11.2. Установка шин на опорах

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{5 \cdot 10^{-1} (80 \cdot 10^{-1})^2}{6} = 5,3 \text{ см}^3.$$

$$\sigma_{\text{ш. доп}} \geq \sigma_{\text{ш.}}; \quad 7 \cdot 10^3 \geq 0,972 \cdot 10^3; \quad S_{\text{ш}} = bh = 5 \cdot 80 = 400 \text{ мм}^2;$$

Шинопровод проверяется на термическую стойкость.

$$S_{\text{ш. тс.}} = \alpha I_{K2\infty}^{(3)} \sqrt{t_{\text{пр}}} = 11 \cdot 3,6 \cdot \sqrt{3,5} = 74,1 \text{ мм}^2;$$

$$S_{\text{ш}} \geq S_{\text{ш. тс.}}; \quad 400 \text{ мм}^2 \geq 74,1 \text{ мм}^2.$$

Шинопровод термически устойчив, следовательно, он выдержит кратковременно нагрев при КЗ до  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ .

4. По потере напряжения линия ЭСН должна удовлетворять условию:

$$\Delta V \leq 0,1 V_n.$$

Составляется расчетная схема для потерь напряжения (рис. 11.3) и наносятся необходимые данные.

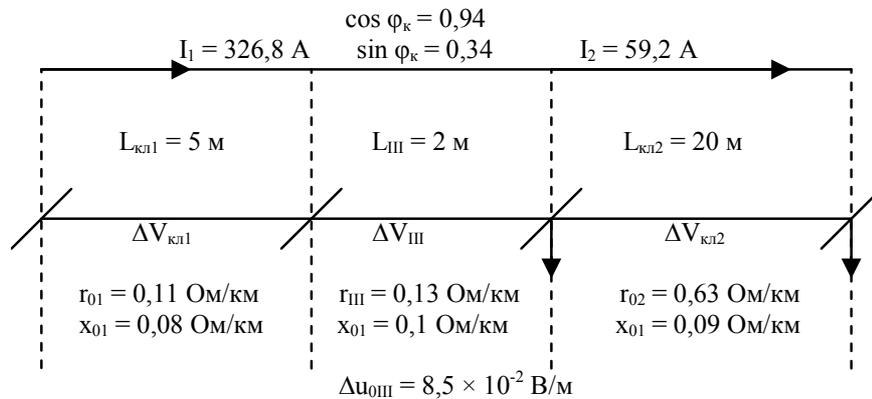


Рис. 11.3. Расчетная схема потерь напряжения

Так как токи участков известны, то наиболее целесообразно выбрать вариант расчета  $\Delta V$  по токам участков.

$$\begin{aligned} \Delta V_{\text{кп1}} &= \frac{\sqrt{3} \cdot 10^2}{V_n} I_1 L_{\text{кп1}} (r_{01} \cos \varphi_k + x_{01} \sin \varphi_k) = \\ &= \frac{1,73 \cdot 10^2}{380} \cdot 326,8 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot (0,11 \cdot 0,94 + 0,08 \cdot 0,34) = 0,1 \% ; \\ \Delta V_{\text{ш}} &= \frac{\sqrt{3} \cdot 10^2}{V_n} I_1 L_{\text{ш}} (r_{0ш} \cos \varphi_k + x_{0ш} \sin \varphi_k) = \\ &= \frac{1,73 \cdot 10^2}{380} \cdot 326,8 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot (0,13 \cdot 0,94 + 0,1 \cdot 0,34) = 0,05 \% . \end{aligned}$$

Потери напряжения на участке 2 можно определить и по удельным потерям в шинопроводе:

$$\Delta V_{\text{ш}} = \Delta U_{0ш} \cdot L_{\text{ш}} = 8,5 \cdot 10^{-2} \cdot 2 = 17 \cdot 10^{-2} \text{ В}.$$

Потери напряжения на участке 3 (рис. 11.3):

$$\begin{aligned} \Delta V_{\text{кп2}} &= \frac{\sqrt{3}}{V_n} I_2 L_{\text{кп2}} (r_{02} \cos \varphi_k + x_{02} \sin \varphi_k) \cdot 100 \% . \\ \Delta V_{\text{кп2}} &= \frac{1,73 \cdot 10^2}{380} \cdot 59,2 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot (0,63 \cdot 0,94 + 0,09 \cdot 0,34) = 0,3 \% . \end{aligned}$$

Суммарные потери напряжения составят:

$$\begin{aligned} \Delta V &= \Delta V_{\text{кп1}} + \Delta V_{\text{ш}} + \Delta V_{\text{кп2}} = 0,1 + 0,05 + 0,3 = 0,45 \% . \\ \Delta V &\leq \Delta V_{\text{доп}} = 0,45 \% < 10 \% . \end{aligned}$$

Выполненные проверки элементов электроснабжения показали их пригодность для всех режимов работы.

**Самостоятельная работа студента**

### Задание

1. Проверить аппараты защиты и проводники по токам короткого замыкания.

2. Проверить линию электроснабжения.

Данные взять из примера 8.1 практического занятия № 8, а токи короткого замыкания – из задания № 9.1.

### Содержание отчета

1. Расчеты оформить в тетради для практических занятий.

2. Ответить на контрольные вопросы.

### Контрольные вопросы

1. Условия проверки аппаратов защиты.

2. Условия выбора кабелей.

3. Условия выбора шин и изоляторов.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

### *Определение количества и мощности трансформаторов*

*Цель занятия:* изучить методы определения мощности трансформаторов.

На занятие отводится четыре часа.

### Пояснения к работе

Правильный выбор числа и мощности трансформаторов на подстанции промышленного предприятия является одним из основных вопросов рационального построения системы электроснабжения.

#### ***Выбор трансформаторов на главной понизительной подстанции(ГПП):***

При преобладании на предприятии нагрузок первой и второй категории надежности главная понизительная подстанция выполняется двухтрансформаторной. Мощность трансформаторов выбирается такой, чтобы при выходе из работы одного из них, второй воспринял основную нагрузку подстанции с учетом допустимой перегрузки в послеаварийном режиме до 60–70 % на время максимума и возможного временного отключения потребителей 3 категории.

Мощность трансформаторов ГПП можно определять по заданному суточному графику нагрузки за характерные сутки года для нормальных и аварийных режимов, с учётом компенсации реактивной мощности.

Для этого по суточному графику нагрузки потребителя устанавливают продолжительность максимальной нагрузки  $t$  и коэффициент заполнения графика  $K_{зг}$ .

$$K_{зг} = S_{ср} / S_{max},$$

где  $S_{\text{ср}}$ ,  $S_{\text{max}}$  – средняя и максимальная нагрузки трансформаторов.

По значениям коэффициента загрузки  $K_{зг}$  и продолжительности  $t$  максимальной активной нагрузки определяется коэффициент кратности допустимой нагрузки трансформаторов  $K_{н}$  (рис. 12.1).

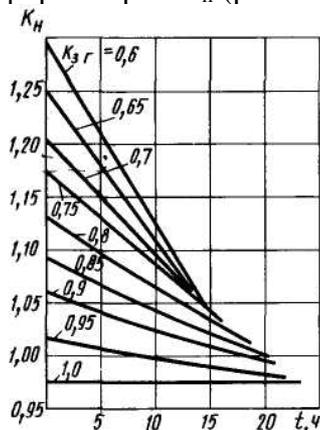


Рис. 12.1. Кривые кратности допустимых нагрузок трансформатора  
Номинальная мощность трансформатора определяется по формуле:

$$S_{\text{ном. тр.}} = \frac{S_{\text{max}}}{K_{н}} = \frac{P_{\text{см}}}{N \cdot \cos \phi \cdot K_{н}},$$

где  $S_{\text{max}}$  – максимальная расчетная мощность предприятия;  $N$  – количество трансформаторов на ГПП.

Трансформатор выбирается по шкале стандартных мощностей: 100, 160, 250, 400, 630, 1000, 1600, 2500 кВА.

Установленную мощность трансформатора проверяют в аварийном режиме при выводе одного трансформатора в ремонт. При длительных перегрузках до 6 часов в сутки допускается перегрузка на 40 % сверх номинального тока в течение не более 5 суток.

$$1,4 \cdot S_{\text{ном.тр}} \geq \frac{S\%_{\text{потр. I и II кат}}}{100\%} \cdot S_{\text{max}},$$

где  $S\%_{\text{потр. I, II кат}}$  – процентное содержание нагрузки I и II категории надежности.

**Пример 12.1.** Максимальная нагрузка на шинах 110/10кВ ГПП составляет  $S_{\text{max}} = 20$  МВА при времени максимума  $t = 2$  ч. Среднесуточная нагрузка  $S_{\text{ср}} = 15$  МВА. Потребители I и II категории составляют 75 % от максимальной нагрузки. Требуется выбрать число и мощность трансформаторов ГПП.

Решение. Так как на предприятии имеются потребители I и II категории, то на ГПП устанавливаются два трансформатора. Коэффициент заполнения графика составит:

$$K_{зг} = S_{\text{ср}} / S_{\text{max}} = 15 / 20 = 0,75.$$

По величинам  $K_{зг} = 0,75$  и  $t = 2$  ч. Находим коэффициент допустимой нагрузки трансформатора  $K_n = 1,16$  (рис. 12.1).

Номинальная мощность трансформатора составит:

$$S_{\text{ном. тр.}} = \frac{S_{\text{max}}}{K_n} = 20 / 1,16 = 17 \text{ МВА.}$$

К установке принимаем два трансформатора по 16 МВА. Коэффициент нагрузки в нормальном режиме при максимуме составит:

$K_{зг} = S_{\text{max}} / 2 S_{\text{ном}} = 20 / 2 \cdot 16 = 0,63$ , что соответствует экономическому режиму.

Проверяем установленную мощность трансформатора в аварийном режиме при отключении одного трансформатора:

$$1,4 \cdot S_{\text{ном. тр.}} = 1,4 \cdot 16 = 22500 > 0,75 \cdot S_{\text{max}} = 0,75 \cdot 20 = 15 \text{ МВА.}$$

Следовательно выбранные мощности трансформаторов обеспечивают электроснабжение предприятия как в нормальном, так и в аварийном режимах.

### **Выбор мощности трансформаторов цеховых подстанций**

Ориентировочно выбор единичной мощности трансформаторов цеховых подстанций может производиться по удельной плотности нагрузки и полной расчетной нагрузке объекта. При удельной плотности более  $0,2-0,3$  кВ А/ м<sup>2</sup> и суммарной нагрузке более 3000–4000 кВА целесообразно применять цеховые трансформаторы мощностью соответственно 1600, 2500 кВА. При удельной плотности и суммарной нагрузке ниже указанных значений наиболее экономичны трансформаторы мощностью 400–1000 кВА. Прежде чем определить число цеховых трансформаторов, необходимо выбрать тип, единичную мощность и коэффициент загрузки трансформатора.

Число цеховых трансформаторов N:

$$N = S_p / S_{\text{ном}} \cdot K_3,$$

где  $S_p$  – полная расчетная мощность потребителей;  $K_3$  – коэффициент загрузки трансформаторов.

$K_3 = 0,65 \div 0,7$  – при преобладании нагрузок первой категории для двух трансформаторных ТП.

$K_3 = 0,7 \div 0,8$  – при преобладании нагрузок второй категории для однотрансформаторных подстанций в случае взаимного резервирования трансформаторов на низшем напряжении.

$K_3 = 0,9 \div 0,95$  – при преобладании нагрузок второй категории и наличии централизованного резерва трансформаторов и при нагрузке третьей категории.

$K_3 = 0,5 \div 0,55$  – на ступенях высшего напряжения и СЭС (ГПП, УРП).

На двух трансформаторных подстанциях дополнительно проверяется перегрузка трансформаторов в аварийном режиме.

Выбор мощности однострансформаторных ТП производится по средней нагрузке:

$$S_{\text{ном}} \geq S_{\text{ср.}}$$

С проверкой перегрузочной способности трансформатора в часы максимальной нагрузки:

$$S_p \leq K_n \cdot S_{\text{ном.}}$$

$K_n$  определяют по кривым кратностей дополнительных перегрузок с использованием коэффициента загрузки, полученного для ГПП, а продолжительность максимальной нагрузки  $t$  берем по суточному графику.

Прежде чем определить количество цеховых трансформаторов, необходимо выбрать тип, единичную мощность  $S_{\text{ном.т}}$  и  $K_{з.т}$ .

Количество трансформаторов в целом по предприятию зависит от степени компенсации реактивной мощности в сетях напряжением до 1 кВ и допустимых перегрузок нормальных и аварийных режимов.

Количество трансформаторов при практически полной компенсации реактивной мощности в сети до 1кВ:

$$N_{\text{min}} = \frac{P_{\text{расч}\Sigma\text{нн}}}{K_{з.т} \cdot S_{\text{ном.т}}}$$

Количество трансформаторов при отсутствии компенсации в сети до 1 кВ  $N_{\text{max}}$

$$N_{\text{max}} = \frac{S_{\text{расч}\Sigma\text{нн}}}{K_{з.т} \cdot S_{\text{ном.т}}}$$

Далее необходимо сравнить варианты количества трансформаторов:

$$N_{\text{min}}; N_{\text{min}} + \Delta N_{\text{т}}; N_{\text{max}};$$
$$(\Delta N_{\text{т}} = 1,2 \cdot (N_{\text{max}} - N_{\text{min}})).$$

Оптимальный вариант выбирается на основании технико-экономических расчетов.

При окончательном выборе количества цеховых трансформаторов в целом по заводу принимаются во внимание следующие основания: обеспечение требования надежности электроснабжения; длина кабельных линий напряжением до 1 кВ не должна превышать 200 м; учет взаимного расположения трансформаторов и питающих линий напряжением 6–10 кВт на генеральном плане предприятия. В сетях напряжением 6–10 кВ с трансформацией на напряжение до 1 кВ преимущественно рекомендуется использование однострансформаторных подстанций при преобладании нагрузок III и II категории и при нагрузках I категории надежности, если их величина составляет не более 15–20 % нагрузки подстанции. Взаимное ре-

зервирование схем с одноторансформаторными подстанциями осуществляется при помощи перемычек на напряжение до 1 кВ.

Двухтрансформаторные ТП с установкой секционного выключателя с АВР на напряжение до 1 кВ рекомендуется применять при преобладании нагрузок I и II категории, при сосредоточенных нагрузках с высокой удельной плотностью ( $0,5-0,7$  кВА/м<sup>2</sup>) и если имеются электроприемники особой группы (компрессоры, вентиляторы). Двухтрансформаторные подстанции также целесообразны при неравномерном суточном и годовом графиках нагрузки. В случаях режимов минимальных нагрузок целесообразно отключать один трансформатор, что определяется условиями оплаты за электроэнергию по двухставочному тарифу.

### Самостоятельная работа студента

#### Задание 12.1

Выбрать число и мощность трансформаторов на ГПП напряжением 110/10 кВ. Исходные данные представлены в табл. 12.1.

Таблица 12.1

№ вари- анта	$S_{\max}$ , МВА	Исходные данные		%, I и II кат.
		$S_{\text{ср}}$ , МВА	T, ч	
1	25	20	2	70
2	32	28	2	65
3	28	22	3	68
4	31	26	4	77
5	42	37	4	80
6	18	12	5	85
7	19	14	5	75
8	22	18	2	70
9	17	11	2	82
10	23	18	3	87

#### Содержание отчета

1. Исходные данные.
2. Расчетные данные.
3. Заключение.
4. Ответы на контрольные вопросы.

#### Контрольные вопросы

1. Какие существуют методы выбора номинальной мощности трансформатора ГПП?
2. От чего зависит количество трансформаторов на цеховых ТП?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

### Определение места расположения трансформаторных подстанций

*Цель занятия:* научиться правильно определять месторасположение цеховых ТП, определять центр электрических нагрузок.

На занятие отводится два часа.

#### Пояснение к работе

Определить местоположение главной понизительной подстанции – значит найти координаты центра электрических нагрузок.

Важно, чтобы подстанция находилась возможно ближе к центру питаемых от нее нагрузок. При одинаковой расчетной нагрузке, но различном числе часов работы подразделений завода подстанция должна быть ближе к группе потребителей с большим коэффициентом использования. Допускается смещение подстанции от геометрического центра питаемых ею нагрузок в сторону ввода питания от энергосистемы.

Сначала на генеральном плане строятся оси координат  $X$  и  $Y$  и наносятся центры электрических нагрузок каждого цеха, которые совпадают с геометрическим центром зданий.

С учетом размеров территории генплана выбирается масштаб нагрузок, ориентируясь на наибольшую и наименьшую нагрузки.

$$m_a = P_{н.м} / \pi R_{н.м}^2,$$

$$m_a = P_{н.б} / \pi R_{н.б}^2,$$

$$m_p = Q_{н.м} / \pi R_{н.м}^2,$$

$$m_p = Q_{н.б} / \pi R_{н.б}^2,$$

где  $m$  – масштаб активных и реактивных нагрузок, кВт/мм<sup>2</sup> или квар/ м<sup>2</sup>;  $P_{н.м}$ ,  $Q_{н.м}$  – наименьшая мощность цеха, кВт или квар;  $R_{н.м}$  – наименьший визуально воспринимаемый радиус картограммы нагрузки, мм;  $P_{н.б}$  – цех с наибольшей активной нагрузкой.

Масштаб округляется и принимается как для активных, так и для реактивных нагрузок.

Определяются радиусы окружности  $r_{ia}$  активных и  $r_{ip}$  реактивных нагрузок всех цехов для построения картограммы нагрузок:

$$R_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi \cdot m}},$$

$$R_i = \sqrt{\frac{Q_i}{\pi \cdot m}},$$

где  $P_i$  – расчетная активная нагрузка  $i$ -го – цеха кВт;  $Q_i$  – расчетная реактивная нагрузка  $i$ -го – цеха, квар;

$$R_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi \cdot m}},$$

где  $m$  – масштаб для картограммы, кВт/мм<sup>2</sup>.



требования пожарной и электрической безопасности и типы используемого оборудования.

ТП следует размещать как можно ближе к центру электрических нагрузок потребителей. Для этого должны применяться встроенные в здания цеха или пристроенные к нему ТП, питающие отдельные цеха или их части. ТП размещаются вне цеха только при невозможности размещения внутри его или при расположении части нагрузок вне цеха.

Выбранная подстанция должна занимать минимум полезной площади цеха, удовлетворять требованиям пожарной и электрической безопасности и не создавать помех производственным процессам. Встроенные и пристроенные подстанции располагаются вдоль одной из длинных сторон цеха или в шахматном порядке вдоль двух его сторон при небольшой ширине цеха. Допускается минимальное расстояние 10 м между соседними камерами разных внутрицеховых подстанций, а также между КТП.

Минимальные габариты размещения КТП в длину:

однотрансформаторные до 1000 кВА	7–8 м
1600–2500 кВА	8–9 м
двухтрансформаторные до 1000 кВА	12–13 м
1600 кВА	16,5 м

Ширина для всех КТП не менее 4,3 м.

Внутрицеховые подстанции могут размещаться только в зданиях со степенью огнестойкости 1 и 11 и с производствами, отнесенными к категориям Г и Д согласно противопожарным нормам. Следует учитывать, что при установке в одном помещении нескольких трансформаторов, их предельная суммарная мощность не должна превышать **6500 кВА**, а число КТП должно быть не более **трех**.

Отдельно стоящие ТП применяются, например, при питании от одной подстанции нескольких цехов, невозможности размещения подстанции внутри цехов или у их наружных стен по соображениям производственного и архитектурного характера, при наличии в цехах пожароопасных или взрывоопасных производств.

Распределительные подстанции также рекомендуется пристраивать или встраивать в производственные здания и совмещать с ближайшими ТП во всех случаях, когда это не вызывает значительного смещения последних от центра их нагрузок.

Конденсаторные батареи могут размещаться в распределительном пункте до 1 кВ и выше.

*Пример 13.1. Дано: генплан завода размером 3 × 2 км с силовыми нагрузками цехов. Координаты цехов и их силовая нагрузка представлены в табл. 13.1.*

Таблица 13.1

## Исходные данные

Параметр	Номер цеха				
	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Ц5
P, кВт	100	160	1000	400	25
X, км	0,6	1,45	2,4	1,55	0,4
Y, км	1,45	1,25	0,9	0,55	0,4
cosφ	0,7	0,75	0,9	0,8	0,6

Требуется:

- определить координаты центра активных и реактивных нагрузок;
- нанести данные на генплан.

Решение. Примем масштаб генплана  $m = 0,2$  км / см. На генплан наносятся центры электрических нагрузок каждого цеха согласно исходным данным.

Исходя из масштаба генплана определяются радиусы кругов активных и реактивных нагрузок цехов.

Для наименьшей нагрузки (Ц5) принимается радиус  $R = 0,1$  км, тогда:

$$m_a = 25 / 3,14 \times 0,1^2 = 796 \text{ кВт/ км}^2,$$

принимается  $m_a = 800$  кВт/ км<sup>2</sup>.

Определяется радиус для наибольшей нагрузки (Ц3) при принятом масштабе кВт/ км<sup>2</sup>.

$$R_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{1000}{3,14 \cdot 800}} = 0,63 \text{ км.}$$

Определяются радиусы кругов остальных нагрузок, результаты расчетов заносятся в табл. 13.2.

Определяются реактивные нагрузки каждого цеха из соотношения:

$$Q_i = P_i \operatorname{tg} \varphi.$$

Определяются радиусы кругов для реактивных нагрузок при том же масштабе, а результаты заносятся в табл. 13.2

Нагрузки наносятся кругами на генплан: активные – сплошной линией, реактивные – пунктирной.

Определяются координаты центра активной электрической нагрузки:

$$x_{0a} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{100 \cdot 0,6 + 160 \cdot 1,45 + 1000 \cdot 2,4 + 400 \cdot 1,55 + 25 \cdot 0,4}{100 + 160 + 1000 + 400 + 25} = 2 \text{ км.}$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{100 \cdot 1,45 + 160 \cdot 1,25 + 1000 \cdot 0,9 + 400 \cdot 0,55 + 25 \cdot 0,4}{100 + 160 + 1000 + 400 + 25} = 0,88 \text{ км.}$$

Вблизи точки А (2,0; 0,88) устанавливается ГПП.

Аналогично находятся координаты центра реактивной мощности и место установки конденсаторной батареи. Точка В имеет координаты (2,3; 0,83).

Таблица 13.2

Сводная ведомость нагрузок цеха

Параметр	Номер цеха				
	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Ц5
P, кВт	100	160	1000	400	25
R <sub>p</sub> , км	0,2	0,25	0,63	0,4	0,1
cosφ	0,7	0,75	0,9	0,8	0,6
tgφ	1,02	0,88	0,48	0,75	1,33
Q, квар	102	141	480	300	33
R <sub>p</sub> , км	0,22	0,24	0,44	0,35	0,11

### Самостоятельная работа студента

#### Задание 13.1

Определить место установки ГПП. Исходные данные для расчета представлены в табл.13.3.

Таблица 13.3

Варианты задания

Вариант	Ц1		Ц2		Ц3		Ц4		Ц5	
	P <sub>1</sub> , кВт	cosφ <sub>1</sub>	P <sub>2</sub> , кВт	cosφ <sub>2</sub>	P <sub>3</sub> , кВт	cosφ <sub>3</sub>	P <sub>4</sub> , кВт	cosφ <sub>4</sub>	P <sub>5</sub> , кВт	cosφ <sub>5</sub>
	(X <sub>1</sub> ; Y <sub>1</sub> )		(X <sub>2</sub> ; Y <sub>2</sub> )		(X <sub>3</sub> ; Y <sub>3</sub> )		(X <sub>4</sub> ; Y <sub>4</sub> )		(X <sub>5</sub> ; Y <sub>5</sub> )	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	25	0,7	40	0,75	63	0,8	100	0,85	160	0,9
	0,4; 0,4		0,5; 1,4		1,5; 1,2		2,4; 1,0		1,5; 0,5	
2	160	0,7	100	0,75	63	0,8	40	0,85	25	0,9
	0,5; 0,5		0,5; 1,2		1,6; 1,3		2,5; 1,2		1,6; 1,7	
3	100	0,85	25	0,7	40	0,75	64	0,8	160	0,9
	0,5; 1,5		1,5; 1,2		2,6; 1,0		1,6; 0,7		0,5; 0,5	
4	40	0,75	63	0,8	100	0,85	160	0,9	25	0,7
	0,5; 1,4		1,4; 1,5		2,7; 1,2		1,8; 0,8		0,6; 0,7	
5	63	0,8	100	0,85	160	0,9	25	0,7	40	0,75

	0,4; 0,9		1,2; 1,6		2,6; 1,3		1,8; 0,6		0,7; 0,9	
6	250	0,72	100	0,8	400	0,9	630	0,85	1000	0,83
	0,7; 1,0		1,5; 1,8		1,6; 0,8		1,9; 2,0		0,5; 2,0	
7	100	0,8	400	0,9	630	0,85	1000	0,83	250	0,72
	0,5; 0,5		0,6; 1,6		1,5; 0,5		1,7; 1,2		2,6; 1,0	
8	400	0,9	630	0,85	1000	0,83	250	0,72	100	0,8
	0,4; 0,6		0,6; 1,5		1,5; 0,6		1,8; 1,3		2,5; 1,2	

Продолж. табл. 13.3

Вариант	Ц1		Ц2		Ц3		Ц4		Ц5	
	$P_1, \text{кВт}$	$\cos\varphi_1$	$P_2, \text{кВт}$	$\cos\varphi_2$	$P_3, \text{кВт}$	$\cos\varphi_3$	$P_4, \text{кВт}$	$\cos\varphi_4$	$P_5, \text{кВт}$	$\cos\varphi_5$
	$(X_1; Y_1)$		$(X_2; Y_2)$		$(X_3; Y_3)$		$(X_4; Y_4)$		$(X_5; Y_5)$	
9	630	0,85	1000	0,83	250	0,72	100	0,8	400	0,9
	0,6; 0,7		0,6; 1,2		1,6; 0,7		1,8; 1,4		2,4; 1,5	
10	1000	0,83	250	0,72	100	0,8	630	0,9	400	0,85
	0,7; 0,8		0,6; 1,4		1,6; 0,6		1,7; 1,5		2,5; 1,4	
11	160	0,85	100	0,7	25	0,75	40	0,8	63	0,9
	0,6; 0,5		0,6; 1,2		1,5; 0,4		1,5; 1,2		2,6; 0,6	
12	100	0,7	63	0,9	25	0,75	40	0,8	160	0,85
	0,5; 0,6		0,5; 1,4		1,3; 0,5		1,3; 1,4		2,7; 0,8	
13	63	0,9	40	0,8	25	0,75	160	0,85	100	0,7
	0,4; 0,5		0,4; 1,5		0,4; 0,6		1,4; 1,3		2,5; 1,0	
14	40	0,8	25	0,7	160	0,85	100	0,7	63	0,9
	0,5; 0,4		0,5; 1,6		1,2; 0,7		1,2; 1,5		2,4; 1,2	
15	25	0,75	160	0,85	100	0,7	63	0,9	40	0,8
	0,4; 0,6		0,4; 1,5		1,6; 0,5		1,6; 1,6		2,5; 1,5	
16	1000	0,7	630	0,75	400	0,8	100	0,85	250 2,5; 0,5	0,9
	0,6; 0,3		0,5; 1,5		1,5; 1,2		1,4; 0,4			
17	630	0,7	400	0,75	100	0,8	250	0,85	160	0,9
	0,5; 0,4		0,5; 1,5		1,5; 1,3		1,4; 0,5		2,5; 0,8	
18	400	0,75	100	0,8	250	0,85	160	0,9	1000	0,7
	0,4; 0,5		0,5; 1,5		1,5; 1,4		1,4; 0,6		2,5; 1,0	
19	100	0,8	250	0,85	160	0,9	1000	0,7	630	0,75
	0,7; 0,4		0,5; 1,5		1,5; 1,2		1,4; 0,5		2,5; 1,2	
20	250	0,85	160	0,9	1000	0,7	630	0,75	400	0,8

	0,5; 0,6		0,5; 1,6		1,5; 1,2		1,4; 0,4		2,5; 1,6	
21	630	0,7	1000	0,8	400	0,9	250	0,75	160	0,85
	0,7; 0,7		0,5; 1,6		1,4; 1,2		1,2; 0,4		2,7; 0,4	
22	400	0,7	1000	0,8	250	0,9	160	0,75	630	0,85
	0,6; 0,6		0,5; 1,5		1,4; 1,3		1,2; 0,5		2,7; 0,6	
23	100	0,7	1000	0,9	630	0,8	250	0,85	160	0,75
	0,3; 0,3		0,5; 1,4		1,4; 1,4		1,2; 0,6		2,7; 0,8	

Окончание табл. 13.3

Вариант	Ц1		Ц2		Ц3		Ц4		Ц5	
	P <sub>1</sub> , кВт	cosφ <sub>1</sub>	P <sub>2</sub> , кВт	cosφ <sub>2</sub>	P <sub>3</sub> , кВт	cosφ <sub>3</sub>	P <sub>4</sub> , кВт	cosφ <sub>4</sub>	P <sub>5</sub> , кВт	cosφ <sub>5</sub>
	(X <sub>1</sub> ; Y <sub>1</sub> )		(X <sub>2</sub> ; Y <sub>2</sub> )		(X <sub>3</sub> ; Y <sub>3</sub> )		(X <sub>4</sub> ; Y <sub>4</sub> )		(X <sub>5</sub> ; Y <sub>5</sub> )	
24	250	0,8	1000	0,7	160	0,9	400	0,75	630	0,85
	0,4; 0,4		0,5; 1,5		1,4; 1,5		1,2; 0,7		2,7; 1,0	
25	160	0,75	1000	0,8	630	0,85	100	0,9	250	0,7
	0,5; 0,5		0,5; 1,2		1,4; 1,6		1,2; 0,5		2,7; 1,2	
26	100	0,6	630	0,8	400	0,85	25	0,7	1000	0,9
	0,3; 0,3		0,4; 1,0		1,2; 1,4		1,6; 0,4		2,8; 0,6	
27	250	0,8	630	0,8	400	0,75	40	0,6	1000	0,85
	0,4; 0,4		0,4; 1,1		1,2; 1,5		1,6; 0,5		2,8; 0,8	
28	25	0,6	400	0,7	630	0,8	63	0,75	1000	0,9
	0,3; 0,3		0,4; 1,2		1,2; 1,6		1,6; 0,3		2,8; 1,0	
29	40	0,7	400	0,8	630	0,9	63	0,6	1000	0,85
	0,4; 0,4		0,4; 1,3		1,2; 1,7		1,6; 0,5		2,8; 1,2	
30	63	0,7	1000	0,8	220	0,7	40	0,75	630	0,9
	0,5; 0,4		0,4; 1,5		1,2; 1,8		1,6; 0,5		2,8; 1,6	

### Содержание отчета

1. Исходные данные.
2. Расчетные данные.
3. Заключение.
4. Ответы на контрольные вопросы.

### Контрольные вопросы

1. Чем обуславливается местоположение ГПП и цеховых ТП?
2. Что представляет собой картограмма нагрузок?



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

### *Расчет нагрузки осветительной сети*

*Цель занятия:* изучить основные методы расчета нагрузки осветительных сетей, научиться рассчитывать нагрузку электрического освещения методом удельной мощности.

На занятие отводится два часа.

#### **Пояснение к работе**

В качестве источников электрического света на промышленном предприятии используются газоразрядные лампы и лампы накаливания.

Лампы накаливания на предприятиях в основном используются в качестве аварийного освещения, которое служит для временного продолжения работы при внезапном отключении рабочего освещения.

Газоразрядные лампы на предприятии используются как основные источники света, обеспечивая нормальную работу производства.

Основные методы расчета осветительных установок:

- метод коэффициента использования светового потока;
- точечный метод;
- комбинированный метод;
- метод расчета по удельной мощности.

*Определим расчетную осветительную нагрузку методом удельной плотности на 1 м<sup>2</sup> производственной площади.*

Этот метод носит оценочный характер. Номинальная мощность осветительных приемников цеха  $P_{н.осв.}$  (кВт) определяется по формуле:

$$P_{н.осв.} = P_{уд.осв.} \cdot F,$$

где  $P_{уд.осв.}$  – удельная нагрузка осветительных приемников (ламп) кВт, лежит в пределах 8–25 Вт / м<sup>2</sup>; значения удельной мощности электрического освещения различных цехов представлены в табл. 14.1;  $F$  – площадь пола цеха, определяемая по генплану, м<sup>2</sup>.

*Таблица 14.1*

*Значения удельной мощности электрического освещения*

Объект или цех	$P_{уд.осв.}$ , Вт / м <sup>2</sup>	$P_{авар}$ в % от $P_{общ.}$
Механические или механо-сборочные	9–11	6
Термические	8–9	6
Кузнечно-прессовые	10–12	10
Деревообрабатывающие	13–14	6
Литейные	10–11	10
Насосные и компрессор-	8–9	10

Главные склады	материальные	7	5
Котельные		8–9	10
Склады		5–6	5
Бытовые помещения		12	10
Заводоуправление		15	10
Территория		0,12	1–2

Примечание. Удельная установленная мощность дана при освещении лампами накаливания. При применении люминесцентных ламп в механических и сборочных цехах удельная мощность может быть увеличена на 60–75 %.

Активная расчетная нагрузка осветительных приемников цеха определяется по удельной нагрузке и коэффициенту спроса:

$$P_{o,p} = K_{c,o} \cdot p_{уд.} \cdot F = P_{н\ осв} \cdot K_c,$$

где  $K_{c,o}$  – коэффициент спроса осветительной нагрузки;  $P_{н\ осв}$  – установленная мощность приемников освещения, кВт;  $K_c$  – средний коэффициент спроса для осветительных приемников [17].

Коэффициенты спроса для расчета нагрузок рабочего освещения в питающей сети приведены в табл. 14.2.

Таблица 14.2

*Коэффициенты спроса для осветительных нагрузок*

Характеристика потребителей	$K_c$
Мелкие здания производственного характера	1
Производственные здания, состоящие из нескольких отдельных помещений	0,85
Производственные здания, состоящие из отдельных крупных пролетов	0,95
Проектные и конструкторские организации	0,85
Наружное освещение	1
Предприятия общественного питания	0,8
Предприятия бытового обслуживания	0,8
Управление	0,7
Складские помещения	0,6

Расчетная реактивная нагрузка освещения  $Q_{p,осв}$  (квар) определяется по формуле:

$$Q_{p,осв} = 0,75 P_{p,осв} \cdot \operatorname{tg}\varphi,$$

где  $\operatorname{tg}\varphi$  – соответствует характерному для приемников данного цеха средневзвешенному значению коэффициента мощности.

Для ламп накаливания:  $\operatorname{tg}\varphi = 0$ .

Для газоразрядных ламп  $\operatorname{tg}\varphi = 0,33$ .

**Пример 14.1.** Определить расчетную осветительную нагрузку сборочного цеха, установленную мощность приемников освещения и мощность аварийного освещения методом удельной плотности нагрузки. Размеры помещения: длина  $a = 10$  м, ширина  $b = 6$  м. Освещение выполнено лампами накаливания.

Решение.

Площадь цеха составляет:

$$F = a \times b = 10 \times 6 = 60 \text{ м}^2.$$

По табл. 5.1 примем  $P_{\text{уд. осв}} = 10 \text{ Вт / м}^2$ .

Общая мощность, потребляемая светильником, составит:

$$P_{\text{н осв}} = P_{\text{уд. осв}} \times F = 10 \times 60 = 600 \text{ Вт.}$$

Мощность аварийного освещения согласно табл. 5.1 составит 6 % от общей мощности:

$$P_{\text{авар. осв}} = 0,06 \times 600 = 36 \text{ Вт.}$$

Активная расчетная нагрузка осветительных приемников цеха определяется по формуле:

$$P_{\text{о.р}} = P_{\text{н осв}} \cdot K_c = (600 + 36) \times 1 = 636 \text{ Вт,}$$

где  $K_c = 1$  согласно табл. 14.2.

## Самостоятельная работа студента

### Задание 14.1

Определить расчетную активную и реактивную осветительную нагрузку цеха, установленную мощность приемников освещения и мощность аварийного освещения методом удельной плотности нагрузки. Исходные данные представлены в табл. 14.3.

Таблица 14.3

Исходные данные к заданию 14.1

№ варианта	Объект или цех	Размеры цеха, м	Наименование ламп
1	Механический	$9 \times 12$	люминесцент.
2	Термический	$8 \times 9$	накаливания
3	Кузнечно-прессовый	$10 \times 12$	люминесцент.
4	Деревообрабатывающий	$12 \times 14$	накаливания
5	Литейный	$10 \times 11$	накаливания
6	Насосный и компрессорный	$8 \times 9$	накаливания

7	Главный материальный склад	7×	накаливания
8	Котельный	8 × 9	накаливания
9	Склад	5 × 6	накаливания
10	Механический	12 × 10	накаливания
11	Заводоуправление	5 × 7	люминесцент.
12	Механосборочный	8 × 9	накаливания
13	Механической обработки	10 × 12	люминесцент.
14	Сборочный	8 × 12	люминесцент.
15	Деревообрабатывающий	12 × 12	люминесцент.

### Содержание отчета

1. Исходные данные.
2. Данные расчета свести в таблицу и оформить в рабочей тетради.
3. Письменно ответить на контрольные вопросы.

### Контрольные вопросы

1. Какие методы расчета осветительной нагрузки применяются при проектировании?
2. Источники света на промышленных предприятиях.

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

#### *Методика технико-экономических расчетов*

*Цель занятия:* изучить методику минимальных приведенных затрат при выполнении технико-экономических расчетов.

На занятие отводится четыре часа.

### Пояснение к работе

Цель технико-экономических расчетов (ТЭР) – определение оптимального варианта схемы, параметра электросети и ее элементов.

ТЭР выполняют для выбора:

- схемы электроснабжения цехов и предприятия в целом;
- числа, мощности режима работы трансформаторов ГПП и цеховых подстанций;
- рациональных напряжений в схеме;
- электрических аппаратов, изоляторов и токоведущих устройств;
- сечения проводов, шин, жил кабелей;
- средств компенсации реактивной мощности и мест размещения компенсирующих устройств.

При ТЭР систем промышленного электроснабжения должны соблюдаться условия сопоставимости вариантов:

- 1) технические, для которых сравнивают взаимозаменяемые варианты;
- 2) экономические (расчет вариантов ведут в одинаковом уровне цен с учетом одних и тех же экономических показателей);
- 3) при разной надежности сравниваемых вариантов дополнительно учитывается убыток от снижения надежности.

При технико-экономических расчетах используют укрупненные показатели стоимости элементов систем электроснабжения. Оптимальным из сравниваемых вариантов считается тот, который обеспечивает минимум приведенных затрат.

Приведенные годовые затраты (З) определяют по формуле:

$$З = E_n \cdot K + И,$$

где  $E_n$  – нормативный коэффициент экономической эффективности, для энергетики он равен 0,33 ( для коммерческих структур – 0,5) 1/год;  $K$  – единовременные капитальные вложения (для сроков строительства до 1 года). По справочникам в ценах 1990 г. берутся укрупненные показатели стоимости и умножаются на коэффициент удорожания 30–40.  $И$  – издержки на эксплуатацию, определяются затратами на потерю электроэнергии, содержание обслуживающего персонала, текущий ремонт, амортизацию, топливо, материалы, сырье. Определяются по формуле:

$$И = И_{ам} + И_{обс.} + И_{пот.э/э},$$

где  $И_{ам}$  – годовые амортизационные отчисления, состоят, из отчислений на реновацию и капитальный ремонт.

$$И_a = И_p + И_{к.р.},$$

где  $И_a = 14\%$  от суммарных капитальных затрат.

$И_a = 14\% K / 100\%$  (тыс. руб/ год )

Реновация – полное восстановление основных фондов за естественный срок службы.

$И_{обл.}$  – издержки на содержание обслуживающего персонала, составляют 6 % от капитальных затрат:

$$И_{обл.} = 6\% K / 100\% ( тыс. руб/год ).$$

$И_{пот.э/э}$  – потери электрической энергии.

$$И_{пот.э/э} = c_0 \Delta W_{пот} = c_0 \Delta P \tau,$$

где  $c_0$  – тариф на электроэнергию (по данным ОАО «Волжские ТГК») равен 1,4 руб/кВт · час;

$\Delta W_{пот.}$  – годовые потери электроэнергии в нормальном режиме.

$$\Delta W = \Delta P T_{г.},$$

где  $T_{г.}$  – годовое число часов работы предприятия;  $\Delta P$  – суммарные потери мощности в линиях и трансформаторах, кВт.

### ***Потери в линии***

Потери активной мощности (кВт) в линии определяются по формуле:

$$\Delta p_{\text{л}} = p_{\text{уд}} I_{\text{р}}^2 \ell / 1000.$$

$\Delta p$  – годовые потери мощности в нормальном режиме работы (7),  
 $p_{\text{уд}}$  – удельные потери мощности Вт /км (табл. 15.1);  $I_{\text{р}}$  – расчетный ток в линии, А;  $\ell$  – длина линии, км;  $\tau$  – время потерь.

Таблица 15.1

Сеч. кабеля s, мм <sup>2</sup>	Удельные потери мощности											
	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
Уд. потери $\Delta p_{\text{уд}}$ Вт /км	15,7	9,3	5,9	3,8	2,7	1,9	1,4	1	0,8	0,6	0,5	0,4

Потери энергии магистрального шинпровода:

$$\Delta W_{\text{шма}} = 3 \Sigma I_{\text{р}}^2 r \tau 10^{-3} ;$$

Потери энергии распределительного шинпровода:

$$\Delta W_{\text{шра}} = I^2 R \tau 10^{-3} ;$$

где  $I_{\text{р}}$  – расчетный ток линии, А;  $I$  – ток участка линии (шинпровода), А;  
 $R$  – сопротивление линии, Ом;  $r$  – сопротивление участка линии (шинпровода), Ом.

Зная время использования максимума  $T_{\text{max}}$  (табл. 15.2.) и коэффициент мощности  $\cos\phi$  (средний по цеху), по кривым зависимости  $\tau = f(T_{\text{max}}; \cos\phi)$  находят время потерь  $\tau$  (рис. 15.1).

Таблица 15.2

Определение  $T_{\text{м}}$  годового числа использования максимума для отраслей промышленности

Наименование отраслей промышленности	Коэф-т мощности	Годовое число использования максимума	
		активной нагрузки	реактивной нагрузки
Химические заводы	0,83	6200	7000
Нефтеперегонные заводы	0,9	7100	–
Заводы тяжелого машиностроения	0,77	3770	4840
Заводы станкостроения	0,68	4345	4750
Инструментальные заводы	0,69	4140	4960
Шарикоподшипниковые заводы	0,83	5300	6130
Заводы подъемно-транспортного оборудования	0,75	3330	3880
Автотракторные заводы	0,79	4960	5240
Сельскохозяйственное оборудование	0,79	5330	4220

Приборостроение	0,79	3080	3180
Авторемонтные заводы	0,65	4370	3200
Вагоноремонтные заводы	0,69	3560	3660
Электротехнические заводы	0,82	4280	6420
Различные металлообрабатывающие заводы	0,83	4335	5880

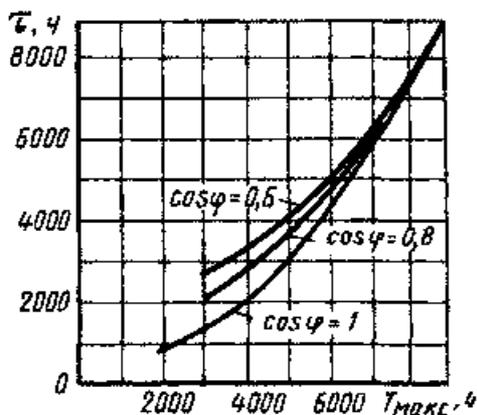


Рис. 15.1. Кривые зависимости  $\tau = f(T_{\max}; \cos\varphi)$

### **Методика технико-экономического сравнения вариантов выбора мощности цеховых КТП**

По справочникам выбираются КТП и КУ, выписываются исходные данные для расчета:

- тип и количество трансформаторов КТП;
- $\Delta P_{XX}$ , кВт – потери мощности холостого хода трансформаторов;
- $\Delta P_{K3}$ , кВт – потери мощности КЗ трансформаторов;
- $k_3$  – коэффициент загрузки трансформаторов;
- $K_{КТП}$ , тыс. руб. – капитальные затраты на сооружение КТП;
- тип, число и мощность КУ;
- $P_{КУ}$ , кВт/квар – удельные потери активной мощности в КУ;
- $K_{КУ}$ , тыс. руб. – капитальные затраты на монтаж КУ;
- $a_p = 0,035$  – коэффициент отчислений на реновацию;
- $a_{тр} = 0,029$  – коэффициент отчислений на текущий ремонт;
- $a_{кр} = 0,03$  – коэффициент отчислений на капитальный ремонт;
- $T_{год}$ , час. – количество часов работы предприятия в году;
- $T_{max}$ , час. – годовое число часов максимума нагрузки;
- $c_0$  – стоимость электроэнергии = 1,4 руб/кВт·час.

Потери энергии в трансформаторах при условии их раздельной работы:

$$\Delta W_{ТР} = N_{ТР} (\Delta P_{XX} T_{год} + k_3^2 \Delta P_{K3} \tau),$$

где  $\tau$ , ч – время потерь.

$$\tau = \left( 0,124 + \frac{T_{\max}}{10000} \right)^2 T_{\text{год}}.$$

Стоимость потерь энергии в трансформаторах:  $c_{\text{э,ТР}} = \Delta W_{\text{ТР}} c_0$ .

Потери энергии в ККУ:  $\Delta W_{\text{КУ}} = \Delta P_{\text{КУ}} Q_{\text{КУ,Ф}} T_{\text{год}}$ .

Стоимость потерь энергии в ККУ:  $c_{\text{э,КУ}} = \Delta W_{\text{КУ}} c_0$ .

Суммарные затраты по КТП:

$$Z_{\Sigma} = c_{\text{э,ТР}} + c_{\text{э,КУ}} + E(K_{\text{ТР}} + K_{\text{КУ}}), \quad \text{где } E = 0,33.$$

Далее затраты по вариантам сравниваются. Если разность приведенных затрат не превышает 20 %, то предпочтение отдается технически более рациональному варианту.

*Для принятия правильного решения следует руководствоваться следующим:*

1. Если один вариант имеет меньшие ежегодные эксплуатационные расходы и требует меньших капиталовложений, то он и является экономически более выгодным.

2. Если капитальные затраты равны, то наиболее экономичным вариантом будет тот, который имеет меньшие ежегодные эксплуатационные расходы.

3. Если равны ежегодные эксплуатационные расходы, то выбирается вариант с меньшими капитальными затратами.

4. Если рассматриваемые варианты равноценны в отношении стоимостных показателей, предпочтение отдают варианту с лучшими техническими показателями.

5. Можно использовать метод срока окупаемости  $T_{\text{ок}}$ , лет:

$$T_{\text{ок}} = K_2 - K_1 / C_{\text{э,1}} - C_{\text{э,2}}.$$

Величину, обратную сроку окупаемости,  $1 / T_{\text{ок}}$  называют коэффициентом сравнительной экономической эффективности.

Экономически целесообразный срок окупаемости ( $T_{\text{норматив}}$ ) – это нормативный коэффициент экономической эффективности  $E$ . Для энергетики он равен:  $E = 0,33$  (0,5).  $E = 1 / T_{\text{норматив}}$ .

Вычисленное значение срока окупаемости  $T_{\text{ок}}$  сравнивают с нормативным  $T_{\text{норматив}}$ .

При  $T_{\text{ок}} = T_{\text{норматив}}$  сравниваемые варианты считаются равноценными; при  $T_{\text{ок}} \leq T_{\text{норматив}}$  экономичным будет вариант с большими капитальными вложениями и меньшими годовыми эксплуатационными расходами; при  $T_{\text{ок}} \geq T_{\text{норматив}}$  экономичным будет вариант с меньшими капитальными вложениями и большими годовыми эксплуатационными расходами.

## Самостоятельная работа студента

### Задание 15.1

1. Выбрать вариант экономичной мощности цеховой подстанции методом минимальных приведенных затрат (данные взять из задания 7.1).
2. Данные расчета свести в табл. 15.3.

Таблица 15.3

*Технико-экономические показатели сравнения вариантов схем электроснабжения*

Наименование показателей	Усл. обозначение	Ед. изм.	Вариант электроснабжения	
			I вариант	II вариант
Напряжение сравниваемых вариантов	U	кВ		
Капитальные затраты	K	тыс. руб		
Амортизационные отчисления	$I_{ам}$	тыс. руб		
Затраты на потерю электроэнергии	$I_{пот}$	тыс. руб.		
Затраты на обслуживание	$I_{обс.}$	тыс. руб.		
Расчетные затраты	Z	тыс. руб/год		

**Содержание отчета**

1. Результаты технико-экономического расчета сравнения двух вариантов числа и мощности цеховых ТП.
2. Выводы.

**Контрольные вопросы**

1. С какой целью производят технико-экономические расчеты электроэнергетики?
2. Условия сопоставимости сравниваемых вариантов.

**ПРИЛОЖЕНИЕ Д**

*Аппараты защиты*

Таблица Д.1

Кратности допустимых токов защитных аппаратов

$K_{зщ}$	Аппараты защиты, вид помещения	Защита от перегрузки
1,25	Предохранители и автоматы только с ЭМР, защищающие сети с резиновой и пластиковой изоляцией во взрыво-, пожароопасных, жилых и торговых помещениях	Обязательная
1,0	Предохранители и автоматы только с ЭМР, защищающие сети с любой изоляцией, в неопасных помещениях; автоматы с комбинированным расцепителем, защищающие сети с любой изоляцией, в любых помещениях	
от 0,8 до 0,66	Автоматы с комбинированным регулируемым расцепителем, защищающие кабель с бумажной изоляцией	

0,33	Предохранители	нет
------	----------------	-----

Таблица Д.2

Характеристики предохранителей

Тип	Номинальный ток плавких вставок, А			
	ПР-2-15	6	10	15
ПР-2-60	15	20	25	35; 45; 60
ПР-2-100	-	60	80	100
ПР-2-200	100	125	160	200
ПР-2-350	220	225	260	300, 350
ПР-2-600	350	430	500	600
ПР-2-1000	600	700	850	1000

Таблица Д.3

Расчетные зависимости для выбора аппаратов защиты в силовых сетях низкого напряжения

Аппараты за- щиты	Линия без ЭД	Линии с одним ЭД	Линия с группой ЭД
Автомат с ком- бинированным расцепителем	$I_{н.а} \geq I_{н.р}$ $I_{н.р} \geq I_M$ $I_0 \geq I_M$	$I_{н.а} \geq I_{н.р}$ $I_{н.р} \geq 1,25 \cdot I_{н.д}$ $I_0 \geq 1,21 \cdot I_{пуск}$	$I_{н.а} \geq I_{н.р}$ $I_{н.р} \geq I_M$ $I_0 \geq 1,2 \cdot I_{пик}$
Предохранитель с плавкой вставкой	$I_{в.с} \geq I_{н.д}$ $I_{в.с} \geq I_{пуск}/\alpha$	$I_{в.с} \geq I_{н.д}$ $I_{в.с} \geq I_{пуск}/\alpha$ $I_{н.п} \geq I_{в.с}$	$I_{в.с} \geq I_M$ $I_{в.с} \geq I_{пуск}/\alpha$
Тепловое реле		$I_{тр} > 1,25 \cdot I_{н.д}$	

Примечание:  $I_{н.а}$  – номинальный ток автомата, А;  
 $I_{н.р}$  – номинальный ток расцепителя (наибольший длительный ток расцепителя, не вызывающий отключения и перегрева);  
 $I_0$  – ток отсечки автомата, А;  
 $I_{в.с}$  – номинальный ток плавкой вставки предохранителя, кА;  
 $I_{пуск}$  – пусковой ток электродвигателя;  
 $I_{пуск} = k_n \cdot I_{н.д}$ , А;  
 $k_n$  – кратность пускового тока, при отсутствии данных  $k_n(АД) = 6,5$ ;  
 $I_{н.д}$  – номинальный ток двигателя;  
 $I_M$  – максимальный расчетный ток в линии, А;  
 $I_{пик}$  – пиковый ток (А), это наибольший ток, возникающий в линии;  
 $I_{пик} = I_{пуск н.б} + I_{м.гр} - I_{н.н.б} \cdot k_u$  (в группе более 5 ЭД);  
 $I_{пик} = I_{пуск н.б} + I_{м.гр} - I_{н.н.б}$  (в группе до 5 ЭД);  
 $I_{м.гр}$  – максимальный расчетный ток в группе, А;  
 $I_{пуск н.б}$ ,  $I_{н.н.б}$  – пусковой и номинальные токи наибольшего по мощности ЭД

в группе, А;

$I_{нп}$  – номинальный ток предохранителя;

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий условия пуска:

$\alpha = 1,6 \div 2$  при тяжелом пуске;

$\alpha = 2,5$  при легком пуске.

#### Структура условного обозначения автоматического выключателя

ВА	51	-	31	-	1
Обозначение выключателя				Обозначение количества полюсов:	
Разработка				1 — один	
51, 52 — с ТР и ЭМП				2 — два	
53, 55, 75 — с ПМР				3 — три	
56 — без МР					
Обозначение номинального тока ( $I_n$ , А) выключателя:					
25 — 25 А		39 — 630 А			
29 — 63 А		41 — 1000 А			
31 — 100 А		43 — 1600 А			
33 — 160 А		45 — 2500 А			
35 — 250 А		47 — 4000 А			
37 — 400 А					

#### Структура условного обозначения степени защиты

I	P	5	4
International Protection			Защита от проникновения воды: 4 - от брызг в любом направлении; X - отсутствует
Защита от соприкосновения и попадания посторонних тел:			
4 - размером более 1мм;			
5 - от пыли;			
X - отсутствует			

Таблица Д.4

Технические данные автоматических выключателей серии ВА

Тип	Номинальный ток, А		Кратность установки		$I_{откл}$ , кА
	$I_{н.А}$	$I_{н.Р}$	$K_{от\ перег}$	$K_{от\ к.з}$	
ВА 51-25	25	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0;	1,2	14	3
		1,25; 1,6			1,5
		2,0; 2,5; 3,15; 4; 5			
ВА-25	25	6,3; 8	1,35	7,10	2
		10; 12,5			2,5
		16; 20; 25			3,0

Окончание табл. Д.4

Тип	Номинальный ток, А	Кратность уста-	$I_{откл}$ , кА
-----	--------------------	-----------------	-----------------

			НОВКИ		кА
	I <sub>н.А</sub>	I <sub>н.Р</sub>	К <sub>от</sub> ПЕРЕГ	К <sub>от</sub> К.З	
BA 51-31-1 BA 51Г-31	100	6,3; 8; 10;12	1,35	3, 7, 10	2
		10			2,5
		20; 25			3,5
		31,5; 40; 50; 63			5
		80; 100			0
BA 51-31 BA 51Г-31	100	6,3; 8	1,35	3, 7, 10	2
		10;12,5			2,5
		10;12,5			3,8
		31,5; 40; 50; 63			6
		80; 100			7
BA 51-33 BA 51Г-33	160	80; 100; 125; 160	1,25	10	12,5
BA 51-35	250	80; 100; 125; 160; 200; 250	1,25	12	15
BA 51-37	400	250; 320; 400	1,25	10	25
BA 51-39	630	400; 500; 630	1,25	10	35
BA 52-31 BA 52Г-31	100	16; 20; 25	1,35	3,7,10	12
		31,5; 40			15
		50; 63			18
		80;100	1,25		25
BA 52-33 BA 52Г-33	160	80; 100	1,25	10	28
		125; 160			35
BA 52-35	250	80; 100; 125; 160; 200; 250	1,25	12	30
BA 52-37	400	250; 320; 400	1,25	10	30
BA 52-39	630	250; 320; 400; 500; 630	1,25	10	40
BA 53-37 BA 55-37	160 250 400	Регулируется ступенями 0,63-0,8-1,0 от I <sub>н.В</sub>	1,25	2; 3; 5; 7; 10	20
BA 53-39 BA 55-39	160 250	Регулируется ступенями 0,63-0,8-1,0 от I <sub>н.В</sub>	1,25	2; 3; 5; 7; 10	25

	400				
	630				
ВА 53-41 ВА 55-41	100 0	Регулируется ступенями 0,63-0,8-1,0 от $I_{н.в}$	1,25	2; 3; 5; 7	25
ВА 53-43 ВА 55-43	160 0	Регулируется ступенями 0,63-0,8-1,0 от $I_{н.в}$	1,25	2; 3; 5; 7	31
ВА 53-45 ВА 55-45 ВА 75-45	250 0	Регулируется ступенями 0,63-0,8-1,0 от $I_{н.в}$	1,25	2; 3; 5 2; 3; 5; 7	36
ВА 75-47	400 0	Регулируется ступенями 0,63-0,8-1,0 от $I_{н.в}$	1,25	2; 3; 5	45

Таблица Д.5

Технические данные электроприемников

№ п/п	Наименование электроприемника	$P_n$ , кВт	n	$K_n$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$
1	Трехфазный ДР Компрессорная установка	28	5	0,65	0,8	
2	Вентиляторная установка	15	4	0,7		0,75
3	Насосная установка	55	8			
4	Станок фрезерный	11,5	14	0,14	0,5	1,73
5	Станок токарный	14	12			
6	Станок строгальный	11	10			
7	Станок карусельный	40	2			
8	Станок наждачный	2,8	5			
9	Станок винторезный	15	6			
10	Станок расточный	42	2			
11	Станок шлифовальный	3	15			
12	Станок слиткообдирочный	45	4			
13	Станок галтовочный	4	8			
14	Молот ковочный	15	7	0,24	0,65	1,17
15	Пресс штамповочный	4,5	12			

16	Автомат фрезерный	7,5	20	0,17		
17	Печь индукционная	8	4	0,75	0,35	2,67
18	Печь дуговая	30	4		0,87	0,56
19	Печь сопротивления	35	6	0,8	0,95	0,33
20	Конвейер ленточный	35	2	0,55	0,75	0,88
21	Транспортер роликовый	10	3			
22	Трехфазный ПКР Кран мостовой, ПВ = 25 %	30	2	0,05	0,5	1,73
23	Тележка подвесная, ПВ = 40 %	4	8	0,1	0,5	1,73
24	Тельфер транспортный, ПВ = 60 %	10	3			
25	Однофазный ПКР Трансформатор сварочный, ПВ = 40 %	28 кВ-А	5	0,2	0,4	2,29

Окончание табл. Д.5

№ п/п	Наименование электропри- емника	P <sub>н</sub> , кВт	n	K <sub>и</sub>	cosφ	tgφ
26	Аппарат дуговой сварки, ПВ = 60 %	16 кВА	5	0,3 0,35 2,67	0,35	2,67
27	Аппарат стыковой сварки, ПВ = 25 %	14 кВ-А	5	0,35 0,55 1,51	0,55	1,51
28	Осветительная установка Лампы накаливания	9 ... 11 Вт/м <sup>2</sup>			1	
29	Газоразрядные лампы			0,85 0,95	0,95	0,33

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

### *Технические данные цеховых трансформаторов и компенсирующих устройств*

*Таблица Е.1*

Трансформаторы трехфазные силовые масляные общего назначения

Тип трансформатора	S <sub>НОМ</sub> , кВА	U <sub>НОМ</sub> , кВ		Потери мощности P, кВт		U <sub>к</sub> , %	I <sub>о</sub> , %
		ВН	НН	P <sub>хх</sub>	P <sub>кз</sub>		
Трансформаторы трехфазные двухобмоточные масляные							
ТМ-25/6-10	25	6; 10	0,4	0,1 7	0,6	4,5	3,2
ТМ-40/6-10	40	6; 10	0,4	0,2 4	0,8 8	4,5	3,0
ТМ-63/6-10	63	6; 10	0,4	0,3 6	1,2 8	4,5	2,8
ТМ-100/6-10	100	6; 10	0,4	0,4 9	1,9 7	4,5	2,6
ТМ-160/6-10	160	6; 10	0,4; 0,69	0,7 3	2,6 5	4,5	2,4

ТМ- 250/6-10	250	6; 10	0,4; 0,69	0,9 4	3,7	4,5	2,3
ТМ- 400/6-10	400	6; 10	0,4; 0,69	1,2	5,5	4,5	2,1
ТМ- 630/6-10	630	6; 10	0,4; 0,69	1,5 6	8,5	5,5	2,0
ТМ- 1000/6-10	1000	6; 10	0,4	2,4 5	12, 2	5,5	1,4
ТМ- 1600/6-10	1600	6; 10	0,4; 0,69	3,3	18	5,5	1,3
ТМ- 2500/6-10	2500	6; 10	0,4; 0,69	4,6	25	5,5	1,0

Трансформаторы трехфазные с естественным воздушным охлаждением (сухие)

ТСЗ- 160/10	160	6; 10	0,4; 0,69	0,7	2,7	5,5	4,0
ТСЗ- 250/10	250	6; 10	0,4; 0,69	1,0	3,8	5,5	3,5
ТСЗ- 400/10	400	6; 10	0,4; 0,69	1,3	5,4	5,5	3,0
ТСЗ- 630/10	630	6; 10	0,4; 0,69	2,0	7,3	5,5	1,5
ТСЗ- 1000/10	1000	6; 10	0,4; 0,69	3,0	11, 2	5,5	1,5
ТСЗ- 1600/10	1600	6; 10	0,4; 0,69	4,2	16	5,5	1,5

Трансформаторы трехфазные масляные, применяемые в КТП

ТМЗ- 630/10	630	6; 10	0,4	2,3	8,5	5,5	3,2
ТМЗ- 1000/10	1000	6; 10	0,4	2,4 5	12, 2	5,5	1,4
ТМЗ- 1600/10	1600	6; 10	0,4	3,3	18	5,5	1,3

Трансформаторы трехфазные, заполненные негорючим

диэлектриком (совтолом)							
ТНЗ- 630/6-10	630	6; 10	0,4	1,6	7,6	5,5	1,8
ТНЗ- 1000/6-10	1000	6; 10	0,4	2,4	12, 5	5,5	1,4
ТНЗ- 1600/6-10	1600	6; 10	0,4	3,3	18	5,5	1,3
ТНЗ- 2500/6-10	2500	6; 10	0,4	4,6	24, 5	5,5	1,0

Таблица Е.2

Косинусные конденсаторы в трехфазном исполнении

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Номинальная мощность, квар
КМ-0,38-13	0,38	13
КС-0,38-18	0,38	18
КМ-2-0,38-26	0,38	26
КС-0,38-50	0,38	50

Таблица Е.3

Конденсаторные установки

Тип установки	Номинальная мощность, квар	Число и мощность регулируемых ступеней
УКН 0,38-300	300	2 × 150
УКН 0,38-450	450	3 × 150
УКН 0,38-600	600	4 × 150
УКН 0,38-900	900	6 × 150
УКБН-0,38-100-50УЗ	100	2 × 50
УКБТ-0,38-150УЗ	150	1 × 150
УКТ-0,38-150УЗ	150	1 × 150
УКБ-0,38-150УЗ	150	-
УКБН-0,38-200-50УЗ	200	4 × 50

## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

### Технические данные кабелей и шинопроводов

Таблица Ж.1

Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с резиновой или пластмассовой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной и резиновой оболочках, бронированных и небронированных

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Ток, А, для кабелей				
	одножильных	двухжильных		трехжильных	
	при прокладке				
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
2,5	23	21	34	19	29
4	31	29	42	27	38
6	38	38	55	32	46
10	60	55	80	42	70
16	75	70	105	60	90
25	105	90	135	75	115
35	130	105	160	90	140
50	165	135	205	110	175
70	210	165	245	140	210
95	250	200	295	170	255
120	295	230	340	200	295
150	340	270	390	235	335

185	390	310	440	270	385
240	465	-	-	-	-

Таблица Ж.2

Допустимый длительный ток для проводов с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с алюминиевыми жилами

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Ток, А, для проводов, проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		двух одножильных	трех одножильных	четырёх одножильных	одного двухжильного	одного трехжильного
2	21	19	18	15	17	14
2,5	24	20	19	19	19	16
3	27	24	22	21	22	18
4	32	28	28	23	25	21
5	36	32	30	27	28	24
6	39	36	32	30	31	26
8	46	43	40	37	38	32
10	60	50	47	39	42	38
16	75	60	60	56	60	55

Окончание табл. Ж.2

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Ток, А, для проводов, проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		двух одножильных	трех одножильных	четырёх одножильных	одного двухжильного	одного трехжильного
25	105	85	80	70	75	65
35	130	100	95	85	95	75
50	165	140	130	120	125	105
70	210	175	165	140	150	135
95	255	215	200	175	190	165
120	295	245	220	200	230	190
150	340	275	255	—	—	—
185	390	—	—	—	—	—
240	465	—	—	—	—	—
300	535	—	—	—	—	—
400	645	—	—	—	—	—

Примечание. Допустимые длительные токи для четырехжильных кабелей с пластмассовой изоляцией на напряжение до 1 кВ могут выбираться по табл. Ж.1, как для трехжильных кабелей, но с коэффициентом 0,92.

Таблица Ж.3

Технические данные магистральных шинопроводов переменного тока

Показатель	ШЗМ-16		ШМА-73		ШМА-68Н	
Номинальный ток, А	1600	1600	2500	4000		
Номинальное напряжение, В	380/220	660	660	660		
Электродинамическая стойкость ударному току КЗ, кА	70	70	70	100		
Активное сопротивление на фазу, Ом/км	0,018	0,031	0,027	0,013		
Реактивное сопротивление на фазу, Ом/км	0,012	0,017	0,023	0,020		
Число и размеры шин на фазу, мм	2(100 × 10)	2(90 × 8)	2(120 × 10)	2(160 × 10)		
Число и сечение нулевых проводников, мм <sup>2</sup>	—	2×710	2×640	2×640		
Максимальное расстояние между точками крепления, мм	6000	6000	3000	3000		

Таблица Ж.4

Технические данные распределительных шинопроводов переменного тока

Показатель	ШРА-73			ШРМ-75			ШРА-74
Номинальный ток, А	250	400	630	100	250	400	630
Номинальное напряжение, В	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220
Активное сопротивление на фазу, Ом/км	0,20	0,13	0,085	—	0,15	0,15	0,14
Реактивное сопротивление на фазу, Ом/км	0,10	0,10	0,075	—	0,20	0,20	0,10
Размеры шин на фазу, мм	35×5	50×5	80×5	—	35×5	50×5	80×5
Максимальное расстояние между точками крепления, мм	3000			2000			3000

Таблица Ж.5

Технические данные троллейных шинопроводов переменного тока

Показатель	ШТМ-73,	ШТМ-75,	ШТА-76
	ШТА-75	ШТА-75	
Номинальный ток, А	250	400	100
Номинальное напряжение, В	660	660	36...380
Частота, Гц	50...60	50...60	17...60
Номинальный ток токоъемной каретки, А	—	—	17,25
Номинальный ток токоъемной каретки со сборкой зажимов, А	25	100	—
Номинальный ток спаренной токоъемной каретки, А	—	—	15,4
Номинальный ток спаренной токоъемной каретки со сборкой зажимов, А	50	20	—
Электродинамическая стойкость ударному току КЗ, кА	10	15	5
Число шин, шт.	3	3	4

Таблица Ж.6

Технические данные осветительных шинопроводов переменного тока

Показатель	ШОС-2-25-44	ШОС-4-25-44	ШОС-80-43
Номинальный ток, А	25	25	16
Номинальное напряжение, В	220	380/220	220
Электродинамическая стойкость ударному току КЗ, кА	3	3	3

Таблица Ж.7

Стоимость монтажа и материала 1 км кабелей напряжением до 1 кВ  
в ценах 1990 г.

Стоимость тыс. руб. для кабеля при прокладке по конструкции

Сечение, мм <sup>2</sup>	Марка кабеля АВВГ
3 × 25	1,31
3 × 35	1,54

3 × 50	1,81
3 × 70	2,1
3 × 95	2,51
3 × 120	2,88
3 × 150	3,37
3 × 185	3,92
3 × 240	4,87
	Трехфазный закрытый шинопровод ШМА
380 В, 1600 А	0,09

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

#### Технические данные распределительных пунктов

Таблица 3.1

Технические данные распределительного пункта типа ПР 85

Но- мер схе- мы	I <sub>н</sub> , А	Рабочий I <sub>н</sub> , А		Количество ВА 51-31 линейных		Дополни- тельные сведения
		IP21 УЗ	IP54 УХЛ2,Т 2	1- по- люсн	3- по- люсн.	

				.		
С зажимами на вводе						Все ПР 85 по способу установки имеют исполнение навесное (степень защиты IP21 и IP54) или утопленное (IP21)
001	160	120	120	3	-	
002				6		
003				3	1	
004				-	2	
005				12	-	
006				6	2	
007				-	4	
008				18	-	
009				12	2	
010				6	4	
011				-	6	
012	250	200	183	12	2	
013				6	2	
014				-	4	
015				18	-	
016				12	2	
017				6	4	
018				-	6	
019				24	-	
020				18	-	
021				12	4	
022				6	6	
023				-	8	
024				30	-	
025				24	2	
026				18	4	
027				12	6	
028				6	8	

029				-	10	
030	400	320	300	-	10	
031				12	2	
032				6	4	
033				-	6	
034				24	-	
035				18	2	
036				12	4	
037				6	6	
038				-	8	
039				30	-	
040				24	2	
041				18	4	

Окончание табл. 3.1

Но- мер схе- мы	I <sub>н</sub> , А	Рабочий I <sub>н</sub> , А		Количество ВА 51-31 линейных		Дополни- тельные сведения
		IP21 УЗ	IP54 УХЛ230 0,Т	1- по- люсн	3- по- люсн.	
082	400	320	2	6	6	
083				-	8	
084				30	-	
085				24	2	
086				18	4	
087				12	6	
088				18	-	
089				-	10	
	С выключателем ВА 55-37 на вводе					
099	400	320	300	-	4	Все ПР 85 по схемам 099 ... 144, 124
100				18	-	
101				12	2	
102				6	4	
103				-	6	

104				24	-	... 139, 152 име- ют на- весное и наполь- ное ис- полнение (степень защиты IP21 и IP54)
105				18	2	
106				12	4	
107				6	6	
108				-	8	
109				30	-	
110				24	2	
111				18	4	
112				12	6	
113				6	8	
114				-	1	
С выключателем ВА 56-37 на вводе						
124	400	320	300	-	4	
125				18	-	
126				12	2	
127				6	4	
128				-	6	
129				24	-	
130				18	2	
131				12	4	
132				6	6	
133				-	8	
134				30	-	
135				24	2	
136				18	4	
137				12	6	
138				6	8	
139				-	10	

Таблица 3.2

Технические данные ПР85 с трехполюсными линейными выключателями

Но- мер	$I_n, A$	Рабочий $I_n, A$	Количество	Дополни- тель-ные
------------	----------	------------------	------------	----------------------

схемы				линейных		сведения
		IP21 УЗ	IP54 УХЛ2, Т2	1- по- люсн	3- по- люсн.	
С зажимами на вводе						
153	630	504	473		2	ПР 85 по схемам 153...155 имеют только навесное исполнение (IP21 и IP54)
154				2	2	
155				4	2	
156				6	2	
157				8	2	
С выключателем ВА 51–39 на вводе						
090	630	504	473	6	–	Все остальные ПР 85 имеют навесное и напольное исполнение (IP21 и IP54)
091				8	–	
092				10	–	
093				12	–	
094				–	4	
095				2	2	
096				4	2	
097				6	2	
098				8	2	
С выключателем ВА 55–39 на вводе						
115	630	504	473			
116				8	–	
117				10	–	
118				12	–	
119				–	4	
120				2	2	
121				4	2	
122				6	2	
123				8	2	
С выключателем ВА 56–39 на вводе						
140	630	504	473	6	–	
141				3	–	
142				10	–	
143				12	–	
144				–	4	
145				2	2	
146				4	2	
147				6	2	
148				8	2	

### Структура условного обозначения распределительного пункта

ПР	1	2	3	4	5	6
Пункт распределительный						Одна цифра Категория размещения
Две цифры Номер разработки серии						Одна или две буквы Климатическое исполнение
Одна цифра Вид установки пункта: 3 — навесное; ввод сверху и снизу проводниками, кабелями в резиновой или пластмассовой изоляции; снизу — кабелями в бумажной изоляции 4 — напольное; ввод провода и кабеля сверху 5 — навесное, ввод сверху и снизу проводами, кабелями в резиновой или пластмассовой изоляции, снизу — кабелями в бумажной изоляции						Степень защиты оболочки
			Три цифры Номер схемы По номеру схемы можно определить габарит ( $I_n$ , A), кол-во и тип выключателей и др. данные			
			7 — напольное; ввод сверху или снизу проводами, кабелями в резиновой или пластмассовой изоляции; снизу — кабелями в бумажной изоляции 8 — напольное; ввод проводом или кабелем в резиновой или пластмассовой изоляции 9 — напольное; ввод кабелем сечением 1000 мм <sup>2</sup>			

**Например:**

ПР	85	3	012	21	У3
Пункт распределительный					Категория размещения: 3 — для покрытых помещений
Номер разработки серии 85 — переменный ток 87 — постоянный ток					Климатическое исполнение У — для умеренного климата
3 — навесное исполнение; ввод сверху и снизу проводами, кабелями в резиновой или пластмассовой изоляции; снизу — кабелями в бумажной изоляции					
012 — номер схемы					
IP21 — степень защиты 2 — защита от проникновения внутрь оболочки пальцев или предметов длиной до 80 мм и от проникновения твердых тел размером более 12 мм 1 — защита от вертикальных капель воды					

## ПРИЛОЖЕНИЕ И

### Значение переходных сопротивлений

Таблица И.1

Сопротивление трансформаторов 10/0,4 кВ

Мощность, кВА	$R_T$ , мОм	$X_T$ , мОм	$Z_T$ , мОм	$Z_T^{(0)}$ , мОм
25	153,9	243,6	287	3110
40	88	157	180	1949
63	52	102	114	1237
100	31,5	64,7	72	779
160	16,6	41,7	45	487
250	9,4	27,2	28,7	312
400	5,5	17,1	18	195
630	3,1	13,6	14	129
1000	2	8,5	8,8	81
1600	1	5,4	5,4	54

Таблица И.2

Значение сопротивлений первичных обмоток  
катушечных трансформаторов тока 1кВ

К <sub>тт</sub> трансформатора тока	Сопротивление, мОм, класса точности			
	1		2	
	$X_{тт}$	$R_{тт}$	$X_{тт}$	$R_{тт}$
1	2	3	4	5
20/5	67	42	17	19
30/5	30	20	8	8,2
40/5	17	11	4,2	4,8
50/5	11	7	2,8	3
75/5	4,8	3	1,2	1,3
100/5	1,7	2,7	0,7	0,75
150/5	1,2	0,75	0,3	0,33
200/5	0,67	0,42	0,17	0,19
300/5	0,3	0,2	0,08	0,09
400/5	0,17	0,11	0,04	0,05
500/5	0,07	0,05	0,02	0,02

Таблица И.3

Значение сопротивлений автоматических выключателей,  
рубильников, разъединителей до 1кВ

I <sub>наз</sub> , А	Автомат			Рубильник	Разъединитель
	R <sub>а</sub> , мОм	X <sub>а</sub> , мОм	R <sub>и</sub> , мОм	R, мОм	R, мОм
50	5,5	4,5	1,3	-	-
70	2,4	2	1	-	-
100	1,3	1,2	0,75	0,5	-
150	0,7	0,7	0,7	0,45	-
200	0,4	0,5	0,6	0,4	-
400	0,15	0,17	0,4	0,2	0,2
600	11,12	0,13	0,25	0,15	0,15

Окончание табл. И.3

I <sub>на</sub> , А	Автомат			Рубильник	Разъединитель
	R <sub>а</sub> , мОм	X <sub>а</sub> , мОм	R <sub>ш</sub> , мОм	R, мОм	R, мОм
1000	0,1	0,1	0,15	0,08	0,08
1600	0,08	0,08	0,1	-	0,06
2000	11,07	0,08	0,08	-	0,03
2500	0,06	0,07	0,07	-	0,03
3000	0,05	0,07	0,06	-	0,02
4000	0,04	0,05	0,05	-	-

Таблица И.4

## Значение переходных сопротивлений на ступенях распределения

Ступень	Место	R <sub>ст</sub> , мОм	Дополнительные сведения
1	Распределительные устройства подстанции	15	Используются при отсутствии достоверных данных о контактах и их переходных сопротивлениях в сетях, питающихся от цеховых трансформаторов мощностью до 2500 кВа включительно
2	Первичные распределительные цеховые пункты	20	
3	Вторичные распределительные цеховые пункты	25	
4	Аппаратура управления электроприемников, получающих питание от вторичных РП	30	

Таблица И.5

## Значения удельных сопротивлений кабелей, проводов

S, мм <sup>2</sup> жи- лы	r <sub>0</sub> , Ом /м при 20° С; жи- лы		x <sub>0</sub> , мОм /м	
	Al	Cu	Кабель с бумажной поясной изоляцией	Три провода в трубе или кабель, с любой изоляцией
1	2	3	4	5
1	-	18,5	-	0,133
1,5	-	12,3	-	0,126
2,5	12,5	7,4	0,104	0,116
4	7,81	4,63	0,095	0,107
6	5,21	3,09	0,09	0,1
10	3,12	1,84	0,073	0,099
16	1,95	1,16	0,0675	0,095
25	1,25	0,74	0,0662	0,091
35	0,894	0,53	0,0637	0,088
50	0,625	0,37	0,0625	0,085
70	0,447	0,265	0,0612	0,082
95	0,329	0,195	0,0602	0,081
120	0,261	0,154	0,0602	0,08
150	0,208	0,124	0,0596	0,079
185	0,169	0,1	0,0596	0,78
240	0,13	0,077	0,0587	0,077

Таблица И.6

Значения удельных сопротивлений троллейных  
шинопроводов до 1кВ

Тип	I <sub>н</sub> , А	Сопротивление, Ом/м		
		r <sub>0</sub>	x <sub>0</sub>	Z <sub>0</sub>
ШТМ	250	0,315	0,18	0,36
	400	0,197	0,12	0,23
ШТА	250	0,474	0,15	0,496
	400	0,217	0,13	0,254

Таблица И.7

Значение удельных сопротивлений комплексных шнопроводов

Параметры	Тип комплектного шнопровода						
	ШМА				ШРА		
I <sub>н</sub> , А	1250	1600	2500	3200	250	400	630
r <sub>0</sub> , мОм/м	0,034	0,03	0,017	0,015	0,21	0,15	0,1
x <sub>0</sub> , мОм/м	0,016	0,014	0,008	0,007	0,21	0,17	0,13
r <sub>0 н(φ-0)</sub> , мОм/м	0,068	0,06	0,034	0,03	0,42	0,3	0,2
x <sub>0 н(φ-0)</sub> , мОм/м	0,053	0,06	0,075	0,044	0,42	0,24	0,26
Z <sub>0 п(φ-0)</sub> , мОм/м	0,086	0,087	0,082	0,053	0,59	0,38	0,33

Таблица И.8

Значение активных переходных сопротивлений неподвижных  
контактных соединений

S мм <sup>2</sup> кабеля	R <sub>н</sub> , мОм	I <sub>н</sub> , А	R <sub>н</sub> , мОм
16	0,85	ШРА 250 400 630	0,009 0,006 0,0037
25	0,064		
35	0,056		
50	0,043		
70	0,029		
95	0,027	ШМА 1600 2500 3200 4000	0,0034 0,0024 0,0012 0,0011
120	0,024		
185	0,021		
240	0,012		

Таблица И.9

Значение T<sub>доп</sub>, °С

Проводники	T <sub>доп</sub> °С, (норм)	T <sub>доп</sub> °С, (при КЗ)
Шины: медные	70	300
алюминиевые	70	200
Кабели, провода до 1кВ	65	150
Кабели более 1кВ	60	200

## **Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

### **Перечень основной литературы:**

1. Конюхова, Е. А. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий (теория и примеры) Электронный ресурс : Учебное пособие / Е. А. Конюхова. - Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий (теория и примеры), - Москва : Русайнс, 2015. - 159 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-5-4365-0628-9

### **Перечень дополнительной литературы:**

2. Данилов, М.И. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) Электронный ресурс : практикум / С.С. Ястребов / И.Г. Романенко / М.И. Данилов. - Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. - 118 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Невинномысский технологический институт (филиал) СКФУ**

Методические указания по выполнению практических работ по  
дисциплине «Электроснабжение»

Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника  
Квалификация выпускника – бакалавр

Невинномысск, 2022

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями ФГОС ВО в части содержания и уровня подготовки выпускников направления подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника.

В методических указаниях даны рекомендации по организации самостоятельной работы студента при изучении дисциплины «Электроснабжение» при подготовке ко всем видам занятий, сделаны указания на моменты, требующие особого внимания, определен порядок подготовки и сдачи экзамена и приведен список рекомендуемых литературных источников.

## Содержание

Введение

Практическое занятие №1

Практическое занятие №2

Практическое занятие №3

Практическое занятие №4

Практическое занятие №5

Практическое занятие №6

Практическое занятие №7

Практическое занятие №8

Приложения

Перечень основной и дополнительной литературы,  
необходимой для освоения дисциплины

## Введение

Методические указания устанавливают состав, содержание и оформление видов самостоятельной работы, содержит список рекомендуемой литературы.

Целью освоения дисциплины является приобретение студентами знаний в области построения систем электроснабжения промышленных установок и предприятий. Задачами освоения дисциплины являются изучение методов определения расчетных нагрузок цеха и предприятия; выбора силовых трансформаторов; воздушных и кабельных линий внешнего электроснабжения, а также внутривоздушных и цеховых электрических сетей; анализ схем автоматики; методы расчета токов короткого замыкания; технико-экономические расчеты электросетей с использованием ЭВМ.

Реализуемые компетенции:

Способен участвовать в эксплуатации систем автоматизированного электропривода (ПК-4);

В результате освоения дисциплины студент должен:

Знать: физические основы формирования режимов электропотребления; основы систем электроснабжения городов, промышленных предприятий, объектов сельского хозяйства и транспортных систем

Уметь: рассчитывать интегральные характеристики режимов

Владеть: способностью принимать участие в проектировании объектов профессиональной деятельности в соответствии с техническим заданием и нормативно-технической документацией, соблюдая различные технические, энергоэффективные и экологические требования

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

### *Расчет и выбор компенсирующего устройства*

*Цель занятия:* научиться выбирать компенсирующие устройства на стороне низкого напряжения.

На занятие отводится четыре часа.

#### **Пояснение к работе**

Для выбора компенсирующего устройства (КУ) необходимо знать:

- расчетную реактивную мощность КУ;
- тип компенсирующего устройства;
- напряжение КУ.

Расчетную реактивную мощность КУ можно определить из соотношения:

$$Q_{к.р} = \alpha P_M (\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi_k),$$

где  $\alpha$  – коэффициент, учитывающий повышение  $\cos \varphi$  естественным способом, принимается  $\alpha = 0,9$ ;  $\operatorname{tg}\varphi$ ,  $\operatorname{tg}\varphi_k$  – коэффициенты реактивной мощности до и после компенсации.

Компенсиацию реактивной мощности по опыту эксплуатации производят до получения значения  $\cos\varphi_k = 0,92 \dots 0,95$ .

Задавшись  $\cos \varphi_k$  из этого промежутка, определяют  $\operatorname{tg}\varphi_k$ .

Значения  $P_{м,з}$ ,  $\operatorname{tg}\varphi$  выбираются по результату расчета нагрузок из «Сводной ведомости нагрузок».

Задавшись типом КУ, зная  $Q_{к.р}$  и напряжение, выбирают стандартную компенсирующую установку, близкую по мощности.

Применяются комплектные конденсаторные установки (ККУ) или конденсаторы, предназначенные для этой цели.

$$\operatorname{tg}\varphi_\phi = \operatorname{tg}\varphi - Q_{к.ст.} / \alpha P_M,$$

где  $Q_{к.ст.}$  – стандартное значение мощности выбранного компенсирующего устройства КУ, квар.

По  $\operatorname{tg}\varphi$  определяют  $\cos\varphi$ .

По  $\operatorname{tg}\varphi_\phi$  определяется фактический коэффициент мощности  $\cos\varphi_\phi$ :

$$\cos\varphi_\phi = \cos\varphi (\operatorname{arctg}\varphi_\phi).$$

Структура условного обозначения компенсирующих устройств представлена на рис. 8.1.



Рис. 8.1. Структурная схема условного обозначения компенсирующего устройства

**Пример 8.1.** Дано: исходные данные из примера 7.1 практического занятия № 7.

Таблица 8.1

Исходные данные

Параметр	cosφ	tgφ	P <sub>м</sub> , кВт	Q <sub>м</sub> , квар	S <sub>м</sub> , кВА
Всего на НН без КУ	0,85	0,63	393,6	210,1	473,1

Требуется:

- рассчитать и выбрать компенсирующее устройство КУ;
- выбрать трансформатор с учетом КУ;

Решение. Определяется расчетная мощность КУ.

$$Q_{к.р} = \alpha P_m (tg\alpha - tg\phi_k) = 0,9 \cdot 393,6 \cdot (0,63 - 0,33) = 106,3 \text{ квар.}$$

Принимается  $cos\phi_k = 0,95$ , тогда  $tg\phi_k = 0,33$ .

По табл. Е.3 прилож. Е выбираются две конденсаторные установки  $2 \times УК 2-0,38-50$  со ступенчатым регулированием по 25 квар, по одной на секцию.

Определяются фактические значения  $tg\phi$  и  $cos\phi$  после компенсации реактивной мощности.

$$tg\phi_\phi = tg\phi - \frac{Q_{к.ст}}{\alpha P_m} = 0,63 - \frac{2 \cdot 50}{0,9 \cdot 393,6} = 0,35; \quad cos\phi_\phi = 0,94 .$$

Результаты расчетов заносятся в табл. 8.2.

Определяется расчетная мощность трансформатора с учетом потерь.

$$S_p = 0,7 S_{ВН} = 0,7 \cdot 429,2 = 300,5 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

$$\Delta P_T = 0,02 S_{НН} = 0,02 \cdot 408,7 = 8,2 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_T = 0,1 S_{НН} = 0,1 \cdot 408,7 = 40,9 \text{ квар};$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2} = \sqrt{8,2^2 + 40,9^2} = 41,7 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Выбирается силовой трансформатор (прилож. Е табл. Е.1) типа ТМ 400–10/0,4 кВ, мощностью 400 кВА с техническими параметрами:

$$R_T = 5,6 \text{ мОм};$$

$$X_T = 14,9 \text{ мОм};$$

$$Z_T = 15,9 \text{ мОм};$$

$$\Delta P_{xx} = 0,95 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_{кз} = 5,5 \text{ кВт};$$

$$u_{кз} = 4,5 \%;$$

$$Z_T^{(1)} = 195 \text{ мОм}; \quad i_{xx} = 2,1 \%$$

Определяется коэффициент загрузки трансформатора:

$$K_3 = \frac{S_{\text{НН}}}{2S_T} = \frac{408,7}{2 \cdot 400} = 0,51.$$

Данные расчета заносятся в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Сводная ведомость нагрузок

Параметр	$\cos \varphi$	$\text{tg } \varphi$	$P_m, \text{ кВт}$	$Q_m, \text{ квар}$	$S_m, \text{ кВА}$
Всего на НН без КУ	0,85	0,63	393,6	210,1	473,1
КУ				2×50	
Всего на НН с КУ	0,94	0,35	393,6	110,1	408,7
Потери			8,2	40,9	41,7
Всего ВН с КУ			401,8	151	429,2

**Пример 8.2.** Расчет точек подключения компенсирующего устройство к магистральному шинопроводу ШМА1.

Расчетная схема представлена на рис. 8.2

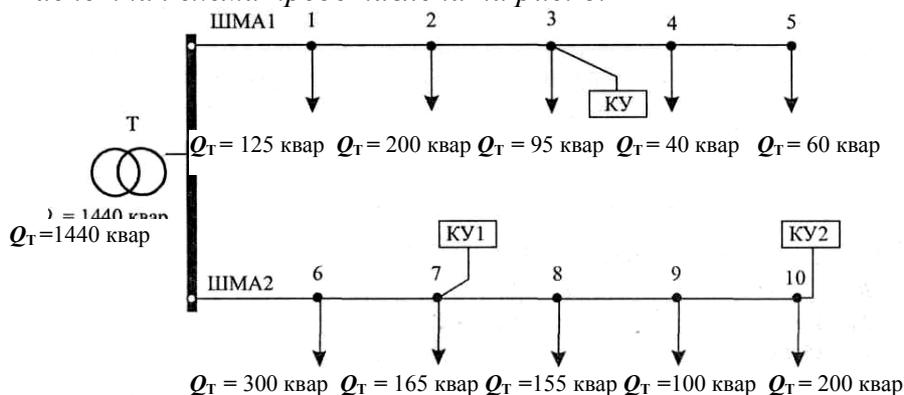


Рис. 8.2. Расчетная схема

Требуется выбрать точки установки КУ.

Решение. На ШМА1 устанавливается одно КУ мощностью 300 квар.

Проверка выполнения условия в точках подключения нагрузок:

$$Q'1 \geq \frac{Q_{\text{к(ШМА1)}}}{2} \geq Q'2;$$

точка 1:  $520 \text{ квар} > 150 \text{ квар} < 395 \text{ квар}$  – условие не выполняется;

точка 2:  $395 \text{ квар} > 150 \text{ квар} < 195 \text{ квар}$  – условие не выполняется;

точка 3:  $195 \text{ квар} > 150 \text{ квар} > 100 \text{ квар}$  – условие выполняется;

точка 4:  $100 \text{ квар} < 150 \text{ квар} > 60 \text{ квар}$  – условие не выполняется.

Следовательно, на ШМА1 подключается КУ мощностью 300 квар в точке 3.

На ШМА2 устанавливаются два КУ мощностью 300 и 400 квар. Проверяется выполнение условия:

$Q'_3 \geq Q_{2к(шма2)} / 2 \geq Q'_4$  для дальнего КУ 2 в точках подключения нагрузок:

точка 10:  $720 \geq 200 \geq 0$  – условие выполняется;

точка 9:  $620 \geq 200 \geq 200$  – условие выполняется.

Следовательно,  $Q_{2к} = 400$  квар можно подключить к точке 9 или 10 по конструктивным соображениям.

КУ2 подключается к точке 10.

Проверяется выполнение условий  $Q'_{1-Q_{2к}} \geq Q_{1к(шма2)}/2 \geq Q'_{2-Q_{2к}}$  для ближнего КУ1 в точках подключения нагрузок:

точка 6:  $520 \text{ квар} \geq 150 \text{ квар} \leq 220 \text{ квар}$  – условие не выполняется;

точка 7:  $220 \text{ квар} \geq 150 \text{ квар} \geq 55 \text{ квар}$  – условие выполняется.

Следовательно,  $Q_{1к} = 300$  квар можно подключить к точке 7.

Ответ: подключить КУ мощностью 300 квар к точке 3; КУ1 мощностью 300 квар к точке 7; КУ2 мощностью 400 квар к точке 10.

## Самостоятельная работа студента

### Задание 8.1

Требуется:

– рассчитать и выбрать компенсирующее устройство КУ;

– выбрать трансформатор с учетом КУ;

Данные для расчетов взять из табл. Д.5 (прилож. Д).

### Содержание отчета

1. Начертить расчетную схему подключения компенсирующих устройств.
2. Расчетные данные внести в таблицу.
3. Ответить на контрольные вопросы.
4. Составить баланс реактивной мощности.

### Контрольные вопросы

1. Виды, условные обозначения, назначение компенсирующих устройств.
2. Методика расчета компенсирующего устройства.
3. Способы компенсации реактивной мощности.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2

### *Расчет и выбор аппаратов защиты и линий электроснабжения*

*Цель занятия:* научиться выбирать аппараты защиты и линии электроснабжения с учетом соответствия аппарату защиты.

На занятие отводится четыре часа.

### Пояснение к работе

#### *Расчет и выбор аппаратов защиты*

К аппаратам защиты относятся плавкие предохранители, автоматические выключатели и тепловые реле. Наиболее современными являются автоматы серии ВА и АЕ, предохранители серии ПР и ПН, тепловые реле серии РТЛ, встраиваемые в магнитные пускатели.

Автоматические выключатели являются наиболее совершенными аппаратами защиты, надежными, срабатывающими при перегрузках и коротких замыканиях в защищаемой линии.

Чувствительными элементами автоматов, воздействующими на механизм отключения, являются расцепители: тепловые (ТР), электромагнитные (ЭМР) и полупроводниковые (ППР).

*Расцепитель* максимального тока (электромагнитный или полупроводниковый) – устройство мгновенного срабатывания при токе КЗ.

*Тепловой расцепитель* (биметаллический или полупроводниковый) – устройство, срабатывающее с выдержкой времени при перегрузке.

*Расцепитель минимального напряжения* – устройство, срабатывающее при недопустимом снижении напряжения в цепи (до 0,3 ... 0,5 от  $V_{ном}$ ).

*Независимый расцепитель* – устройство дистанционного отключения автомата или по сигналам внешних защит.

Максимальный и тепловой расцепители устанавливаются во всех фазах автомата, остальные по одному на автомат.

Ток срабатывания расцепителя (ток трогания) – наименьший ток, вызывающий отключение автомата.

Уставка тока расцепителя – настройка его на заданный ток срабатывания.

Ток отсечки – уставка тока максимального расцепителя на мгновенное срабатывание.

Номинальный ток расцепителя – это наибольший длительный ток расцепителя, не вызывающий отключения и перегрева.

Отключающая способность автомата – наибольший ток короткого замыкания (КЗ), при котором произойдет отключение повреждения.

Тепловые расцепители срабатывают при перегрузках, электромагнитные – при КЗ, полупроводниковые – как при перегрузках, так и при КЗ.

Защита от коротких замыканий выполняется для всех силовых электроприемников.

Для электродвигателей, работающих в повторно-кратковременном режиме, защита от перегрузок не выполняется. Силовые электроприем-

ники, устанавливаемые во взрывоопасных помещениях, защищаются от перегрузок во всех случаях.

Защитные аппараты должны выбираться так, чтобы номинальный ток каждого защитного аппарата был не менее максимального расчетного тока электроприемника.

$$I_{н. защ.} \geq I_p.$$

Кроме этого должна быть обеспечена селективность защиты.

*Выбор предохранителей:*

1. Выбирают плавкую вставку предохранителя.

- Для линии без электрического двигателя:

$$I_{вс} \geq I_p,$$

где  $I_{вс}$  – ток плавкой вставки, А;  $I_p$  – расчетный ток линии, А.

Это условие означает, что предохранитель не должен перегореть при нормальном режиме работы сети.

- Для линии к сварочному трансформатору:

$$I_{вс} \geq 1,2 I_{св} \sqrt{ПВ},$$

где  $I_{св}$  – ток сварочного аппарата, А.

- При выборе аппаратов защиты в линии с компенсирующими установками КУ должно выполняться условие:

$$I_{вс} \geq 1,6 \frac{Q_{ку}}{\sqrt{3} U_{л}},$$

где  $Q_{ку}$  – мощность конденсаторной установки, квар.

- Для линий к распределительному устройству:

$$I_{вс} \geq (I_{п} + I_{дл}) / 2,5,$$

где  $I_{п}$  – пусковой ток двигателя, определяется из соотношений:

$$I_{п} = K_{п} \cdot I_{д},$$

где  $K_{п}$  – кратность пускового тока.

Для асинхронного двигателя  $K_{п} = 6 \div 7,5$ ;

для синхронного двигателя и машин постоянного тока

$K_{п} = 2 \div 3$ ;

$I_{д}$  – номинальный ток электродвигателя А.

Определяют величину тока плавкой вставки предохранителя, защищающего линию электроснабжения двигателей, которая не должна перегорать во время их пуска.

$$I_{вс} \geq I_{п.} / \beta,$$

где  $\beta$  – коэффициент кратковременной перегрузки плавкой вставки предохранителя: для двигателя, пускаемого без нагрузки, он равен 2,5; для двигателей с тяжелыми условиями пуска – 1,6 (например, крановых) и для линий к сварочным трансформаторам.

2. Предохранитель выбирают со стандартной плавкой вставкой по условию:

$$I_{нп} \geq I_{в},$$

где  $I_{нп}$  – номинальный ток предохранителя, А.

Данные предохранителей представлены в прилож. Д, табл. Д.2.

Проверяют соответствие тока плавкой вставки условию защиты линии данного сечения от токов КЗ:

$$I_{вс.} < 3 \cdot I_{дл},$$

где  $I_{дл}$  – длительно допустимый ток для данного сечения провода (кабеля). Если это условие не выполняется, то выбирают следующее стандартное сечение провода (кабеля) по прилож. Ж.

### **Выбор автоматических выключателей**

Для выбора автомата нужно знать ток в линии, где он установлен, тип автомата и число фаз. При защите сетей *автоматами* необходимо выбрать их ток уставки  $I_{н.р.}$ .

*Автоматы* выбираются согласно условиям:

$$I_{н.а.} \geq I_{н.р.},$$

где  $I_{н.а.}$  – номинальный ток автомата, А;  $I_{н.р.}$  – номинальный ток распределителя, А;  $V_{н.а.} \geq V_{сети},$

где  $V_{н.а.}$  – номинальное напряжение автомата, В;  $V_{сети}$  – напряжение сети.

- для линии без электродвигателя:

$$I_{н.р.} > I_{дл},$$

где  $I_{дл.}$  – длительный ток в линии, А;

- для линии с одним электродвигателем:

$$I_{н.р.} > 1,25 I_{д},$$

где  $I_{д}$  – ток двигателя;

- для групповой линии с несколькими электродвигателями:

$$I_{н.р.} > 1,1 I_{м},$$

где  $I_{м}$  – максимальный ток в линии, А;

$K_o$  – кратность отсечки, определяется по формуле:

$$K_o > I_o / I_{н.р.},$$

где  $I_o$  – ток отсечки, А;

- для линии без электродвигателя:

$$I_o > I_{д.};$$

- для линии с одним электродвигателем:

$$I_o > 1,2 I_{п},$$

где  $I_{п}$  – пусковой ток А;

- для групповой линии с несколькими электродвигателями:

$$I_o > 1,2 I_{пик},$$

где  $I_{пик}$  – пиковый ток, А. Это наибольший ток, возникающий в линии, длительностью 1–2 с;

в группе до 5 электродвигателей включительно:

$$I_{пик} = I_{п.нб.} + I_{м} - I_{н.нб.};$$

в группе более 5 электродвигателей:

$$I_{пик} = I_{пуск.нб.} + I_{м} - I_{н.нб.} K_{и},$$

где  $I_{п.нб.}$  – пусковой ток наибольшего по мощности электродвигателя, А;  
 $I_M$  – максимальный ток на группу А;  $I_{н.нб.}$  – номинальный ток наибольшего  
 в группе электродвигателя, А.

При выборе аппаратов защиты в линии с компенсирующими уста-  
 новками КУ должно выполняться условие:

$$I_o \geq 1,3 \frac{Q_{ку}}{\sqrt{3}U_{л}}$$

Зная тип, номинальный ток автомата и число полюсов автомата, вы-  
 писываются все каталожные данные автомата из прилож. Д., табл. Д.4.

- *Тепловые реле* выбираются согласно условию:

$$I_{т.р.} > 1,25 I_{н.д.}$$

где  $I_{т.р.}$  – ток теплового реле, номинальный, А;  $I_{н.д.}$  – номинальный ток  
 двигателя, А.

### ***Выбор марки и сечения линии электроснабжения***

Выбор сечений проводов, кабелей и шин производится по наиболь-  
 шему длительно допустимому току нагрузки по условиям нагрева и про-  
 веряется на соответствие выбранному аппарату защиты и по потере на-  
 пряжения.

Сечения электрических линий электроснабжения цеха рассчитывают  
 в определенной последовательности:

1. Составляют схему электроснабжения цеха и по ней вычисляют  
 длину электрической линии.

2. Выбирают тип линии (кабель, провод, шинопровод), материал токо-  
 ведущих жил проводов или кабелей, вид изоляции и брони, тип прокладки.

3. Вычисляют расчетный ток линии по формулам:

- Сразу после трансформатора:

$$I_T = \frac{S_T}{\sqrt{3}V_{н.т}}$$

где  $S_T$  – номинальная мощность трансформатора, кВА;  $V_{нт}$  – номинальное  
 напряжение трансформатора, кВ .

Принимается  $V_{нт} = 0,4$ кВ.

- Линия к распределительному устройству РУ (распределитель-  
 ному пункту, шинопроводу),

$$I_{ру} = \frac{S_{м.ру}}{\sqrt{3}V_{н.ру}}$$

где  $S_{м.ру}$  – максимальная расчетная мощность РУ, кВА;  $V_{н.ру}$  – номиналь-  
 ное напряжение РУ, кВ.

Принимается  $V_{н.ру} = 0,38$  кВ.

- Линия к электродвигателю переменного тока:

$$I_{д} = \frac{P_{д}}{\sqrt{3}V_{н.д.} \eta_{д} \cos \varphi_{д}}$$

где  $P_d$  – мощность электродвигателя переменного тока, кВт;  $V_{нд}$  – номинальное напряжение РУ, кВ;  $\eta_d$  – коэффициент полезного действия двигателя в относительных единицах.

Примечание. Если электродвигатель повторно-кратковременного режима, то

$$P_d = P_n \cdot \sqrt{ПВ}$$

- Линия к сварочному трансформатору:

$$I_{св} = \frac{S_{св} \sqrt{ПВ}}{\sqrt{3} V_n},$$

где  $S_{св}$  – полная мощность сварочного трехфазного трансформатора кВ; ПВ – продолжительность включения в относительных единицах.

4. По величине расчетного тока определяют сечение проводов или жил кабеля по таблицам, приведенным в ПУЭ или прилож. Ж .

Сечение проводов и жил кабеля выбирают так, чтобы выполнялось условие:

$$I_{доп} \geq I_p / k_{пр},$$

где  $k_{пр}$  – поправочный коэффициент на условия прокладки проводов и кабелей. Таблицы поправок приведены в ПУЭ.

Выбранное сечение проводов необходимо согласовать с коммутационными возможностями аппаратов защиты.

$$I_{доп} > K_{зщ} \cdot I_{зщ},$$

где  $K_{зщ}$  – коэффициент кратности допустимых токов защитных аппаратов. Данные коэффициента кратности допустимых токов представлены в прилож. Д.

Если это неравенство для выбранного сечения не соблюдается, то берут следующее стандартное сечение кабеля (провода).

**Пример 9.1.** Дано: электроприемник № 1 – компрессорная установка: КПД = 0,9;  $P_n = 28$  кВт;  $\cos \varphi = 0,8$ ; подключен к шинному ряду ШМА1.  $I_m = I_{ШМА1} = 326,8$  А. От шинного ряда ШМА1 также питаются :

Наименование ЭП	Компрессорная установка			Станок карусельный	Печь сопротивления	Транспортер
$P_{ном, кВт}$	28	28	28	40	35	10
$\cos \varphi$	0,8	0,8	0,8	0,5	0,95	0,75

Требуется:

- составить расчетную схему электроснабжения;
- рассчитать и выбрать аппарат защиты;
- рассчитать и выбрать кабельную линию электроснабжения.

Решение. Составляется расчетная схема электроснабжения до электроприемника № 1, подключенного к ШМА1 (рис. 9.1). Этот электроприемник является трехфазным длительного режима работы. На схему наносятся известные данные.

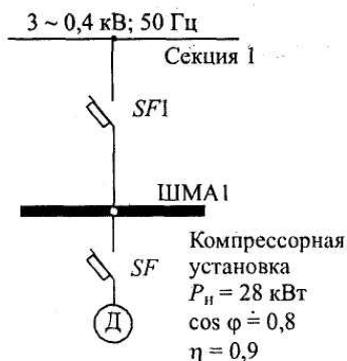


Рис. 9.1. Схема электроснабжения электроприемника № 1

Примечание. При составлении расчетной схемы длину шин низкого напряжения трансформатора не принимать во внимание, а длину ШМА учитывать (от точки подключения питания к ШМА до точки подключения электроприемника).

1. Выбирается автоматический выключатель SF1 типа ВА.

Линия: шины низкого напряжения – магистральный шинопровод ШМА1 (ШНН – ШМА), линия с группой ЭД.

Согласно заданию максимальный ток ШМА1:

$$I_M = I_{ШМА1} = 326,8 \text{ А.}$$

Так как к шинопроводу ШМА1 подключено более пяти электродвигателей, а наибольшим по мощности является станок карусельный  $P_n = 40 \text{ кВт}$ , то пиковый ток определяется по формуле:

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{п.нб.}} + I_M - I_{\text{н.нб.}} \cdot K_{\text{и}} = 878,8 + 326,8 - 18,9 = 1186,7 \text{ А;}$$

$$I_{\text{п.нб.}} = 6,5 I_{\text{н.нб.}} = 6,5 \cdot 135,2 = 878,8 \text{ А;}$$

$$I_{\text{н.нб.}} = P_n / \sqrt{3} \cdot V_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta = 40 / 1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,5 \cdot 0,9 = 135,2 \text{ А;}$$

$$I_{\text{н.нб.}} \cdot K_{\text{и}} = 135,2 \cdot 0,14 = 18,9 \text{ А.}$$

Ток отсечки составит:

$$I_o \geq 1,25 \cdot I_{\text{пик}} = 1,25 \cdot 1186,7 = 1483,4 \text{ А.}$$

Коэффициент отсечки:

$$K_o \geq I_o / I_{\text{н.р.}} = 1483 / 400 = 3,7.$$

Принимается  $K_o = 5$ .

По току нагрузки  $I_{ШМА1} = 326,8 \text{ А}$  устанавливаем ШРА вместо ШМА.

По прилож. И выбирается ШРА 4-630-32-У3. Технические характеристики распределительного шинопровода представлены в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Технические характеристики ШРА 4-630-32-У3

$V_n$ , В	$I_{\text{н.ш}}$ , А	$X_o$ , Ом/км	$\Delta u$ , В/м	Сечение шинопровода, мм	$I_d$ , кА
660	630	0,1	$8,5 \times 10^{-2}$	$80 \times 5$	35

Автоматический выключатель SF1 выбираем по условию:

$$I_{\text{н.а}} \geq I_{\text{н.р.}}$$

$$I_{\text{н.р.}} > 1,1 \cdot I_M = 1,1 \cdot I_{ШМА1} = 1,1 \cdot 326,8 = 359,5 \text{ А.}$$

По прилож. Д выбирается ВА 55-39-3. Технические характеристики автомата представлены в табл. 9.2.

Таблица 9.2

## Технические характеристики автомата SF1

$V_{н.а. В}$	$I_{н.а. А}$	$I_{н.р. А}$	$I_{у(п)} А$	$I_{у(кз)} А$	$I_{откл. кА}$
380	400	400	$1,25 I_{н.р}$	$5 \cdot I_{н.р}$	25кА

2. Выбирается автоматический выключатель SF типа ВА.

Линия магистральный шинопровод ШМА – компрессорная установка, линия с одним электродвигателем.

Номинальный ток компрессора:

$$I_d = P_n / \sqrt{3} \cdot V_n \cdot \cos\varphi \cdot \eta = 28 / 1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 59,2 \text{ А.}$$

Номинальный ток расцепителя автомата:

$$I_{н.р} \geq 1,25 \cdot I_d = 1,25 \cdot 59,2 = 74 \text{ А.}$$

По прилож. Д принимаем  $I_{н.р} = 80 \text{ А}$ .

Ток отсечки составит:

$$I_o > 1,2 \cdot I_n = 1,2 \cdot 6,5 \cdot 59,2 = 461,8 \text{ А.}$$

Коэффициент отсечки:

$$K_o \geq I_o / I_{н.р} = 461,8 / 80 = 5,8.$$

Принимается  $K_o = 7$ .

Номинальный ток автомата:

$$I_{н.а.} \geq I_{н.р.} \geq 80 \text{ А.}$$

Принимается  $I_{н.а.} = 100 \text{ А}$ .

По прилож. Д выбирается ВА 58-31-3. Технические характеристики выбранного автомата представлены в табл. 9.3.

Таблица 9.3

## Технические характеристики автомата ВА 58-31-3

$V_{н.а. В}$	$I_{н.а. А}$	$I_{н.р. А}$	$I_{у(п)} А$	$I_{у(кз)} А$	$I_{откл. кА}$
380	100	80	$1,25 I_{н.р}$	$7 \cdot I_{н.р}$	25кА

3. Выбираются линии электроснабжения с учетом соответствия аппаратам защиты согласно условию:

$$I_{доп} > K_{зщ} I_{у(п)}.$$

Линия с SFI:

Шинопровод ШМА1 запитан кабелем АВВГ, проложенным в металлической трубе в помещении с нормальной средой. Коэффициент защиты принимается  $K_{зщ} = 1$ .

Сечение кабеля выбираем по длительно-допустимому току с учетом соответствия аппарату защиты по условию:

$$I_{доп} > K_{зщ} \cdot I_{у(п)} = 1 \cdot 1,25 \cdot 400 = 500 \text{ А.}$$

Выбираются три кабеля марки АВВГ – 3×(3×95).

Согласно ПУЭ, длительно-допустимый ток для кабеля сечением 95 мм<sup>2</sup> составит:

$$I_{доп} = 3 \times 170 \text{ А.}$$

Условие  $I_{доп} > K_{зщ} \cdot I_{у(п)}$  выполняется, значит сечение кабеля выбрано правильно.

- Линия с SF:

Длительно-допустимый ток в линии:

$$I_{\text{доп}} > K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{у(п)}} = K_{\text{зщ}} \cdot 1,25 \cdot I_{\text{н.р}} = 1 \cdot 1,25 \cdot 80 = 100 \text{ А.}$$

Выбирается провод марки АПВ 3×(1×50).

По прилож. Ж длительно-допустимый ток для провода сечением 50 мм<sup>2</sup> составит:  $I_{\text{доп}} = 130 \text{ А}$ . Так как условие  $I_{\text{доп}} > K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{у(п)}}$  выполняется, следовательно сечение провода выбрано правильно.

**Пример 9.2.** Линия с автоматом типа ВА и РУ типа ШМА4.

Дано распределительное устройство типа ШМА 4-1250-44-У3 с техническими характеристиками:

$$I_{\text{н}} = 1250 \text{ А}; V_{\text{н}} = 660 \text{ В}; i_{\text{в.доп}} = 90 \dots 70 \text{ кА};$$

$$\Delta V_0 = 0,0893 \text{ В/м}; z_0 = 0,0338 \text{ Ом/км}; b \times a = 8 \times 140 \text{ мм};$$

$$x_0 = 0,0163 \text{ Ом/км}; z_0 = 0,0419 \text{ Ом/км}; z_{\text{он.}} = 0,0862 \text{ Ом/км}.$$

Требуется:

- составить схему линии ЭСН;
- выбрать аппарат защиты типа ВА;
- выбрать сечение кабеля типа АВВГ.

Решение:

- Составляется схема линии электроснабжения, обозначаются элементы, указываются основные данные (рис. 9.2.).

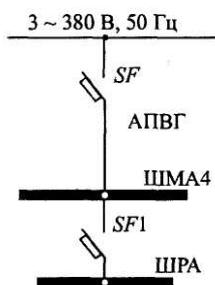


Рис. 9.2. Схема линии электроснабжения

- Определяется длительный ток в линии без ЭД:

$$I_{\text{дл}} = I_{\text{н}} = 1250 \text{ А (по заданию).}$$

- Определяются данные и выбирается аппарат защиты SF типа ВА:

$$I_{\text{н.р}} > I_{\text{д}} = 1250 \text{ А.}$$

$$I_{\text{н.а}} > I_{\text{н.р.}}$$

$I_{\text{н.р}}$  регулируется ступенями:  $0,63 I_{\text{н.а}} - 0,8 I_{\text{н.а}} - 1,0 I_{\text{н.а}}$ ;

$$I_{\text{н.р}} = 0,8 I_{\text{н.а}} = 0,8 \cdot 1600 = 1280 \text{ А.}$$

- По прилож. Д выбирается ВА 53-43-3 с техническими характеристиками:

Таблица 9.4  
Технические характеристики автомата ВА 53-43-3

$V_{\text{н.а}}$ В	$I_{\text{н.а}}$ А	$I_{\text{н.р}}$ А	$I_{\text{у(п)}}$ А	$I_{\text{в(кз)}}$ А	$I_{\text{откл}}$ кА
380	1600	1280	$1,25 I_{\text{н.р}}$	$2 \cdot I_{\text{н.р}}$	31кА

Определяются данные и выбирается кабель типа АВВГ в соответствии с аппаратом защиты:

$$I_{\text{доп}} > K_{\text{зщ}} I_{\text{y(н)}} = 1,25 \times 1280 = 1600 \text{ А.}$$

При прокладке в помещениях с нормальными условиями в воздухе  $K_{\text{зщ}} = 1$ .

По прилож. Ж выбирается кабель АВВГ– 6 × (3 × 185),

$$I_{\text{доп}} = 6 \times 270 \text{ А.}$$

**Пример 9.3.** Линия с автоматом типа ВА и РУ типа ПР 85.

Дано: распределительное устройство типа ПР 85-3099-54-Т2:

$I_n = 400 \text{ А}$ ;  $I_{\text{раб}} = 300 \text{ А}$ ; четыре автомата типа ВА 51-31-3.

Наибольший асинхронный электродвигатель на РУ типа 4А с техническими данными:

$$P_m = 55 \text{ кВт}; \quad \eta = 91 \%; \quad \cos \varphi = 0,92; \quad K_n = I_n / I_{\text{н.д}} = 7,5.$$

Требуется:

- изобразить схему линии электроснабжения;
- выбрать аппарат защиты типа ВА;
- выбрать сечение кабеля типа АВВГ.

Решение. Составляется схема линии электроснабжения, обозначаются элементы, указываются основные данные (рис. 9.3).

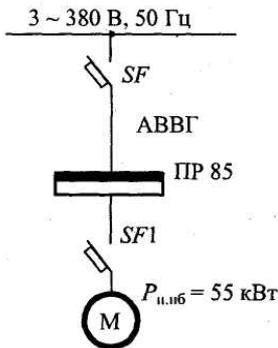


Рис. 9.3. Схема линии электроснабжения

Определяется длительный ток в линии:

$$I_{\text{дл}} = I_{\text{раб}} = 300 \text{ А (по заданию).}$$

Определяются данные и выбирается автомат типа ВА (линия с группой ЭД):

$$I_{\text{н.р}} > 1,1 I_{\text{дл}} = 1,1 \times 300 = 330 \text{ А.}$$

$$I_{\text{на}} > I_{\text{н.р.}}$$

$I_{\text{нр}}$  – регулируется ступенчато: 0,63  $I_{\text{на}}$  – 0,8  $I_{\text{н}}$  – 1,0  $I_{\text{на}}$ .

$$I_0 > 1,25 I_{\text{пик}} = 1,25 \times 949,5 = 1187 \text{ А.}$$

$$I_{\text{пик}} = I_{\text{н.нб}} + I_{\text{раб}} - I_{\text{н.д}} = 749,5 + 300 - 99,9 = 949,5 \text{ А};$$

$$I_{\text{y(н)}} = 1,25 I_{\text{н.р.}}$$

$$I_{\text{н.нб.}} = K_n \cdot I_{\text{н.д.}} = 7,5 \times 99,9 = 749,5 \text{ А};$$

$$I_{н.д.} = \frac{P \cdot 10^3}{\sqrt{3} V_n \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{55 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,92 \cdot 0,91} = 99,9 \text{ А};$$

$$K_o > \frac{I_o}{I_{нр}} = \frac{1187}{400} = 2,97.$$

Принимается  $K_o = 3$ .

По прилож.. Д выбирается ВА 53-37-3.

Таблица 9.5.

Технические характеристики автомата ВА 53-37-3

$V_{н.а.}$ В	$I_{н.а.}$ А	$I_{н.р.}$ А	$I_{y(n)}$ А	$I_{y(kз)}$ А	$I_{откл}$ кА
380	400	400	$1,1 I_{н.р}$	$3 \cdot I_{н.р.}$	20кА

Определяются данные и выбирается проводник типа АВВГ:

$$I_{доп} > K_{зщ} I_{y(n)} = 1,25 \times 400 = 500 \text{ А}.$$

При нормальных условиях прокладки в воздухе  $K_{зщ} = 1$ .

По прилож. Ж выбирается АВВГ-3 × (3 × 95),  $I_{доп} = 3 \times 170 \text{ А}$ .

**Пример 9.4.** Линия с автоматом типа ВА и асинхронным двигателем повторно-кратковременного режима типа МТКР.

Дано: АД типа МТКР 4120-6.

$P_B = 40 \%$ ,  $P_n = 30 \text{ кВт}$ ,  $\eta = 83 \%$ ,  $n_n = 935 \text{ об/мин}$ ;

$M = 981 \text{ Н·м}$ ,  $I_n = 70 \text{ А}$ ,  $I_n = 380 \text{ А}$ ,  $\cos \varphi = 0,78$ .

Требуется:

- изобразить схему линии электроснабжения;
- выбрать аппарат защиты типа ВА;
- выбрать сечение кабеля типа ВРГ.

Решение. Составляется схема линии электроснабжения, обозначаются элементы, указываются основные данные (рис 9.4.).

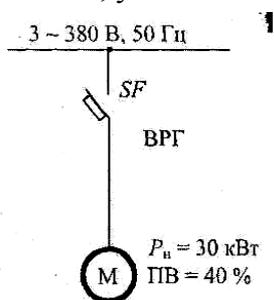


Рис. 9.4. Схема линии электроснабжения

- Определяется длительный ток в линии:

$$I_{дл} = \frac{P_n \cdot 10^3 \cdot \sqrt{ПБ}}{\sqrt{3} V_n \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{30 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{0,4}}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,78 \cdot 0,835} = 44,3 \text{ А}.$$

- Определяются данные и выбирается аппарат защиты типа ВА (линия с одним ЭД):

$$I_{нр} \geq 1,25 \cdot 44,3 = 55,4 \text{ А}.$$

$$I_{на} \geq I_{нр}.$$

По прилож. Д выбирается автомат типа ВА 51-31-3.

Таблица 9.6

Технические характеристики автомата ВА 51-31-3

$V_{н.а.}$ В	$I_{н.а.}$ А	$I_{н.р.}$ А	$I_{у(п)}$ А	$I_{у(кз)}$ А	$I_{откл.}$ кА
380	100	63	$1,35 I_{н.р.}$	$10 \cdot I_{н.р.}$	6кА

$$I_0 \geq 1,2 I_{н.дв.} = 1,2 \cdot 380 = 456 \text{ А,}$$

$$K_0 \geq I_0 / I_{н.р.} = 456 / 63 = 7,2; K_0 = 10.$$

- Определяются данные и выбирается кабель типа ВРГ с учетом соответствия аппарату защиты:

$$I_{доп} \geq K_{зщ} I_{у(п)} = 1,35 \cdot 63 = 85,1 \text{ А.}$$

При нормальной прокладке в воздухе  $K_{зщ} = 1$ .

По прилож. Ж выбирается кабель ВРГ-3×25,  $I_{доп} = 95 \text{ А}$ .

**Пример 9.5.** Линия с автоматом типа АЕ и РУ типа ШОС4.

Дано. РУ типа ШОС 4-63-44 УЗ с номинальными данными:

$$I_n = 63 \text{ А, } V_n = 380 / 220 \text{ В, } i_{у.доп} = 5 \text{ кА; } I_{н.шт} = 25 \text{ А.}$$

Требуется:

- изобразить схему линии электроснабжения;
- выбрать аппарат защиты типа АЕ;
- выбрать провод типа ППВ.

Решение:

- Составляется схема линии электроснабжения, обозначаются элементы, указываются основные данные (рис. 9.5).

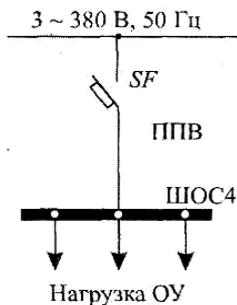


Рис. 9.5. Схема линии электроснабжения

- Определяется длительный ток в линии:

$$I_{дл} = I_n = 63 \text{ А (по заданию).}$$

- Определяются данные и выбирается автомат типа АЕ:

$$I_{н.р.} \geq I_{дл} = 63 \text{ А,}$$

$$I_{н.а.} \geq I_{н.р.}$$

По [5, с. 50] выбирается автоматический выключатель типа АЕ 2046:

Таблица 9.7

Технические характеристики автомата АЕ 2046

$V_{н.а.}$ В	$I_{н.а.}$ А	$I_{н.р.}$ А	$I_{у(п)}$ А	$I_{у(кз)}$ А	$I_{откл.}$ А
380	63	63	$1,25 I_{н.р.}$	$3 \cdot I_{н.р.}$	5кА

- Определяются данные и выбирается провод типа ППВ в соответствии с аппаратом защиты:

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} I_{\text{у(п)}} = 1,25 \cdot 63 = 78,8 \text{ А.}$$

При прокладке в нормальных помещениях в воздухе  $K_{\text{зщ}} = 1$ .

По прилож. Ж выбирается провод марки ППВ-3× 25,  $I_{\text{доп}} = 95 \text{ А}$ .

### Самостоятельная работа студента

#### Задание 9.1.

1. Составить схему линии электроснабжения.
2. Выбрать аппарат защиты.
3. Выбрать сечение проводника.
4. Проверить правильность выбора проводника на соответствие выбранному аппарату защиты.

Данные взять из табл. 9.8

Таблица 9.8

#### Варианты индивидуальных заданий

Вариант	Категория ЭСН	S, м <sup>2</sup>	Номера электроприемников		Вариант
1	1	450	4	5	16
2	2	500	2	24	17
3	3	550	3	7	18
4	2	600	23	6	19
5	3	400	8	19	20
6	1	450	9	18	21
7	3	500	10	11	22
8	1	550	11	10	23
9	2	600	12	22	24
10	1	600	13	25	25
11	2	550	14	24	26
12	3	500	15	26	27
13	2	450	16	27	28
14	3	400	17	28	29
15	1	350	18	29	30

Примечание. Наименования электроприемников даны в табл. Д.5 (прилож. Д).

#### Содержание отчета

1. Начертить схему линии электроснабжения.
2. Письменно ответить на контрольные вопросы.

#### Контрольные вопросы

1. Виды, назначение, условные обозначения аппаратов защиты.
2. Условия выбора линий электроснабжения с учетом соответствия аппарату защиты.
3. Условия выбора автоматических выключателей.
4. Условия выбора предохранителей.
5. Условия выбора тепловых реле.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

### *Расчет токов короткого замыкания*

*Цель занятия:* научиться рассчитывать токи короткого замыкания.  
На занятие отводится четыре часа.

#### Пояснение к работе

Расчитать токи короткого замыкания (КЗ) – это значит:

- по расчетной схеме составить схему замещения, выбрать точки КЗ; рассчитать сопротивления;
- определить в каждой выбранной точке трехфазные, двухфазные и однофазные токи КЗ;
- заполнить «Сводную ведомость токов КЗ».

Схема замещения представляет собой вариант расчетной схемы, в которой все элементы заменены сопротивлениями, а магнитные связи – электрическими. Точки КЗ выбираются на ступенях распределения и на конечном электроприемнике.

Точки КЗ нумеруются сверху вниз, начиная от источника.

Для определения токов КЗ используются следующие соотношения:

а) ток трехфазного короткого замыкания, кА:

$$I_k^{(3)} = \frac{V_k}{\sqrt{3}Z_k},$$

где  $V_k$  – линейное напряжение в точке КЗ, кВ;  $Z_k$  – полное сопротивление до точки КЗ, Ом;

б) ток двухфазного короткого замыкания, кА:

$$I_k^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_k^{(3)} = 0,87 \times I_k^{(3)},$$

в) ток однофазного короткого замыкания, кА:

$$I_k^{(1)} = \frac{V_{\text{кф}}}{Z_n + \frac{Z_T^{(1)}}{3}},$$

где  $V_{\text{кф}}$  – фазное напряжение в точке КЗ, кВ;  $Z_n$  – полное сопротивление петли фаза – нуль до точки КЗ, Ом;  $Z_T^{(1)}$  – полное сопротивление трансформатора однофазному КЗ, Ом;

г) ударный ток, кА:

$$i_y = \sqrt{2} K_y I_k^{(3)},$$

где  $K_y$  – ударный коэффициент, определяется по графику

$$K_y = F \cdot \left( \frac{R_k}{X_k} \right).$$

Примечание. График (рис. 9.1) может быть построен при обратном соотношении,

$$K_y = F \cdot \left( \frac{X_k}{R_k} \right).$$

д) действующее значение ударного тока, кА:

$$I_y = q \cdot I_k^{(3)},$$

где  $q$  – коэффициент действующего значения ударного тока.

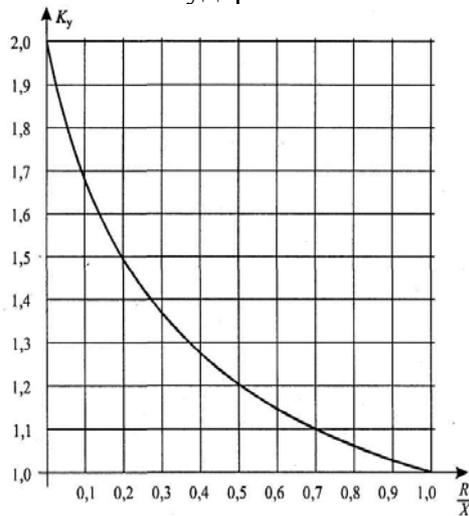


Рис. 10.1. Зависимость  $K_y = F \left( \frac{R_k}{X_k} \right)$

$$Q = \sqrt{1 + 2(K_y - 1)^2}.$$

Сопротивления схем замещения определяются следующим образом:

1. Для силовых трансформаторов по табл. И.1 прилож. И или расчетным путем из соотношений:

$$R_T = \Delta P_k \left( \frac{V_{\text{нн}}}{S_T} \right)^2 \cdot 10^6, \quad Z_T = U_k \frac{V_{\text{нн}}^2}{S_T} \cdot 10^4; \quad X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2};$$

где  $\Delta P_k$  – потери активной мощности КЗ, кВт,  $U_k$  – напряжение КЗ, %;  $V_{\text{нн}}$  – линейное напряжение обмотки низкого напряжения (НН), кВ;  $S_T$  – полная мощность трансформатора, кВА.

2. Для трансформаторов тока сопротивления схем замещения определяются по табл. И.2 (прилож. И).

3. Для коммутационных и защитных аппаратов – по табл. И.3. Сопротивления зависят от номинального тока аппарата  $I_{\text{на}}$ .

Примечание. Сопротивление предохранителей не учитывается, а у рубильников учитывается только переходное сопротивление контактов.

4. Для ступеней распределения сопротивления схем замещения определяются по табл. И.4 (прилож. И).

5. Для линий электроснабжения кабельных, воздушных и шинопроводов из соотношений:

$$R_{\text{л}} = r_0 \cdot L_{\text{л}}; \quad X_{\text{л}} = x_0 \cdot L_{\text{л}};$$

где  $r_0$  и  $x_0$  – удельные активное и индуктивное сопротивления, мОм/м;  $L_{\text{л}}$  – протяженность линии, м.

Удельные сопротивления для расчета трехфазных и двухфазных токов КЗ определяются по таблицам И.6, И.7, И.8.

При отсутствии данных  $r_0$  можно определить расчетным путем:

$$r_0 = 10^3 / \gamma S,$$

где  $S$  – сечение проводника, мм;  $\gamma$  – удельная проводимость материала, м/(Ом мм).

Принимается:  $\gamma = 30$  м/(Ом  $\times$  мм<sup>2</sup>) – для алюминия,

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

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

При отсутствии данных  $x_0$  можно принять равным :

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

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

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

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

При расчете однофазных токов КЗ значение удельных индуктивных сопротивлений петли фаза–нуль принимается равным:

$X_{0 \text{ п}} = 0,15$  мОм/м – для КЛ до 1 кВ и проводов в трубах,

$X_{0 \text{ п}} = 0,6$  мОм/м – для ВЛ до 1 кВ,

$X_{0 \text{ п}} = 0,4$  мОм/м – для изолированных открыто проложенных проводов,

$X_{0 \text{ п}} = 0,2$  мОм/м – для шинопроводов.

Удельное активное сопротивление петли фаза–нуль определяется для любых линий по формуле:

$$r_{0 \text{ п}} = 2 r_0.$$

6. Для неподвижных контактных соединений значения активных переходных сопротивлений определяют по табл. И.8.

Примечание 1. При расчетах можно использовать следующие значения  $K_y$ :

$K_y = 1,2$  – при КЗ на ШНН трансформаторов мощностью до 400 кВА;

$K_y = 1,3$  – при КЗ на ШНН трансформаторов мощностью более 400 кВА;

$K_y = 1$  – при более удаленных точках;

$K_y = 1,8$  – при КЗ в сетях ВН, где активное сопротивление не оказывает существенного влияния. Сопротивления элементов на высоком напряжении приводятся к низкому напряжению по формулам:

$$R_{\text{нн}} = R_{\text{вн}} \left( \frac{V_{\text{нн}}}{V_{\text{вн}}} \right)^2; \quad X_{\text{нн}} = X_{\text{вн}} \left( \frac{V_{\text{нн}}}{V_{\text{вн}}} \right)^2;$$

где  $R_{\text{нн}}$  и  $X_{\text{нн}}$  – сопротивления, приведенные к НН, мОм;  $R_{\text{вн}}$  и  $X_{\text{вн}}$  – сопротивления на ВН, мОм;  $V_{\text{нн}}$  и  $V_{\text{вн}}$  – напряжение низкое и высокое, кВ.

Примечание 2. На величину тока КЗ могут оказать влияние АД мощностью более 100 кВт с напряжением до 1 кВ в сети, если они подключены вблизи места КЗ. Объясняется это тем, что при КЗ резко снижается напряжение, а АД, вращаясь по инерции, генерирует ток в месте КЗ. Этот ток быстро затухает, а поэтому учитывается в начальный момент при определении периодической составляющей и ударного тока.

$$\Delta I_{\text{по(ад)}} = 4,5 \cdot I_{\text{н(ад)}}; \quad \Delta i_y = 6,5 \cdot I_{\text{н(ад)}},$$

где  $I_{\text{н(ад)}}$  – номинальный ток одновременно работающих АД.

**Пример 9.1.** Дано: расчетная схема (рис. 9.2а).

$L_{ВН} = 3 \text{ км};$

$L_{кл1} = 5 \text{ м}$  (длина линии электрообеспечения от ШНН до ШМА1);

$L_{ш} = 2 \text{ м}$  (участок ШМА1 до ответвления);

$L_{кл2} = 20 \text{ м}$  (длина линии ЭСН от ШМА1 до потребителя).

Требуется:

- составить схему замещения, пронумеровать точки КЗ;
- рассчитать сопротивления и нанести их на схему замещения;
- определить токи КЗ в каждой точке и составить «Сводную ведомость токов КЗ».

Решение. Составляется схема замещения (рис. 9.2б) и нумеруются точки КЗ в соответствии с расчетной схемой.

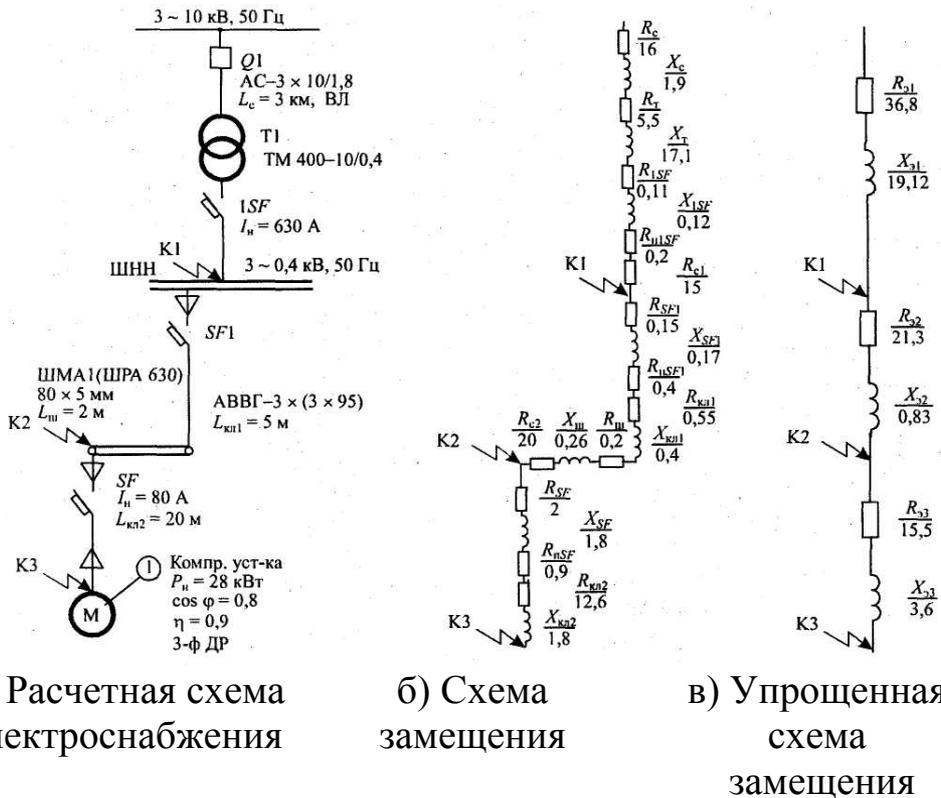


Рис. 10.2. Схемы электрообеспечения

Вычисляются сопротивления элементов и наносятся на схему замещения (рис. 10.2б).

Для системы:

$$I_c = \frac{S_m}{\sqrt{3}V_c} = \frac{400}{1,73} = 23,1 \text{ А.}$$

Воздушная линия электропередач выполнена голым проводом марки АС-3  $\times 10 / 1,8$ ;  $I_{\text{доп}} = 84 \text{ А}$ ;  $x_0 = 0,4 \text{ Ом/км}$ ;

$$x'_c = x_0 L_c = 0,4 \cdot 3 = 1,2 \text{ Ом};$$

$$r_0 = 10^3 / \gamma S = 10^3 / 30 \cdot 10 = 3,33 \text{ Ом/км};$$

$$R_c = r_0 L_c = 3,33 \cdot 3 = 10 \text{ Ом}.$$

Сопротивления приводятся к НН:

$$R_c = R'_c \left( \frac{V_{\text{НН}}}{V_{\text{ВН}}} \right)^2 = 10 \cdot (0,4 / 10)^2 \cdot 10^3 = 16 \text{ мОм};$$

$$X_c = X'_c \left( \frac{V_{\text{НН}}}{V_{\text{ВН}}} \right)^2 = 1,2 \cdot (0,4 / 10)^2 \cdot 10^3 = 1,9 \text{ мОм}.$$

Для трансформатора по табл. И.1 определяем:

$$R_T = 5,5 \text{ мОм}, \quad X_T = 17,1 \text{ мОм}; \quad Z_T^{(1)} = 195 \text{ мОм}.$$

Для автоматов – по табл. И.3:

$$1\text{SF} \quad R_{1\text{SF}} = 0,11 \text{ мОм} \quad X_{1\text{SF}} = 0,12 \text{ мОм}; \quad R_{\text{н}1\text{SF}} = 0,2 \text{ мОм}$$

$$\text{SF1} \quad R_{\text{SF1}} = 0,15 \text{ мОм}; \quad X_{\text{SF1}} = 0,17 \text{ мОм}; \quad R_{\text{н}SF1} = 0,4 \text{ мОм};$$

$$\text{SF} \quad R_{\text{SF}} = 2 \text{ мОм}; \quad X_{\text{SF}} = 1,8 \text{ мОм}; \quad R_{\text{н}SF} = 0,9 \text{ мОм}.$$

Для кабельных линий – по табл. И.5:

$$\text{КЛ1:} \quad r_0' = 0,33 \text{ мОм/м}; \quad x_0 = 0,08 \text{ мОм/м}.$$

Так как в схеме три параллельных кабеля, то

$$r_0 = (1/3) \cdot r_0' = (1/3) \cdot 0,33 = 0,11 \text{ мОм/м};$$

$$R_{\text{кл1}} = r_0 L_{\text{кл1}} = 0,11 \cdot 5 = 0,55 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{кл1}} = x_0 L_{\text{кл1}} = 0,08 \cdot 5 = 0,4 \text{ мОм}.$$

$$\text{КЛ2:} \quad r_0 = 0,63 \text{ мОм/м}; \quad x_0 = 0,09 \text{ мОм/м}.$$

$$R_{\text{кл2}} = 0,63 \cdot 20 = 12,6 \text{ мОм};$$

$$x_{\text{кл2}} = 0,09 \cdot 20 = 1,8 \text{ мОм}.$$

Для шинпровода ШРА 630 из табл. И.6 берем значения переходных сопротивлений:

$$r_0 = 0,1 \text{ мОм/м}; \quad x_0 = 0,13 \text{ мОм/м};$$

$$r_{\text{оп}} = 0,2 \text{ мОм/м}; \quad x_{\text{оп}} = 0,26 \text{ мОм/м};$$

$$R_{\text{ш}} = r_0 L_{\text{ш}} = 0,1 \cdot 2 = 0,2 \text{ мОм};$$

$$x_{\text{ш}} = x_0 L_{\text{ш}} = 0,13 \cdot 2 = 0,26 \text{ мОм}.$$

Для ступеней распределения значения переходных сопротивлений берем из табл. И.3:

$$R_{C1} = 15 \text{ мОм}; \quad R_{C2} = 20 \text{ мОм}.$$

По упрощенной схеме замещения вычисляются эквивалентные сопротивления на участках между точками КЗ и наносятся на схему (рис. 10.2в).:

$$R_{\text{э1}} = R_c + R_T + R_{1\text{SF}} + R_{\text{н}1\text{SF}} + R_{C1} = 16 + 5,5 + 0,11 + 0,2 + 15 = 36,8 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{э1}} = X_c + X_T + X_{1\text{SF}} = 1,9 + 17,1 + 0,12 = 19,12 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{э2}} = R_{\text{SF1}} + R_{\text{н}SF1} + R_{\text{кл1}} + R_{\text{ш}} + R_{C2} = 1,15 + 0,4 + 0,55 + 0,2 + 20 = 22,3 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{э2}} = X_{\text{SF1}} + X_{\text{кл1}} + X_{\text{ш}} = 0,17 + 0,4 + 0,26 = 0,83 \text{ мОм};$$

$$R_{\text{э3}} = R_{\text{SF}} + R_{\text{н}SF} + R_{\text{кл2}} = 2 + 0,9 + 12,6 = 15,5 \text{ мОм};$$

$$X_{\text{э3}} = X_{\text{SF}} + X_{\text{кл2}} = 1,8 + 1,8 = 3,6 \text{ мОм}.$$

Вычисляются сопротивления до каждой точки КЗ и заносятся в «Сводную ведомость токов КЗ» (табл. 10.1.):

$$R_{к1} = R_{з1} = 36,8 \text{ мОм}; \quad X_{к1} = X_{з1} = 19,12 \text{ мОм};$$

$$Z_{к1} = \sqrt{R_{к1}^2 + X_{к1}^2} = \sqrt{36,8^2 + 19,12^2} = 41,5 \text{ мОм};$$

$$R_{к2} = R_{з1} + R_{з2} = 36,8 + 21,3 = 58,1 \text{ мОм};$$

$$X_{к2} = X_{з1} + X_{з2} = 19,12 + 0,83 = 19,95 \text{ мОм};$$

$$Z_{к2} = \sqrt{R_{к2}^2 + X_{к2}^2} = \sqrt{58,1^2 + 19,98^2} = 61,4 \text{ мОм};$$

$$R_{к3} = R_{к2} + R_{з3} = 58,1 + 15,5 = 73,6 \text{ мОм};$$

$$X_{к3} = X_{к2} + X_{з3} = 19,95 + 3,6 = 23,55 \text{ мОм};$$

$$Z_{к3} = \sqrt{R_{к3}^2 + X_{к3}^2} = \sqrt{73,6^2 + 23,55^2} = 77,3 \text{ мОм};$$

$$\frac{R_{к1}}{X_{к1}} = \frac{36,8}{19,12} = 1,9; \quad \frac{R_{к2}}{X_{к2}} = \frac{58,1}{19,95} = 2,9; \quad \frac{R_{к3}}{X_{к3}} = \frac{73,6}{23,55} = 3,1.$$

Определяются коэффициенты  $K_y$  (рис. 9.4.) и  $q$ :

$$K_{y1} = F\left(\frac{R_{к1}}{X_{к1}}\right) = F(1,9) = 1,0.$$

$$K_{y2} = F\left(\frac{R_{к2}}{X_{к2}}\right) = F(2,9) = 1,0.$$

$$K_{y3} = F\left(\frac{R_{к3}}{X_{к3}}\right) = F(3,1) = 1,0.$$

$$q_1 = \sqrt{1 + 2(K_{y1} - 1)^2} = \sqrt{1 + 2(1,0 - 1)^2} = 1.$$

$$q_2 = q_3 = 1.$$

Определяются трехфазные и двухфазные токи КЗ и заносятся в «Сводную ведомость токов короткого замыкания» (табл. 10.1).

$$I_{к1}^{(3)} = \frac{V_{к1}}{\sqrt{3}Z_{к1}} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 41,5} = 5,6 \text{ кА};$$

$$I_{к2}^{(3)} = \frac{V_{к2}}{\sqrt{3}Z_{к2}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 61,4} = 3,6 \text{ кА};$$

$$I_{к3}^{(3)} = \frac{V_{к3}}{\sqrt{3}Z_{к3}} = \frac{0,38 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 77,3} = 2,8 \text{ кА};$$

$$I_{yк1} = q_1 \cdot I_{к1}^{(3)} = 5,6 \text{ кА};$$

$$I_{yк2} = q_2 \cdot I_{к2}^{(3)} = 3,6 \text{ кА};$$

$$I_{yк3} = q_3 \cdot I_{к3}^{(3)} = 2,8 \text{ кА};$$

$$i_{yк1} = \sqrt{2}K_{y1} \cdot I_{к1}^{(3)} = 1,41 \cdot 1,0 \cdot 5,6 = 7,9 \text{ кА};$$

$$i_{yк2} = \sqrt{2}K_{y2} \cdot I_{к2}^{(3)} = 1,41 \cdot 3,6 = 5,1 \text{ кА};$$

$$i_{yк3} = \sqrt{2}K_{y3} \cdot I_{к3}^{(3)} = 1,41 \cdot 2,8 = 4,0 \text{ кА};$$

$$I_{к1}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{к1}^{(3)} = 0,87 \cdot 5,6 = 4,9 \text{ кА};$$

$$I_{к2}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{к2}^{(3)} = 0,87 \cdot 3,6 = 3,1 \text{ кА};$$

$$I_{к3}^{(2)} = 0,87 \cdot I_{к3}^{(3)} = 0,87 \cdot 2,8 = 2,4 \text{ кА}.$$

Таблица 10.1

Сводная ведомость токов КЗ

Точка КЗ	$R_{к}$ , МОм	$X_{к}$ , МОм	$Z_{к}$ , МОм	$R_{к}/X_{к}$	$K_y$	$q$	$I_{к}^{(3)}$ , кА	$I_y$ , кА	$I_{\infty}^{(3)}$ , кА	$I_{к}^{(2)}$ , кА	$Z_{п}$ , МОм	$I_{к}^{(1)}$ , кА
К1	36,8	19,1	41,5	1,9	1,0	1	5,6	7,9	5,6	4,9	15	2,9
К2	58,1	19,9	61,4	2,9	1,0	1	3,6	5,1	3,6	3,1	36,9	2,2
К3	73,6	23,5	77,3	3,1	1,0	1	2,8	4,0	2,8	2,4	62,3	1,7

Составляется схема замещения для расчета однофазных токов КЗ (рис. 10.3) и определяются сопротивления.

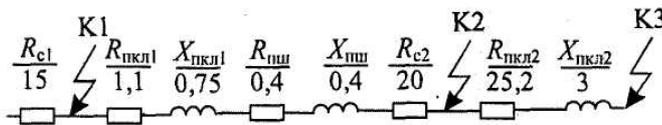


Рис. 10.3. Схема замещения для расчета 1-фазных токов КЗ

Для кабельных линий:

$$X_{пк1} = x_{0п}L = 0,15 \cdot 5 = 0,75 \text{ МОм};$$

$$R_{пк1} = 2r_0L_{к1} = 2 \cdot 0,11 \cdot 5 = 1,1 \text{ МОм};$$

$$R_{пш} = r_{0пш}L_{ш} = 0,26 \cdot 2 = 0,4 \text{ МОм};$$

$$X_{пш} = x_{0пш}L_{ш} = 0,26 \cdot 20,52 \text{ МОм};$$

$$R_{пк2} = 2r_0L_{к2} = 0,15 \cdot 20 = 3 \text{ МОм};$$

$$Z_{п1} = 15 \text{ МОм};$$

$$R_{п2} = R_{c1} + R_{пк1} + R_{пш} + R_{c2} = 15 + 1,1 + 0,4 + 20 = 36,5 \text{ МОм};$$

$$X_{п2} = X_{пк1} + X_{пш} = 0,75 + 0,52 = 1,27 = 1,3 \text{ МОм};$$

$$Z_{п2} = \sqrt{R_{п2}^2 + X_{п2}^2} = \sqrt{36,5^2 + 1,3} = 36,9;$$

$$R_{п3} = R_{п2} + R_{пк2} = 36,5 + 25,5 = 61,7 \text{ МОм};$$

$$X_{п3} = X_{п2} + X_{пк2} + 1,3 + 3 = 4,3 \text{ МОм};$$

$$Z_{п3} = \sqrt{R_{п3}^2 + X_{п3}^2} = \sqrt{61,7^2 + 4,3} = 62,3 \text{ МОм};$$

$$I_{\kappa 1}^{(1)} = \frac{V_{\kappa \phi}}{Z_{n1} + Z_m^{(1)} / 3} = \frac{0,23 \cdot 10^3}{15 + 195 / 3} = 2,9 \text{ кА};$$

$$I_{\kappa 2}^{(1)} = \frac{V_{\kappa \phi}}{Z_{n2} + Z_m^{(1)} / 3} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{36,9 + 195 / 3} = 2,2 \text{ кА};$$

$$I_{\kappa 3}^{(1)} = \frac{V_{\kappa \phi}}{Z_{n3} + Z_m^{(1)} / 3} = \frac{0,22 \cdot 10^3}{62,3 + 195 / 3} = 1,7 \text{ кА}.$$

Примечание. Длина шинпровода  $L_{\text{ш}}$  до отвления используется в том случае, если при распределении нагрузки, указанной номером, электроприемник подключен к шинпроводу. В остальных случаях принимать  $L_{\text{ш}} = 0$ .

## Самостоятельная работа студента

### Задание 10.1

Таблица 10.2

#### Варианты индивидуальных заданий

Вариант	№ ЭП	$L_{\text{ВН}}, \text{ км}$	$L_{\text{вп1}}, \text{ м}$	$L_{\text{вп2}}, \text{ м}$	$L_{\text{ш}}, \text{ м}$	$L_{\text{ш}}, \text{ м}$	$L_{\text{вп2}}, \text{ м}$	$L_{\text{вп1}}, \text{ м}$	$L_{\text{ВН}}, \text{ км}$	№ ЭП	Вариант
1	2	3	4	5	6	6	5	4	3	2	1
1	4	1,5	15	30	6	5,5	25	15	2	6	16
2	2	3	20	25	4,5	6	20	20	1,8	24	17
3	3	4,5	25	20	3	5,5	15	25	1,6	7	18
4	23	6	30	15	1,5	5	10	30	1,5	6	19
5	8	7,5	35	10	1	4,5	30	10	1,4	19	20
6	9	9	40	5	0,5	4	5	40	1,2	2	21
7	10	10,5	20	28	1	3,5	28	20	1	11	22
8	11	12	15	23	1,5	3	23	25	2,5	10	23
9	12	13,5	25	18	2	2,5	18	30	2,4	22	24
10	13	6	40	13	2,5	2	15	10	2,3	12	25
11	14	15	30	8	3	1,5	13	15	2,2	20	26
12	15	16,5	25	20	3,5	1	8	35	2,1	21	27
13	16	18	15	15	4	0,5	10	40	0,8	17	28
14	17	19,5	30	10	4,5	3	15	25	0,6	16	29
15	18	21	10	25	5	2	20	5	3	1	30

Примечание. Наименования электроприемников даны в табл. Д.5 (прилож. Д).

### Содержание отчета

1. Начертить расчетную схему, схему замещения.

2. Расчеты оформить в тетради.
3. Ответить на контрольные вопросы.

### Контрольные вопросы

1. Основные понятия и соотношения токов КЗ.
2. Способы расчетов токов КЗ.
3. Электродинамическое и термическое действие токов КЗ.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4

### *Проверка элементов цеховой сети*

*Цель занятия:* научиться проверять аппараты защиты на надежность срабатывания, на отключающую способность, на отстройку от пусковых токов.

На занятие отводится четыре часа.

### Пояснение к работе

Аппараты защиты проверяют:

- 1) на надежность срабатывания согласно условиям:
  - для предохранителей

$$I_{\text{к}}^{(1)} \geq 3I_{\text{вс}};$$

- для автоматов с комбинированным расцепителем:

$$I_{\text{к}}^{(1)} \geq 3I_{\text{н.р}};$$

- для автоматов только с максимальным расцепителем на  $I_{\text{на}} < 100 \text{ А}$

$$I_{\text{к}}^{(1)} > 1,4I_0;$$

- для автоматов только с максимальным расцепителем на  $I_{\text{на}} > 100 \text{ А}$

$$I_{\text{к}}^{(1)} > 1,25I_0;$$

где  $I_{\text{к}}^{(1)}$  – однофазный ток короткого замыкания КЗ, кА;  $I_{\text{вс}}$  – номинальный ток плавкой вставки предохранителя, кА;  $I_{\text{н.р}}$  – номинальный ток расцепителя автомата, кА;  $I_0$  – ток отсечки автомата, кА;

- 2) на отключающую способность согласно условию:

$$I_{\text{откл}} > \sqrt{2} I_{\infty}^{(3)},$$

где  $I_{\text{откл}}$  – ток автомата по каталогу, кА;  $I_{\infty}^{(3)}$  – трехфазный ток КЗ в установившемся режиме, кА;

- 3) на отстройку от пусковых токов согласно условиям для электродвигателя:

$$I_0 = I_{\text{у(кз)}} > I_{\text{п}};$$

для распределительного устройства с группой ЭД:

$$I_0 = I_{\text{у(кз)}} > I_{\text{пик}};$$

где  $I_{\text{у(кз)}}$  – ток установки автомата в зоне КЗ, кА;  $I_{\text{п}}$  – пусковой ток электродвигателя, кА.

Провода и кабели проверяют:

1. На соответствие выбранному аппарату защиты согласно условию:  
для автоматов и тепловых реле:

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{у(н)}};$$

для предохранителей

$$I_{\text{доп}} \geq K_{\text{зщ}} \cdot I_{\text{вс}};$$

где  $I_{\text{доп}}$  – допустимый ток проводника по каталогу, А;  $I_{\text{у(н)}}$  – ток уставки автомата в зоне перегрузки, А;  $K_{\text{зщ}}$  – кратность (коэффициент) защиты (табл. Д.1, прилож. Д);  $I_{\text{вс}}$  – ток плавкой вставки предохранителя.

2. На термическую стойкость согласно условию:

$$S_{\text{кл}} \geq S_{\text{кл.тс}},$$

где  $S_{\text{кл}}$  – фактическое сечение кабельной линии, мм<sup>2</sup>;  $S_{\text{кл.тс}}$  – термически стойкое сечение кабельной линии мм<sup>2</sup>.

Шинопроводы проверяют:

3. На динамическую стойкость согласно условию:

$$\sigma_{\text{ш.доп}} \geq \sigma_{\text{ш}},$$

где  $\sigma_{\text{ш.доп}}$  – допустимое механическое напряжение в шинопроводе, Н / см<sup>2</sup>;  
 $\sigma_{\text{ш}}$  – фактическое механическое напряжение в шинопроводе, Н/см<sup>2</sup>;

4. На термическую стойкость согласно условию:

$$S_{\text{ш}} \geq S_{\text{ш.тс}},$$

где  $S_{\text{ш}}$  – фактическое сечение шинопровода, мм<sup>2</sup>;  $S_{\text{ш.тс}}$  – термически стойкое сечение шинопровода, мм<sup>2</sup>.

Действие токов КЗ бывает динамическим и термическим.

### ***Динамическое действие токов короткого замыкания.***

При прохождении тока в проводниках возникает механическая сила, которая стремится их сблизить (одинаковое направление тока) или оттолкнуть (противоположное направление тока).

Максимальное усиление на шину определяется по формуле:

$$F_{\text{м}}^{(3)} = 0,176 \frac{\ell}{a} i_{\text{у}}^2,$$

где  $F_{\text{м}}^{(3)}$  – максимальное усилие, Н;  $\ell$  – длина пролета между соседними опорами, см;  $a$  – расстояние между осями шин, см;  $i_{\text{у}}$  – ударный ток КЗ, трехфазный, кА.

*Примечание.* При отсутствии данных  $\ell$  принимается равным кратному числу от 1,5 м, т. е. 1,5–3–4,5–6 м.

Величина  $a$  принимается равной 100, 150, 200 мм.

Наибольший изгибающий момент ( $M_{\text{max}}$  Н · см) определяется следующим образом:

$$M_{\text{max}} = 0,125 F_{\text{м}}^{(3)} \quad (\text{при двух пролетах}),$$

$$M_{\text{max}} = 0,1 F_{\text{м}}^{(3)} \cdot \ell \quad (\text{при трех и более пролетах}).$$

Напряжение ( $\sigma$ , Н / см<sup>2</sup>) в материале шин от изгиба определяется по формуле:

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W},$$

где  $W$  – момент сопротивления сечения,  $\text{см}^3$ .

При расположении шин плашмя:

$$W = \frac{b^2 h}{6},$$

для круглых шин с диаметром  $d$ ,  $\text{см}$ :

$$W = 0,1d^3,$$

при расположении шин широкими сторонами друг к другу:

$$W = \frac{bh^2}{6}.$$

Шины будут работать надежно, если выполнено условие:

$$\sigma_{\text{доп}} \geq \sigma.$$

Для сравнения с расчетным значением принимают:

$$\sigma_{\text{доп}} = 14 \cdot 10^3 \text{ Н/см}^2 \text{ – для меди};$$

$$\sigma_{\text{доп}} = 7 \cdot 10^3 \text{ Н/см}^2 \text{ – для алюминия};$$

$$\sigma_{\text{доп}} = 16 \cdot 10^3 \text{ Н/см}^2 \text{ – для стали}.$$

Если при расчете оказалось, что  $\sigma \geq \sigma_{\text{доп}}$ , то для выполнения условия необходимо увеличить расстояние между шинами ( $a$ ) или уменьшить пролет между опорами – изоляторами.

На динамическую стойкость проверяют шины, опорные и проходные изоляторы, трансформаторы тока.

### ***Термическое действие токов короткого замыкания***

Ток КЗ вызывает дополнительный нагрев токоведущих частей и аппаратов. Повышение температуры сверх допустимой снижает прочность изоляции, так как время действия тока КЗ до срабатывания защиты невелико (доли секунды), то согласно ПУЭ допускается кратковременное увеличение температуры токоведущих частей (табл. И.9 прилож. И).

Минимальное термически стойкое сечение :

$$S_{\text{тс}} = \alpha I_{\infty}^{(3)} \sqrt{t_{\text{пр}}},$$

где  $\alpha$  – термический коэффициент, принимается:  $\alpha = 6$  – для меди;  $\alpha = 11$  – для алюминия;  $\alpha = 15$  – для стали;  $I_{\infty}^{(3)}$  – установившийся трехфазный ток КЗ,  $\text{kA}$ ;  $t_{\text{пр}}$  – приведенное время действия тока КЗ,  $\text{с}$  (табл. 11.1).

Таблица 11.1

Значения приведенного времени действия тока КЗ

Параметр	Степень							
	4		3		2		1	
$t_{\text{дс}}$	01	0,2	0,5	1	1,5	2	3	4
$t_{\text{прс}}$	0,1	0,2	0,5	0,9	1,2	1,7	2,5	3,5

Время действия тока КЗ  $t_d$  (табл. 11.1) имеет две составляющих: время срабатывания защиты  $t_3$  и время отключения и выключения  $t_b$ :

$$t_d = t_3 + t_b.$$

Должно быть выполнено условие термической стойкости:

$$S_{ш} \geq S_{ш.тс.}$$

Примечание. Отсчет ступеней распределения ведется от источника. Если условие не выполняется, то следует уменьшить  $t_d$  (быстродействие защиты).

*Проверка по потере напряжения* производится для характерной линии электроснабжения.

Характерной линией является та, у которой произведение  $K_n \cdot I_n \cdot L$  – наибольшая величина, где  $K_n$  – кратность пускового тока (для линии с электродвигателем) или тока перегрузки (для линии без электродвигателя);  $I_n$  – номинальный ток потребителя, А;  $L$  – расстояние от начала линии до потребителя, м.

При отсутствии данных принимается:

$K_n = 6 \dots 6,5$  для синхронных электродвигателей (СД) и асинхронных с короткозамкнутым ротором;

$K_n = 2 \dots 3$  для АД с фазным ротором и машин постоянного тока.

Примечание. Обычно это линия с наиболее мощным ЭД или наиболее удаленным потребителем.

Для выполнения проверки составляется расчетная схема. В зависимости от способа задания нагрузки применяется один из трех вариантов:

а) по токам участков

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^2}{V_n} I \ell (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi);$$

б) по токам ответвлений

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \cdot 10^2}{V_n} i L (r_0 \cos \varphi + x_0 \sin \varphi);$$

в) по мощностям ответвлений

$$\Delta V = \frac{10^5}{V_n^2} (P r_0 + Q x_0) L;$$

где  $\Delta V$  – потеря напряжения, %;  $V_n$  – номинальное напряжение, В;  $I$  – ток участка, А;  $i$  – ток ответвления, А;  $\ell$  – длина участка, км;  $L$  – расстояние от начала ответвления;  $P$  – активная мощность ответвления, кВт;  $Q$  – реактивная мощность ответвления, квар;  $r_0$ ,  $x_0$  – удельные активное и индуктивное сопротивления, Ом /км.

Данную формулу следует применить для всех участков с различным сечением, а затем сложить результаты.

Должно быть выполнено условие:

$$\Delta V < 10 \% \text{ от } V_{\text{ном}}$$

**Пример 11.1.** Дано: линия электрообеспечения с результатами расчетов аппаратов защиты, проводников и токов КЗ (данные из примера 10.1) представлена на рис. 11.1 а технические данные автоматов и сводная ведомость токов КЗ даны в табл. 11.2–11.5.

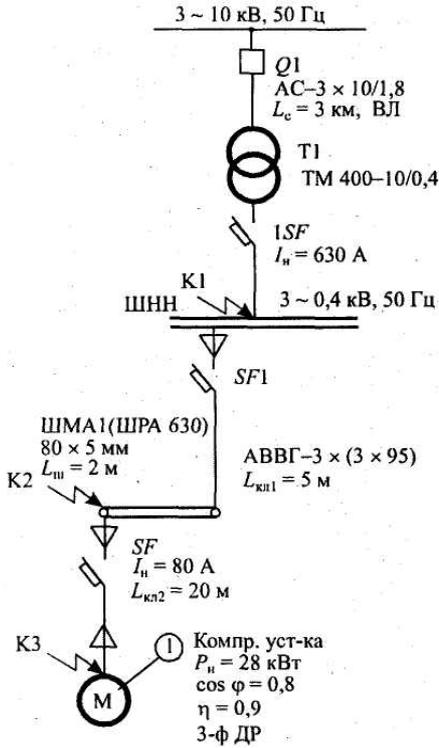


Рис. 11.1. Расчетная схема

Таблица 11.2

Технические характеристики автомата SF1 ВА 55-39-3

$V_{\text{н.а.}}$	$I_{\text{н.а.}}$	$I_{\text{н.р.}}$	$I_{\text{у(п)}}$	$I_{\text{у(кз)}}$	$I_{\text{откл}}$
В	А	А	А	А	кА
380	400	400	$1,25 I_{\text{н.р}}$	$5 \cdot I_{\text{н.р}}$	25кА

Таблица 11.3

Технические характеристики автомата SF ВА 58-31-3

$V_{\text{н.а.}}$	$I_{\text{н.а.}}$	$I_{\text{н.р.}}$	$I_{\text{у(п)}}$	$I_{\text{у(кз)}}$	$I_{\text{откл}}$
В	А	А	А	А	кА
380	100	80	$1,25 I_{\text{н.р}}$	$7 \cdot I_{\text{н.р}}$	25кА

Таблица 11.4

Технические характеристики автомата SF1 ВА 55-39-3

$V_{\text{н.а.}}$	$I_{\text{н.а.}}$	$I_{\text{н.р.}}$	$I_{\text{у(п)}}$	$I_{\text{у(кз)}}$	$I_{\text{откл}}$
В	А	А	А	А	кА
380	630	630	$1,25 I_{\text{н.р}}$	$2 \cdot I_{\text{н.р}}$	25кА

Шины установлены плашмя:  $b = 5 \text{ мм}$ ,  $h = 80 \text{ мм}$ ,  $a = 100 \text{ мм}$ ,

Таблица 11.5

*Сводная ведомость токов КЗ*

Точка КЗ	$I_K^{(3)}$ , кА	$I_y$ , кА	$I_\infty^{(3)}$ , кА	$I_K^{(2)}$ , кА	$I_K^{(1)}$ , кА
К1	5,6	7,9	5,6	4,9	2,9
К2	3,6	5,1	3,6	3,1	2,2
К3	2,8	4,0	2,8	2,4	1,7

*Требуется проверить:*

- аппарат защиты по токам КЗ;
- проводники по токам КЗ;
- линию электроснабжения по потере напряжения.

Решение:

1. Согласно условиям по токам КЗ, аппараты защиты проверяются:

- на надежность срабатывания:

$$\text{ISF: } I_{K1}^{(1)} > 3I_{н.р(\text{ISF})}; 2,9 > 3 \cdot 0,63 \text{ кА};$$

$$\text{SF1 } I_{K2}^{(1)} > 3I_{н.р(\text{SF1})}; 2,2 > 3 \cdot 0,4 \text{ кА};$$

$$\text{SF: } I_{K3}^{(1)} > 3I_{н.р(\text{SF1})}; 1,7 > 3 \cdot 0,08 \text{ кА}.$$

Надежность срабатывания автоматов обеспечена:

- на отключающую способность:

$$1\text{SF: } I_{откл(1\text{SF})} \geq \sqrt{2}I_{K1\infty}^{(3)}; 25 > 1,41 \cdot 5,6;$$

$$\text{SF1: } I_{откл(\text{SF1})} \geq \sqrt{2}I_{K2\infty}^{(3)}; 25 > 1,41 \cdot 3,6;$$

$$\text{SF: } I_{откл(\text{SF})} \geq \sqrt{2}I_{K2\infty}^{(3)}; 25 > 1,41 \cdot 2,8.$$

- на отстройку от пусковых токов; учтено при выборе  $K_0$  для  $I_{y(кз)}$  каждого автомата:

$$I_{y(кз)} > I_n \text{ (для ЭД)};$$

$$I_{y(кз)} > I_{пик} \text{ (для РУ)}.$$

2. Согласно условиям проводники проверяются:

- на термическую стойкость:

$$\text{КЛ (ШНН–ШМА): } S_{КЛ1} \geq S_{КЛ1-тс}; 3 \times 95 > 74,1 \text{ мм}^2;$$

$$S_{КЛ1-тс} = \alpha I_{K2\infty}^{(3)} \sqrt{t_{пр(1)}} = 11 \cdot 3,6 \cdot \sqrt{3,5} = 74,1 \text{ мм}^2.$$

$$\text{По табл. 11.1 } t_{пр(1)} = 3,5 \text{ с.}$$

$$\text{КЛ (ШМА– компрессорная установка): } S_{КЛ2} > S_{КЛ2-тс} 50 > 40,2 \text{ мм}^2:$$

$$S_{КЛ2-тс} = \alpha I_{K3\infty}^{(3)} \sqrt{t_{пр(II)}} = 11 \cdot 2,8 \cdot \sqrt{1,7} = 40,2 \text{ мм}^2.$$

$$\text{По табл. 11.1 } t_{пр(II)} = 1,7 \text{ с.}$$

По термической стойкости кабельные линии удовлетворяют.

При выборе сечения проводника учтено условие:

$$I_{доп} \geq K_{зщ} \cdot I_{y(n)}.$$

- 3. Согласно условиям шинопровод проверяется на динамическую стойкость:

$$\sigma_{ш.доп} \geq \sigma_{ш}.$$

Для алюминиевых шин  $\sigma_{\text{доп}} = 7 \cdot 10^3 \text{ Н / см}^2$ .

$$\sigma_{\text{ш}} = \frac{M_{\text{max}}}{W} = \frac{5150}{5,3} = 972 \text{ Н/см}^2.$$

$$M_{\text{max}} = 0,125 \cdot F_M^{(3)} \ell = 0,125 \cdot 137,3 \cdot 3 \cdot 10^2 = 5150 \text{ Н} \cdot \text{см};$$

так как  $L_{\text{ш}} = 2 \text{ м}$ , то достаточно иметь один пролет  $\ell = 3 \text{ м}$ .

$$F_M^{(3)} = 0,176 \frac{\ell}{\alpha} i_{y.k2}^2 = 0,176 \frac{3 \cdot 10^2}{10} \cdot 5,1^2 = 137,3 \text{ Н}.$$

Принимается установка шин плашмя с  $a = 100 \text{ мм}$  (рис. 11.2).

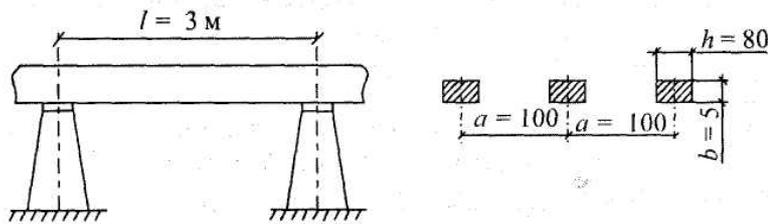


Рис. 11.2. Установка шин на опорах

$$W = \frac{bh^2}{6} = \frac{5 \cdot 10^{-1} (80 \cdot 10^{-1})^2}{6} = 5,3 \text{ см}^3.$$

$$\sigma_{\text{ш. доп}} \geq \sigma_{\text{ш.}}; \quad 7 \cdot 10^3 \geq 0,972 \cdot 10^3; \quad S_{\text{ш}} = bh = 5 \cdot 80 = 400 \text{ мм}^2;$$

Шинопровод проверяется на термическую стойкость.

$$S_{\text{ш. тс.}} = \alpha I_{K2\infty}^{(3)} \sqrt{t_{\text{пр}}} = 11 \cdot 3,6 \cdot \sqrt{3,5} = 74,1 \text{ мм}^2;$$

$$S_{\text{ш}} \geq S_{\text{ш. тс.}}; \quad 400 \text{ мм}^2 \geq 74,1 \text{ мм}^2.$$

Шинопровод термически устойчив, следовательно, он выдержит кратковременно нагрев при КЗ до  $200 \text{ }^\circ\text{С}$ .

4. По потере напряжения линия ЭСН должна удовлетворять условию:

$$\Delta V \leq 0,1 V_n.$$

Составляется расчетная схема для потерь напряжения (рис. 11.3) и наносятся необходимые данные.

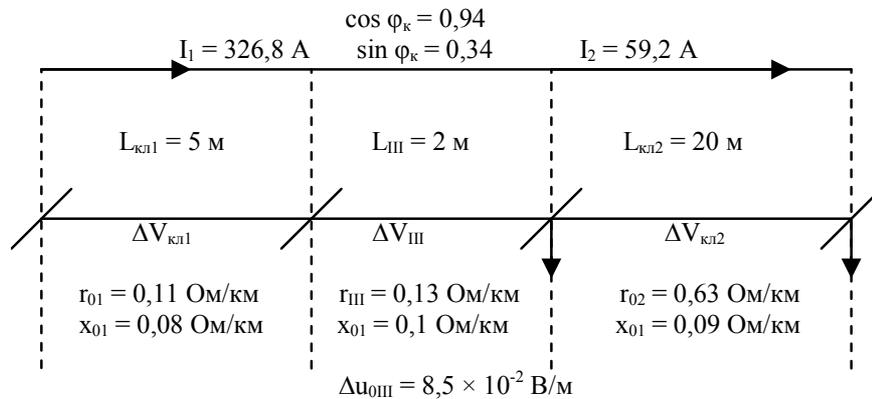


Рис. 11.3. Расчетная схема потерь напряжения

Так как токи участков известны, то наиболее целесообразно выбрать вариант расчета  $\Delta V$  по токам участков.

$$\begin{aligned} \Delta V_{\text{кп1}} &= \frac{\sqrt{3} \cdot 10^2}{V_n} I_1 L_{\text{кп1}} (r_{01} \cos \varphi_k + x_{01} \sin \varphi_k) = \\ &= \frac{1,73 \cdot 10^2}{380} \cdot 326,8 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot (0,11 \cdot 0,94 + 0,08 \cdot 0,34) = 0,1 \% ; \\ \Delta V_{\text{ш}} &= \frac{\sqrt{3} \cdot 10^2}{V_n} I_1 L_{\text{ш}} (r_{0ш} \cos \varphi_k + x_{0ш} \sin \varphi_k) = \\ &= \frac{1,73 \cdot 10^2}{380} \cdot 326,8 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot (0,13 \cdot 0,94 + 0,1 \cdot 0,34) = 0,05 \% . \end{aligned}$$

Потери напряжения на участке 2 можно определить и по удельным потерям в шинопроводе:

$$\Delta V_{\text{ш}} = \Delta U_{0ш} \cdot L_{\text{ш}} = 8,5 \cdot 10^{-2} \cdot 2 = 17 \cdot 10^{-2} \text{ В}.$$

Потери напряжения на участке 3 (рис. 11.3):

$$\begin{aligned} \Delta V_{\text{кп2}} &= \frac{\sqrt{3}}{V_n} I_2 L_{\text{кп2}} (r_{02} \cos \varphi_k + x_{02} \sin \varphi_k) \cdot 100 \% . \\ \Delta V_{\text{кп2}} &= \frac{1,73 \cdot 10^2}{380} \cdot 59,2 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot (0,63 \cdot 0,94 + 0,09 \cdot 0,34) = 0,3 \% . \end{aligned}$$

Суммарные потери напряжения составят:

$$\begin{aligned} \Delta V &= \Delta V_{\text{кп1}} + \Delta V_{\text{ш}} + \Delta V_{\text{кп2}} = 0,1 + 0,05 + 0,3 = 0,45 \% . \\ \Delta V &\leq \Delta V_{\text{доп}} = 0,45 \% < 10 \% . \end{aligned}$$

Выполненные проверки элементов электроснабжения показали их пригодность для всех режимов работы.

**Самостоятельная работа студента**

## Задание

1. Проверить аппараты защиты и проводники по токам короткого замыкания.

2. Проверить линию электроснабжения.

Данные взять из примера 8.1 практического занятия № 8, а токи короткого замыкания – из задания № 9.1.

## Содержание отчета

1. Расчеты оформить в тетради для практических занятий.

2. Ответить на контрольные вопросы.

## Контрольные вопросы

1. Условия проверки аппаратов защиты.

2. Условия выбора кабелей.

3. Условия выбора шин и изоляторов.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5

### *Определение количества и мощности трансформаторов*

*Цель занятия:* изучить методы определения мощности трансформаторов.

На занятие отводится четыре часа.

### Пояснения к работе

Правильный выбор числа и мощности трансформаторов на подстанции промышленного предприятия является одним из основных вопросов рационального построения системы электроснабжения.

#### ***Выбор трансформаторов на главной понизительной подстанции(ГПП):***

При преобладании на предприятии нагрузок первой и второй категории надежности главная понизительная подстанция выполняется двухтрансформаторной. Мощность трансформаторов выбирается такой, чтобы при выходе из работы одного из них, второй воспринял основную нагрузку подстанции с учетом допустимой перегрузки в послеаварийном режиме до 60–70 % на время максимума и возможного временного отключения потребителей 3 категории.

Мощность трансформаторов ГПП можно определять по заданному суточному графику нагрузки за характерные сутки года для нормальных и аварийных режимов, с учётом компенсации реактивной мощности.

Для этого по суточному графику нагрузки потребителя устанавливают продолжительность максимальной нагрузки  $t$  и коэффициент заполнения графика  $K_{зг}$ .

$$K_{зг} = S_{ср} / S_{max},$$

где  $S_{\text{ср}}$ ,  $S_{\text{max}}$  – средняя и максимальная нагрузки трансформаторов.

По значениям коэффициента загрузки  $K_{зг}$  и продолжительности  $t$  максимальной активной нагрузки определяется коэффициент кратности допустимой нагрузки трансформаторов  $K_{н}$  (рис. 12.1).

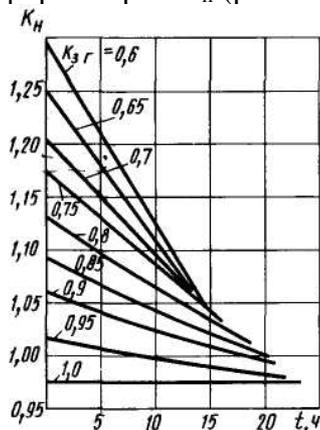


Рис. 12.1. Кривые кратности допустимых нагрузок трансформатора  
Номинальная мощность трансформатора определяется по формуле:

$$S_{\text{ном. тр.}} = \frac{S_{\text{max}}}{K_{н}} = \frac{P_{\text{см}}}{N \cdot \cos \phi \cdot K_{н}},$$

где  $S_{\text{max}}$  – максимальная расчетная мощность предприятия;  $N$  – количество трансформаторов на ГПП.

Трансформатор выбирается по шкале стандартных мощностей: 100, 160, 250, 400, 630, 1000, 1600, 2500 кВА.

Установленную мощность трансформатора проверяют в аварийном режиме при выводе одного трансформатора в ремонт. При длительных перегрузках до 6 часов в сутки допускается перегрузка на 40 % сверх номинального тока в течение не более 5 суток.

$$1,4 \cdot S_{\text{ном.тр}} \geq \frac{S\%_{\text{потр. I и II кат}}}{100\%} \cdot S_{\text{max}},$$

где  $S\%_{\text{потр. I, II кат}}$  – процентное содержание нагрузки I и II категории надежности.

**Пример 12.1.** Максимальная нагрузка на шинах 110/10кВ ГПП составляет  $S_{\text{max}} = 20$  МВА при времени максимума  $t = 2$  ч. Среднесуточная нагрузка  $S_{\text{ср}} = 15$  МВА. Потребители I и II категории составляют 75 % от максимальной нагрузки. Требуется выбрать число и мощность трансформаторов ГПП.

Решение. Так как на предприятии имеются потребители I и II категории, то на ГПП устанавливаются два трансформатора. Коэффициент заполнения графика составит:

$$K_{зг} = S_{\text{ср}} / S_{\text{max}} = 15 / 20 = 0,75.$$

По величинам  $K_{зг} = 0,75$  и  $t = 2$  ч. Находим коэффициент допустимой нагрузки трансформатора  $K_n = 1,16$  (рис. 12.1).

Номинальная мощность трансформатора составит:

$$S_{\text{ном. тр.}} = \frac{S_{\text{max}}}{K_n} = 20 / 1,16 = 17 \text{ МВА.}$$

К установке принимаем два трансформатора по 16 МВА. Коэффициент нагрузки в нормальном режиме при максимуме составит:

$K_{зг} = S_{\text{max}} / 2 S_{\text{ном}} = 20 / 2 \cdot 16 = 0,63$ , что соответствует экономическому режиму.

Проверяем установленную мощность трансформатора в аварийном режиме при отключении одного трансформатора:

$$1,4 \cdot S_{\text{ном. тр.}} = 1,4 \cdot 16 = 22500 > 0,75 \cdot S_{\text{max}} = 0,75 \cdot 20 = 15 \text{ МВА.}$$

Следовательно выбранные мощности трансформаторов обеспечивают электроснабжение предприятия как в нормальном, так и в аварийном режимах.

### **Выбор мощности трансформаторов цеховых подстанций**

Ориентировочно выбор единичной мощности трансформаторов цеховых подстанций может производиться по удельной плотности нагрузки и полной расчетной нагрузке объекта. При удельной плотности более  $0,2-0,3$  кВ А/ м<sup>2</sup> и суммарной нагрузке более 3000–4000 кВА целесообразно применять цеховые трансформаторы мощностью соответственно 1600, 2500 кВА. При удельной плотности и суммарной нагрузке ниже указанных значений наиболее экономичны трансформаторы мощностью 400–1000 кВА. Прежде чем определить число цеховых трансформаторов, необходимо выбрать тип, единичную мощность и коэффициент загрузки трансформатора.

Число цеховых трансформаторов N:

$$N = S_p / S_{\text{ном}} \cdot K_3,$$

где  $S_p$  – полная расчетная мощность потребителей;  $K_3$  – коэффициент загрузки трансформаторов.

$K_3 = 0,65 \div 0,7$  – при преобладании нагрузок первой категории для двух трансформаторных ТП.

$K_3 = 0,7 \div 0,8$  – при преобладании нагрузок второй категории для однотрансформаторных подстанций в случае взаимного резервирования трансформаторов на низшем напряжении.

$K_3 = 0,9 \div 0,95$  – при преобладании нагрузок второй категории и наличии централизованного резерва трансформаторов и при нагрузке третьей категории.

$K_3 = 0,5 \div 0,55$  – на ступенях высшего напряжения и СЭС (ГПП, УРП).

На двух трансформаторных подстанциях дополнительно проверяется перегрузка трансформаторов в аварийном режиме.

Выбор мощности однострансформаторных ТП производится по средней нагрузке:

$$S_{\text{ном}} \geq S_{\text{ср.}}$$

С проверкой перегрузочной способности трансформатора в часы максимальной нагрузки:

$$S_p \leq K_n \cdot S_{\text{ном.}}$$

$K_n$  определяют по кривым кратностей дополнительных перегрузок с использованием коэффициента загрузки, полученного для ГПП, а продолжительность максимальной нагрузки  $t$  берем по суточному графику.

Прежде чем определить количество цеховых трансформаторов, необходимо выбрать тип, единичную мощность  $S_{\text{ном.т}}$  и  $K_{з.т}$ .

Количество трансформаторов в целом по предприятию зависит от степени компенсации реактивной мощности в сетях напряжением до 1 кВ и допустимых перегрузок нормальных и аварийных режимов.

Количество трансформаторов при практически полной компенсации реактивной мощности в сети до 1кВ:

$$N_{\text{min}} = \frac{P_{\text{расч}\Sigma\text{нн}}}{K_{з.т} \cdot S_{\text{ном.т}}}.$$

Количество трансформаторов при отсутствии компенсации в сети до 1 кВ  $N_{\text{max}}$

$$N_{\text{max}} = \frac{S_{\text{расч}\Sigma\text{нн}}}{K_{з.т} \cdot S_{\text{ном.т}}}.$$

Далее необходимо сравнить варианты количества трансформаторов:

$$N_{\text{min}}; N_{\text{min}} + \Delta N_{\text{т}}; N_{\text{max}};$$
$$(\Delta N_{\text{т}} = 1,2 \cdot (N_{\text{max}} - N_{\text{min}})).$$

Оптимальный вариант выбирается на основании технико-экономических расчетов.

При окончательном выборе количества цеховых трансформаторов в целом по заводу принимаются во внимание следующие основания: обеспечение требования надежности электроснабжения; длина кабельных линий напряжением до 1 кВ не должна превышать 200 м; учет взаимного расположения трансформаторов и питающих линий напряжением 6–10 кВ на генеральном плане предприятия. В сетях напряжением 6–10 кВ с трансформацией на напряжение до 1 кВ преимущественно рекомендуется использование однострансформаторных подстанций при преобладании нагрузок III и II категории и при нагрузках I категории надежности, если их величина составляет не более 15–20 % нагрузки подстанции. Взаимное ре-

зервирование схем с одноторансформаторными подстанциями осуществляется при помощи перемычек на напряжение до 1 кВ.

Двухтрансформаторные ТП с установкой секционного выключателя с АВР на напряжение до 1 кВ рекомендуется применять при преобладании нагрузок I и II категории, при сосредоточенных нагрузках с высокой удельной плотностью (0,5–0,7 кВА/м<sup>2</sup>) и если имеются электроприемники особой группы (компрессоры, вентиляторы). Двухтрансформаторные подстанции также целесообразны при неравномерном суточном и годовом графиках нагрузки. В случаях режимов минимальных нагрузок целесообразно отключать один трансформатор, что определяется условиями оплаты за электроэнергию по двухставочному тарифу.

### Самостоятельная работа студента

#### Задание 12.1

Выбрать число и мощность трансформаторов на ГПП напряжением 110/10 кВ. Исходные данные представлены в табл. 12.1.

Таблица 12.1

№ вари- анта	S <sub>max</sub> , МВА	Исходные данные		%, I и II кат.
		S <sub>ср</sub> , МВА	T, ч	
1	25	20	2	70
2	32	28	2	65
3	28	22	3	68
4	31	26	4	77
5	42	37	4	80
6	18	12	5	85
7	19	14	5	75
8	22	18	2	70
9	17	11	2	82
10	23	18	3	87

#### Содержание отчета

1. Исходные данные.
2. Расчетные данные.
3. Заключение.
4. Ответы на контрольные вопросы.

#### Контрольные вопросы

1. Какие существуют методы выбора номинальной мощности трансформатора ГПП?
2. От чего зависит количество трансформаторов на цеховых ТП?

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6

### Определение места расположения трансформаторных подстанций

*Цель занятия:* научиться правильно определять месторасположение цеховых ТП, определять центр электрических нагрузок.

На занятие отводится два часа.

#### Пояснение к работе

Определить местоположение главной понизительной подстанции – значит найти координаты центра электрических нагрузок.

Важно, чтобы подстанция находилась возможно ближе к центру питаемых от нее нагрузок. При одинаковой расчетной нагрузке, но различном числе часов работы подразделений завода подстанция должна быть ближе к группе потребителей с большим коэффициентом использования. Допускается смещение подстанции от геометрического центра питаемых ею нагрузок в сторону ввода питания от энергосистемы.

Сначала на генеральном плане строятся оси координат  $X$  и  $Y$  и наносятся центры электрических нагрузок каждого цеха, которые совпадают с геометрическим центром зданий.

С учетом размеров территории генплана выбирается масштаб нагрузок, ориентируясь на наибольшую и наименьшую нагрузки.

$$m_a = P_{н.м} / \pi R_{н.м}^2,$$

$$m_a = P_{н.б} / \pi R_{н.б}^2,$$

$$m_p = Q_{н.м} / \pi R_{н.м}^2,$$

$$m_p = Q_{н.б} / \pi R_{н.б}^2,$$

где  $m$  – масштаб активных и реактивных нагрузок, кВт/мм<sup>2</sup> или квар/ м<sup>2</sup>;  $P_{н.м}$ ,  $Q_{н.м}$  – наименьшая мощность цеха, кВт или квар;  $R_{н.м}$  – наименьший визуально воспринимаемый радиус картограммы нагрузки, мм;  $P_{н.б}$  – цех с наибольшей активной нагрузкой.

Масштаб округляется и принимается как для активных, так и для реактивных нагрузок.

Определяются радиусы окружности  $r_{ia}$  активных и  $r_{ip}$  реактивных нагрузок всех цехов для построения картограммы нагрузок:

$$R_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi \cdot m}},$$

$$R_i = \sqrt{\frac{Q_i}{\pi \cdot m}},$$

где  $P_i$  – расчетная активная нагрузка  $i$ -го – цеха кВт;  $Q_i$  – расчетная реактивная нагрузка  $i$ -го – цеха, квар;

$$R_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi \cdot m}},$$

где  $m$  – масштаб для картограммы, кВт/мм<sup>2</sup>.

Наибольший радиус нагрузки должен быть не более половины расстояния до соседнего здания:

$$r \leq 1/2 \cdot \ell,$$

где  $\ell$  – расстояние до ближайшего цеха.

Координаты центра электрических нагрузок завода ( ЦЭН ) определяются по формулам:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n P_i}; \quad y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n P_i}.$$

Для определения местоположения компенсирующей установки определяют координаты точки В:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n Q_i}; \quad y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n Q_i},$$

где  $x_i, y_i$  – координаты ЦЭН  $i$ -го – цеха;  $P_i$  – расчётная нагрузка  $i$ -го – цеха.

Генеральный план завода с картограммой нагрузок представлен на рис. 13.1.

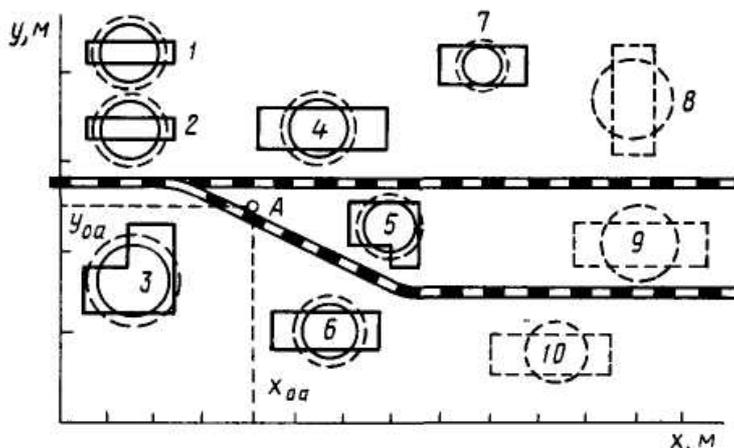


Рис. 13.1. Генеральный план завода с картограммой нагрузок

### Размещение цеховых трансформаторных и распределительных подстанций на генеральном плане предприятия

Размещение на генеральном плане ТП и РП обусловлено величиной и характером электрических нагрузок, их расположением, а также производственными, архитектурно-строительными и эксплуатационными требованиями. Должны учитываться следующие факторы: конфигурация производственных зданий, расположение технологического оборудования, условия окружающей среды, условия охлаждения трансформатора,

требования пожарной и электрической безопасности и типы используемого оборудования.

ТП следует размещать как можно ближе к центру электрических нагрузок потребителей. Для этого должны применяться встроенные в здания цеха или пристроенные к нему ТП, питающие отдельные цеха или их части. ТП размещаются вне цеха только при невозможности размещения внутри его или при расположении части нагрузок вне цеха.

Выбранная подстанция должна занимать минимум полезной площади цеха, удовлетворять требованиям пожарной и электрической безопасности и не создавать помех производственным процессам. Встроенные и пристроенные подстанции располагаются вдоль одной из длинных сторон цеха или в шахматном порядке вдоль двух его сторон при небольшой ширине цеха. Допускается минимальное расстояние 10 м между соседними камерами разных внутрицеховых подстанций, а также между КТП.

Минимальные габариты размещения КТП в длину:

однотрансформаторные до 1000 кВА	7–8 м
1600–2500 кВА	8–9 м
двухтрансформаторные до 1000 кВА	12–13 м
1600 кВА	16,5 м

Ширина для всех КТП не менее 4,3 м.

Внутрицеховые подстанции могут размещаться только в зданиях со степенью огнестойкости 1 и 11 и с производствами, отнесенными к категориям Г и Д согласно противопожарным нормам. Следует учитывать, что при установке в одном помещении нескольких трансформаторов, их предельная суммарная мощность не должна превышать **6500 кВА**, а число КТП должно быть не более **трех**.

Отдельно стоящие ТП применяются, например, при питании от одной подстанции нескольких цехов, невозможности размещения подстанции внутри цехов или у их наружных стен по соображениям производственного и архитектурного характера, при наличии в цехах пожароопасных или взрывоопасных производств.

Распределительные подстанции также рекомендуется пристраивать или встраивать в производственные здания и совмещать с ближайшими ТП во всех случаях, когда это не вызывает значительного смещения последних от центра их нагрузок.

Конденсаторные батареи могут размещаться в распределительном пункте до 1 кВ и выше.

*Пример 13.1. Дано: генплан завода размером 3 × 2 км с силовыми нагрузками цехов. Координаты цехов и их силовая нагрузка представлены в табл. 13.1.*

Таблица 13.1

## Исходные данные

Параметр	Номер цеха				
	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Ц5
P, кВт	100	160	1000	400	25
X, км	0,6	1,45	2,4	1,55	0,4
Y, км	1,45	1,25	0,9	0,55	0,4
cosφ	0,7	0,75	0,9	0,8	0,6

Требуется:

- определить координаты центра активных и реактивных нагрузок;
- нанести данные на генплан.

Решение. Примем масштаб генплана  $m = 0,2$  км / см. На генплан наносятся центры электрических нагрузок каждого цеха согласно исходным данным.

Исходя из масштаба генплана определяются радиусы кругов активных и реактивных нагрузок цехов.

Для наименьшей нагрузки (Ц5) принимается радиус  $R = 0,1$  км, тогда:

$$m_a = 25 / 3,14 \times 0,1^2 = 796 \text{ кВт/ км}^2,$$

принимается  $m_a = 800$  кВт/ км<sup>2</sup>.

Определяется радиус для наибольшей нагрузки (Ц3) при принятом масштабе кВт/ км<sup>2</sup>.

$$R_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi \cdot m}} = \sqrt{\frac{1000}{3,14 \cdot 800}} = 0,63 \text{ км.}$$

Определяются радиусы кругов остальных нагрузок, результаты расчетов заносятся в табл. 13.2.

Определяются реактивные нагрузки каждого цеха из соотношения:

$$Q_i = P_i \operatorname{tg} \varphi.$$

Определяются радиусы кругов для реактивных нагрузок при том же масштабе, а результаты заносятся в табл. 13.2

Нагрузки наносятся кругами на генплан: активные – сплошной линией, реактивные – пунктирной.

Определяются координаты центра активной электрической нагрузки:

$$x_{0a} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{100 \cdot 0,6 + 160 \cdot 1,45 + 1000 \cdot 2,4 + 400 \cdot 1,55 + 25 \cdot 0,4}{100 + 160 + 1000 + 400 + 25} = 2 \text{ км.}$$

$$y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{100 \cdot 1,45 + 160 \cdot 1,25 + 1000 \cdot 0,9 + 400 \cdot 0,55 + 25 \cdot 0,4}{100 + 160 + 1000 + 400 + 25} = 0,88 \text{ км.}$$

Вблизи точки А (2,0; 0,88) устанавливается ГПП.

Аналогично находятся координаты центра реактивной мощности и место установки конденсаторной батареи. Точка В имеет координаты (2,3; 0,83).

Таблица 13.2

Сводная ведомость нагрузок цеха

Параметр	Номер цеха				
	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Ц5
P, кВт	100	160	1000	400	25
R <sub>p</sub> , км	0,2	0,25	0,63	0,4	0,1
cosφ	0,7	0,75	0,9	0,8	0,6
tgφ	1,02	0,88	0,48	0,75	1,33
Q, квар	102	141	480	300	33
R <sub>p</sub> , км	0,22	0,24	0,44	0,35	0,11

### Самостоятельная работа студента

#### Задание 13.1

Определить место установки ГПП. Исходные данные для расчета представлены в табл.13.3.

Таблица 13.3

Варианты задания

Вариант	Ц1		Ц2		Ц3		Ц4		Ц5	
	P <sub>1</sub> , кВт	cosφ <sub>1</sub>	P <sub>2</sub> , кВт	cosφ <sub>2</sub>	P <sub>3</sub> , кВт	cosφ <sub>3</sub>	P <sub>4</sub> , кВт	cosφ <sub>4</sub>	P <sub>5</sub> , кВт	cosφ <sub>5</sub>
	(X <sub>1</sub> ; Y <sub>1</sub> )		(X <sub>2</sub> ; Y <sub>2</sub> )		(X <sub>3</sub> ; Y <sub>3</sub> )		(X <sub>4</sub> ; Y <sub>4</sub> )		(X <sub>5</sub> ; Y <sub>5</sub> )	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	25	0,7	40	0,75	63	0,8	100	0,85	160	0,9
	0,4; 0,4		0,5; 1,4		1,5; 1,2		2,4; 1,0		1,5; 0,5	
2	160	0,7	100	0,75	63	0,8	40	0,85	25	0,9
	0,5; 0,5		0,5; 1,2		1,6; 1,3		2,5; 1,2		1,6; 1,7	
3	100	0,85	25	0,7	40	0,75	64	0,8	160	0,9
	0,5; 1,5		1,5; 1,2		2,6; 1,0		1,6; 0,7		0,5; 0,5	
4	40	0,75	63	0,8	100	0,85	160	0,9	25	0,7
	0,5; 1,4		1,4; 1,5		2,7; 1,2		1,8; 0,8		0,6; 0,7	
5	63	0,8	100	0,85	160	0,9	25	0,7	40	0,75

	0,4; 0,9		1,2; 1,6		2,6; 1,3		1,8; 0,6		0,7; 0,9	
6	250	0,72	100	0,8	400	0,9	630	0,85	1000	0,83
	0,7; 1,0		1,5; 1,8		1,6; 0,8		1,9; 2,0		0,5; 2,0	
7	100	0,8	400	0,9	630	0,85	1000	0,83	250	0,72
	0,5; 0,5		0,6; 1,6		1,5; 0,5		1,7; 1,2		2,6; 1,0	
8	400	0,9	630	0,85	1000	0,83	250	0,72	100	0,8
	0,4; 0,6		0,6; 1,5		1,5; 0,6		1,8; 1,3		2,5; 1,2	

Продолж. табл. 13.3

Вариант	Ц1		Ц2		Ц3		Ц4		Ц5	
	$P_1, \text{кВт}$	$\cos\varphi_1$	$P_2, \text{кВт}$	$\cos\varphi_2$	$P_3, \text{кВт}$	$\cos\varphi_3$	$P_4, \text{кВт}$	$\cos\varphi_4$	$P_5, \text{кВт}$	$\cos\varphi_5$
	$(X_1; Y_1)$		$(X_2; Y_2)$		$(X_3; Y_3)$		$(X_4; Y_4)$		$(X_5; Y_5)$	
9	630	0,85	1000	0,83	250	0,72	100	0,8	400	0,9
	0,6; 0,7		0,6; 1,2		1,6; 0,7		1,8; 1,4		2,4; 1,5	
10	1000	0,83	250	0,72	100	0,8	630	0,9	400	0,85
	0,7; 0,8		0,6; 1,4		1,6; 0,6		1,7; 1,5		2,5; 1,4	
11	160	0,85	100	0,7	25	0,75	40	0,8	63	0,9
	0,6; 0,5		0,6; 1,2		1,5; 0,4		1,5; 1,2		2,6; 0,6	
12	100	0,7	63	0,9	25	0,75	40	0,8	160	0,85
	0,5; 0,6		0,5; 1,4		1,3; 0,5		1,3; 1,4		2,7; 0,8	
13	63	0,9	40	0,8	25	0,75	160	0,85	100	0,7
	0,4; 0,5		0,4; 1,5		0,4; 0,6		1,4; 1,3		2,5; 1,0	
14	40	0,8	25	0,7	160	0,85	100	0,7	63	0,9
	0,5; 0,4		0,5; 1,6		1,2; 0,7		1,2; 1,5		2,4; 1,2	
15	25	0,75	160	0,85	100	0,7	63	0,9	40	0,8
	0,4; 0,6		0,4; 1,5		1,6; 0,5		1,6; 1,6		2,5; 1,5	
16	1000	0,7	630	0,75	400	0,8	100	0,85	250 2,5; 0,5	0,9
	0,6; 0,3		0,5; 1,5		1,5; 1,2		1,4; 0,4			
17	630	0,7	400	0,75	100	0,8	250	0,85	160	0,9
	0,5; 0,4		0,5; 1,5		1,5; 1,3		1,4; 0,5		2,5; 0,8	
18	400	0,75	100	0,8	250	0,85	160	0,9	1000	0,7
	0,4; 0,5		0,5; 1,5		1,5; 1,4		1,4; 0,6		2,5; 1,0	
19	100	0,8	250	0,85	160	0,9	1000	0,7	630	0,75
	0,7; 0,4		0,5; 1,5		1,5; 1,2		1,4; 0,5		2,5; 1,2	
20	250	0,85	160	0,9	1000	0,7	630	0,75	400	0,8

	0,5; 0,6		0,5; 1,6		1,5; 1,2		1,4; 0,4		2,5; 1,6	
21	630	0,7	1000	0,8	400	0,9	250	0,75	160	0,85
	0,7; 0,7		0,5; 1,6		1,4; 1,2		1,2; 0,4		2,7; 0,4	
22	400	0,7	1000	0,8	250	0,9	160	0,75	630	0,85
	0,6; 0,6		0,5; 1,5		1,4; 1,3		1,2; 0,5		2,7; 0,6	
23	100	0,7	1000	0,9	630	0,8	250	0,85	160	0,75
	0,3; 0,3		0,5; 1,4		1,4; 1,4		1,2; 0,6		2,7; 0,8	

Окончание табл. 13.3

Вариант	Ц1		Ц2		Ц3		Ц4		Ц5	
	P <sub>1</sub> , кВт	cosφ <sub>1</sub>	P <sub>2</sub> , кВт	cosφ <sub>2</sub>	P <sub>3</sub> , кВт	cosφ <sub>3</sub>	P <sub>4</sub> , кВт	cosφ <sub>4</sub>	P <sub>5</sub> , кВт	cosφ <sub>5</sub>
	(X <sub>1</sub> ; Y <sub>1</sub> )		(X <sub>2</sub> ; Y <sub>2</sub> )		(X <sub>3</sub> ; Y <sub>3</sub> )		(X <sub>4</sub> ; Y <sub>4</sub> )		(X <sub>5</sub> ; Y <sub>5</sub> )	
24	250	0,8	1000	0,7	160	0,9	400	0,75	630	0,85
	0,4; 0,4		0,5; 1,5		1,4; 1,5		1,2; 0,7		2,7; 1,0	
25	160	0,75	1000	0,8	630	0,85	100	0,9	250	0,7
	0,5; 0,5		0,5; 1,2		1,4; 1,6		1,2; 0,5		2,7; 1,2	
26	100	0,6	630	0,8	400	0,85	25	0,7	1000	0,9
	0,3; 0,3		0,4; 1,0		1,2; 1,4		1,6; 0,4		2,8; 0,6	
27	250	0,8	630	0,8	400	0,75	40	0,6	1000	0,85
	0,4; 0,4		0,4; 1,1		1,2; 1,5		1,6; 0,5		2,8; 0,8	
28	25	0,6	400	0,7	630	0,8	63	0,75	1000	0,9
	0,3; 0,3		0,4; 1,2		1,2; 1,6		1,6; 0,3		2,8; 1,0	
29	40	0,7	400	0,8	630	0,9	63	0,6	1000	0,85
	0,4; 0,4		0,4; 1,3		1,2; 1,7		1,6; 0,5		2,8; 1,2	
30	63	0,7	1000	0,8	220	0,7	40	0,75	630	0,9
	0,5; 0,4		0,4; 1,5		1,2; 1,8		1,6; 0,5		2,8; 1,6	

### Содержание отчета

1. Исходные данные.
2. Расчетные данные.
3. Заключение.
4. Ответы на контрольные вопросы.

### Контрольные вопросы

1. Чем обуславливается местоположение ГПП и цеховых ТП?
2. Что представляет собой картограмма нагрузок?



## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7

### *Расчет нагрузки осветительной сети*

*Цель занятия:* изучить основные методы расчета нагрузки осветительных сетей, научиться рассчитывать нагрузку электрического освещения методом удельной мощности.

На занятие отводится два часа.

#### Пояснение к работе

В качестве источников электрического света на промышленном предприятии используются газоразрядные лампы и лампы накаливания.

Лампы накаливания на предприятиях в основном используются в качестве аварийного освещения, которое служит для временного продолжения работы при внезапном отключении рабочего освещения.

Газоразрядные лампы на предприятии используются как основные источники света, обеспечивая нормальную работу производства.

Основные методы расчета осветительных установок:

- метод коэффициента использования светового потока;
- точечный метод;
- комбинированный метод;
- метод расчета по удельной мощности.

*Определим расчетную осветительную нагрузку методом удельной плотности на 1 м<sup>2</sup> производственной площади.*

Этот метод носит оценочный характер. Номинальная мощность осветительных приемников цеха  $P_{н.осв.}$  (кВт) определяется по формуле:

$$P_{н.осв.} = P_{уд.осв.} \cdot F,$$

где  $P_{уд.осв.}$  – удельная нагрузка осветительных приемников (ламп) кВт, лежит в пределах 8–25 Вт / м<sup>2</sup>; значения удельной мощности электрического освещения различных цехов представлены в табл. 14.1;  $F$  – площадь пола цеха, определяемая по генплану, м<sup>2</sup>.

*Таблица 14.1*

*Значения удельной мощности электрического освещения*

Объект или цех	$P_{уд.осв.}$ , Вт / м <sup>2</sup>	$P_{авар}$ в % от $P_{общ.}$
Механические или механо-сборочные	9–11	6
Термические	8–9	6
Кузнечно-прессовые	10–12	10
Деревообрабатывающие	13–14	6
Литейные	10–11	10
Насосные и компрессор-	8–9	10

Главные склады	материальные	7	5
Котельные		8–9	10
Склады		5–6	5
Бытовые помещения		12	10
Заводоуправление		15	10
Территория		0,12	1–2

Примечание. Удельная установленная мощность дана при освещении лампами накаливания. При применении люминесцентных ламп в механических и сборочных цехах удельная мощность может быть увеличена на 60–75 %.

Активная расчетная нагрузка осветительных приемников цеха определяется по удельной нагрузке и коэффициенту спроса:

$$P_{o,p} = K_{c,o} \cdot p_{уд.} \cdot F = P_{н\ осв} \cdot K_c,$$

где  $K_{c,o}$  – коэффициент спроса осветительной нагрузки;  $P_{н\ осв}$  – установленная мощность приемников освещения, кВт;  $K_c$  – средний коэффициент спроса для осветительных приемников [17].

Коэффициенты спроса для расчета нагрузок рабочего освещения в питающей сети приведены в табл. 14.2.

Таблица 14.2

*Коэффициенты спроса для осветительных нагрузок*

Характеристика потребителей	$K_c$
Мелкие здания производственного характера	1
Производственные здания, состоящие из нескольких отдельных помещений	0,85
Производственные здания, состоящие из отдельных крупных пролетов	0,95
Проектные и конструкторские организации	0,85
Наружное освещение	1
Предприятия общественного питания	0,8
Предприятия бытового обслуживания	0,8
Управление	0,7
Складские помещения	0,6

Расчетная реактивная нагрузка освещения  $Q_{p,осв}$  (квар) определяется по формуле:

$$Q_{p,осв} = 0,75 P_{p,осв} \cdot \operatorname{tg}\varphi,$$

где  $\operatorname{tg}\varphi$  – соответствует характерному для приемников данного цеха средневзвешенному значению коэффициента мощности.

Для ламп накаливания:  $\operatorname{tg}\varphi = 0$ .

Для газоразрядных ламп  $\operatorname{tg}\varphi = 0,33$ .

**Пример 14.1.** Определить расчетную осветительную нагрузку сборочного цеха, установленную мощность приемников освещения и мощность аварийного освещения методом удельной плотности нагрузки. Размеры помещения: длина  $a = 10$  м, ширина  $b = 6$  м. Освещение выполнено лампами накаливания.

Решение.

Площадь цеха составляет:

$$F = a \times b = 10 \times 6 = 60 \text{ м}^2.$$

По табл. 5.1 примем  $P_{\text{уд. осв}} = 10 \text{ Вт / м}^2$ .

Общая мощность, потребляемая светильником, составит:

$$P_{\text{н осв}} = P_{\text{уд. осв}} \times F = 10 \times 60 = 600 \text{ Вт.}$$

Мощность аварийного освещения согласно табл. 5.1 составит 6 % от общей мощности:

$$P_{\text{авар. осв}} = 0,06 \times 600 = 36 \text{ Вт.}$$

Активная расчетная нагрузка осветительных приемников цеха определяется по формуле:

$$P_{\text{о.р}} = P_{\text{н осв}} \cdot K_c = (600 + 36) \times 1 = 636 \text{ Вт,}$$

где  $K_c = 1$  согласно табл. 14.2.

## Самостоятельная работа студента

### Задание 14.1

Определить расчетную активную и реактивную осветительную нагрузку цеха, установленную мощность приемников освещения и мощность аварийного освещения методом удельной плотности нагрузки. Исходные данные представлены в табл. 14.3.

Таблица 14.3

Исходные данные к заданию 14.1

№ варианта	Объект или цех	Размеры цеха, м	Наименование ламп
1	Механический	$9 \times 12$	люминесцент.
2	Термический	$8 \times 9$	накаливания
3	Кузнечно-прессовый	$10 \times 12$	люминесцент.
4	Деревообрабатывающий	$12 \times 14$	накаливания
5	Литейный	$10 \times 11$	накаливания
6	Насосный и компрессорный	$8 \times 9$	накаливания

7	Главный материальный склад	7×	накаливания
8	Котельный	8 × 9	накаливания
9	Склад	5 × 6	накаливания
10	Механический	12 × 10	накаливания
11	Заводоуправление	5 × 7	люминесцент.
12	Механосборочный	8 × 9	накаливания
13	Механической обработки	10 × 12	люминесцент.
14	Сборочный	8 × 12	люминесцент.
15	Деревообрабатывающий	12 × 12	люминесцент.

### Содержание отчета

1. Исходные данные.
2. Данные расчета свести в таблицу и оформить в рабочей тетради.
3. Письменно ответить на контрольные вопросы.

### Контрольные вопросы

1. Какие методы расчета осветительной нагрузки применяются при проектировании?
2. Источники света на промышленных предприятиях.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 8

### *Методика технико-экономических расчетов*

*Цель занятия:* изучить методику минимальных приведенных затрат при выполнении технико-экономических расчетов.

На занятие отводится четыре часа.

### Пояснение к работе

Цель технико-экономических расчетов (ТЭР) – определение оптимального варианта схемы, параметра электросети и ее элементов.

ТЭР выполняют для выбора:

- схемы электроснабжения цехов и предприятия в целом;
- числа, мощности режима работы трансформаторов ГПП и цеховых подстанций;
- рациональных напряжений в схеме;
- электрических аппаратов, изоляторов и токоведущих устройств;
- сечения проводов, шин, жил кабелей;
- средств компенсации реактивной мощности и мест размещения компенсирующих устройств.

При ТЭР систем промышленного электроснабжения должны соблюдаться условия сопоставимости вариантов:

- 1) технические, для которых сравнивают взаимозаменяемые варианты;
- 2) экономические (расчет вариантов ведут в одинаковом уровне цен с учетом одних и тех же экономических показателей);
- 3) при разной надежности сравниваемых вариантов дополнительно учитывается убыток от снижения надежности.

При технико-экономических расчетах используют укрупненные показатели стоимости элементов систем электроснабжения. Оптимальным из сравниваемых вариантов считается тот, который обеспечивает минимум приведенных затрат.

Приведенные годовые затраты (З) определяют по формуле:

$$З = E_n \cdot K + И,$$

где  $E_n$  – нормативный коэффициент экономической эффективности, для энергетики он равен 0,33 ( для коммерческих структур – 0,5) 1/год;  $K$  – единовременные капитальные вложения (для сроков строительства до 1 года). По справочникам в ценах 1990 г. берутся укрупненные показатели стоимости и умножаются на коэффициент удорожания 30–40.  $И$  – издержки на эксплуатацию, определяются затратами на потерю электроэнергии, содержание обслуживающего персонала, текущий ремонт, амортизацию, топливо, материалы, сырье. Определяются по формуле:

$$И = И_{ам} + И_{обс.} + И_{пот.э/э},$$

где  $И_{ам}$  – годовые амортизационные отчисления, состоят, из отчислений на реновацию и капитальный ремонт.

$$И_a = И_p + И_{к.р.},$$

где  $И_a = 14\%$  от суммарных капитальных затрат.

$И_a = 14\% K / 100\%$  (тыс. руб/ год )

Реновация – полное восстановление основных фондов за естественный срок службы.

$И_{обл.}$  – издержки на содержание обслуживающего персонала, составляют 6 % от капитальных затрат:

$$И_{обл.} = 6\% K / 100\% ( тыс. руб/год ).$$

$И_{пот.э/э}$  – потери электрической энергии.

$$И_{пот.э/э} = c_0 \Delta W_{пот} = c_0 \Delta P \tau,$$

где  $c_0$  – тариф на электроэнергию (по данным ОАО «Волжские ТГК») равен 1,4 руб/кВт · час;

$\Delta W_{пот.}$  – годовые потери электроэнергии в нормальном режиме.

$$\Delta W = \Delta P T_{г.},$$

где  $T_{г.}$  – годовое число часов работы предприятия;  $\Delta P$  – суммарные потери мощности в линиях и трансформаторах, кВт.

### ***Потери в линии***

Потери активной мощности (кВт) в линии определяются по формуле:

$$\Delta p_{\text{л}} = p_{\text{уд}} I_{\text{р}}^2 \ell / 1000.$$

$\Delta p$  – годовые потери мощности в нормальном режиме работы (7),  
 $p_{\text{уд}}$  – удельные потери мощности Вт /км (табл. 15.1);  $I_{\text{р}}$  – расчетный ток в линии, А;  $\ell$  – длина линии, км;  $\tau$  – время потерь.

Таблица 15.1

Сеч. кабеля s, мм <sup>2</sup>	Удельные потери мощности											
	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
Уд. потери $\Delta p_{\text{уд}}$ Вт /км	15,7	9,3	5,9	3,8	2,7	1,9	1,4	1	0,8	0,6	0,5	0,4

Потери энергии магистрального шинпровода:

$$\Delta W_{\text{шма}} = 3 \Sigma I_{\text{р}}^2 r \tau 10^{-3} ;$$

Потери энергии распределительного шинпровода:

$$\Delta W_{\text{шра}} = I^2 R \tau 10^{-3} ;$$

где  $I_{\text{р}}$  – расчетный ток линии, А;  $I$  – ток участка линии (шинпровода), А;  
 $R$  – сопротивление линии, Ом;  $r$  – сопротивление участка линии (шинпровода), Ом.

Зная время использования максимума  $T_{\text{max}}$  (табл. 15.2.) и коэффициент мощности  $\cos\phi$  (средний по цеху), по кривым зависимости  $\tau = f(T_{\text{max}}; \cos\phi)$  находят время потерь  $\tau$  (рис. 15.1).

Таблица 15.2

Определение  $T_{\text{м}}$  годового числа использования максимума для отраслей промышленности

Наименование отраслей промышленности	Коэф-т мощности	Годовое число использования максимума	
		активной нагрузки	реактивной нагрузки
Химические заводы	0,83	6200	7000
Нефтеперегонные заводы	0,9	7100	–
Заводы тяжелого машиностроения	0,77	3770	4840
Заводы станкостроения	0,68	4345	4750
Инструментальные заводы	0,69	4140	4960
Шарикоподшипниковые заводы	0,83	5300	6130
Заводы подъемно-транспортного оборудования	0,75	3330	3880
Автотракторные заводы	0,79	4960	5240
Сельскохозяйственное оборудование	0,79	5330	4220

Приборостроение	0,79	3080	3180
Авторемонтные заводы	0,65	4370	3200
Вагоноремонтные заводы	0,69	3560	3660
Электротехнические заводы	0,82	4280	6420
Различные металлообрабатывающие заводы	0,83	4335	5880

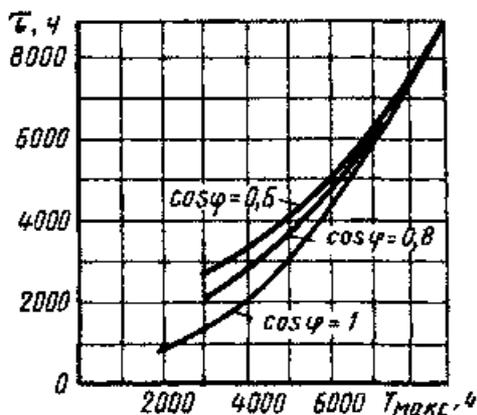


Рис. 15.1. Кривые зависимости  $\tau = f(T_{\max}; \cos\varphi)$

### **Методика технико-экономического сравнения вариантов выбора мощности цеховых КТП**

По справочникам выбираются КТП и КУ, выписываются исходные данные для расчета:

- тип и количество трансформаторов КТП;
- $\Delta P_{XX}$ , кВт – потери мощности холостого хода трансформаторов;
- $\Delta P_{K3}$ , кВт – потери мощности КЗ трансформаторов;
- $k_3$  – коэффициент загрузки трансформаторов;
- $K_{КТП}$ , тыс. руб. – капитальные затраты на сооружение КТП;
- тип, число и мощность КУ;
- $P_{КУ}$ , кВт/квар – удельные потери активной мощности в КУ;
- $K_{КУ}$ , тыс. руб. – капитальные затраты на монтаж КУ;
- $a_p = 0,035$  – коэффициент отчислений на реновацию;
- $a_{тр} = 0,029$  – коэффициент отчислений на текущий ремонт;
- $a_{кр} = 0,03$  – коэффициент отчислений на капитальный ремонт;
- $T_{год}$ , час. – количество часов работы предприятия в году;
- $T_{\max}$ , час. – годовое число часов максимума нагрузки;
- $c_0$  – стоимость электроэнергии = 1,4 руб/кВт·час.

Потери энергии в трансформаторах при условии их раздельной работы:

$$\Delta W_{ТР} = N_{ТР} (\Delta P_{XX} T_{год} + k_3^2 \Delta P_{K3} \tau),$$

где  $\tau$ , ч – время потерь.

$$\tau = \left( 0,124 + \frac{T_{\max}}{10000} \right)^2 T_{\text{год}}.$$

Стоимость потерь энергии в трансформаторах:  $c_{\text{э,ТР}} = \Delta W_{\text{ТР}} c_0$ .

Потери энергии в ККУ:  $\Delta W_{\text{КУ}} = \Delta P_{\text{КУ}} Q_{\text{КУ,Ф}} T_{\text{год}}$ .

Стоимость потерь энергии в ККУ:  $c_{\text{э,КУ}} = \Delta W_{\text{КУ}} c_0$ .

Суммарные затраты по КТП:

$$Z_{\Sigma} = c_{\text{э,ТР}} + c_{\text{э,КУ}} + E(K_{\text{ТР}} + K_{\text{КУ}}), \quad \text{где } E = 0,33.$$

Далее затраты по вариантам сравниваются. Если разность приведенных затрат не превышает 20 %, то предпочтение отдается технически более рациональному варианту.

*Для принятия правильного решения следует руководствоваться следующим:*

1. Если один вариант имеет меньшие ежегодные эксплуатационные расходы и требует меньших капиталовложений, то он и является экономически более выгодным.

2. Если капитальные затраты равны, то наиболее экономичным вариантом будет тот, который имеет меньшие ежегодные эксплуатационные расходы.

3. Если равны ежегодные эксплуатационные расходы, то выбирается вариант с меньшими капитальными затратами.

4. Если рассматриваемые варианты равноценны в отношении стоимостных показателей, предпочтение отдают варианту с лучшими техническими показателями.

5. Можно использовать метод срока окупаемости  $T_{\text{ок}}$ , лет:

$$T_{\text{ок}} = K_2 - K_1 / C_{\text{э,1}} - C_{\text{э,2}}.$$

Величину, обратную сроку окупаемости,  $1 / T_{\text{ок}}$  называют коэффициентом сравнительной экономической эффективности.

Экономически целесообразный срок окупаемости ( $T_{\text{норматив}}$ ) – это нормативный коэффициент экономической эффективности  $E$ . Для энергетики он равен:  $E = 0,33$  (0,5).  $E = 1 / T_{\text{норматив}}$ .

Вычисленное значение срока окупаемости  $T_{\text{ок}}$  сравнивают с нормативным  $T_{\text{норматив}}$ .

При  $T_{\text{ок}} = T_{\text{норматив}}$  сравниваемые варианты считаются равноценными; при  $T_{\text{ок}} \leq T_{\text{норматив}}$  экономичным будет вариант с большими капитальными вложениями и меньшими годовыми эксплуатационными расходами; при  $T_{\text{ок}} \geq T_{\text{норматив}}$  экономичным будет вариант с меньшими капитальными вложениями и большими годовыми эксплуатационными расходами.

## Самостоятельная работа студента

### Задание 15.1

1. Выбрать вариант экономичной мощности цеховой подстанции методом минимальных приведенных затрат (данные взять из задания 7.1).
2. Данные расчета свести в табл. 15.3.

Таблица 15.3

*Технико-экономические показатели сравнения вариантов схем электроснабжения*

Наименование показателей	Усл. обозначение	Ед. изм.	Вариант электроснабжения	
			I вариант	II вариант
Напряжение сравниваемых вариантов	U	кВ		
Капитальные затраты	K	тыс. руб		
Амортизационные отчисления	$I_{ам}$	тыс. руб		
Затраты на потерю электроэнергии	$I_{пот}$	тыс. руб.		
Затраты на обслуживание	$I_{обс.}$	тыс. руб.		
Расчетные затраты	Z	тыс. руб/год		

**Содержание отчета**

1. Результаты технико-экономического расчета сравнения двух вариантов числа и мощности цеховых ТП.
2. Выводы.

**Контрольные вопросы**

1. С какой целью производят технико-экономические расчеты электроэнергетики?
2. Условия сопоставимости сравниваемых вариантов.

**ПРИЛОЖЕНИЕ Д**

*Аппараты защиты*

Таблица Д.1

Кратности допустимых токов защитных аппаратов

$K_{зщ}$	Аппараты защиты, вид помещения	Защита от перегрузки
1,25	Предохранители и автоматы только с ЭМР, защищающие сети с резиновой и пластиковой изоляцией во взрыво-, пожароопасных, жилых и торговых помещениях	Обязательная
1,0	Предохранители и автоматы только с ЭМР, защищающие сети с любой изоляцией, в неопасных помещениях; автоматы с комбинированным расцепителем, защищающие сети с любой изоляцией, в любых помещениях	
от 0,8 до 0,66	Автоматы с комбинированным регулируемым расцепителем, защищающие кабель с бумажной изоляцией	

0,33	Предохранители	нет
------	----------------	-----

Таблица Д.2

Характеристики предохранителей

Тип	Номинальный ток плавких вставок, А			
	ПР-2-15	6	10	15
ПР-2-60	15	20	25	35; 45; 60
ПР-2-100	-	60	80	100
ПР-2-200	100	125	160	200
ПР-2-350	220	225	260	300, 350
ПР-2-600	350	430	500	600
ПР-2-1000	600	700	850	1000

Таблица Д.3

Расчетные зависимости для выбора аппаратов защиты в силовых сетях низкого напряжения

Аппараты за- щиты	Линия без ЭД	Линии с одним ЭД	Линия с группой ЭД
Автомат с ком- бинированным расцепителем	$I_{н.а} \geq I_{н.р}$ $I_{н.р} \geq I_M$ $I_0 \geq I_M$	$I_{н.а} \geq I_{н.р}$ $I_{н.р} \geq 1,25 \cdot I_{н.д}$ $I_0 \geq 1,21 \cdot I_{пуск}$	$I_{н.а} \geq I_{н.р}$ $I_{н.р} \geq I_M$ $I_0 \geq 1,2 \cdot I_{пик}$
Предохранитель с плавкой вставкой	$I_{в.с} \geq I_{н.д}$ $I_{в.с} \geq I_{пуск}/\alpha$	$I_{в.с} \geq I_{н.д}$ $I_{в.с} \geq I_{пуск}/\alpha$ $I_{н.п} \geq I_{в.с}$	$I_{в.с} \geq I_M$ $I_{в.с} \geq I_{пуск}/\alpha$
Тепловое реле		$I_{тр} > 1,25 \cdot I_{н.д}$	

Примечание:  $I_{н.а}$  – номинальный ток автомата, А;

$I_{н.р}$  – номинальный ток расцепителя (наибольший длительный ток расцепителя, не вызывающий отключения и перегрева);

$I_0$  – ток отсечки автомата, А;

$I_{в.с}$  – номинальный ток плавкой вставки предохранителя, кА;

$I_{пуск}$  – пусковой ток электродвигателя;

$I_{пуск} = k_n \cdot I_{н.д}$ , А;

$k_n$  – кратность пускового тока, при отсутствии данных  $k_n(АД) = 6,5$ ;

$I_{н.д}$  – номинальный ток двигателя;

$I_M$  – максимальный расчетный ток в линии, А;

$I_{пик}$  – пиковый ток (А), это наибольший ток, возникающий в линии;

$I_{пик} = I_{пуск н.б} + I_{м.гр} - I_{н.н.б} \cdot k_u$  (в группе более 5 ЭД);

$I_{пик} = I_{пуск н.б} + I_{м.гр} - I_{н.н.б}$  (в группе до 5 ЭД);

$I_{м.гр}$  – максимальный расчетный ток в группе, А;

$I_{пуск н.б}$ ,  $I_{н.н.б}$  – пусковой и номинальные токи наибольшего по мощности ЭД

в группе, А;

$I_{нп}$  – номинальный ток предохранителя;

$\alpha$  – коэффициент, учитывающий условия пуска:

$\alpha = 1,6 \div 2$  при тяжелом пуске;

$\alpha = 2,5$  при легком пуске.

#### Структура условного обозначения автоматического выключателя

ВА	51	-	31	-	1
Обозначение выключателя				Обозначение количества полюсов:	
Разработка				1 — один	
51, 52 — с ТР и ЭМП				2 — два	
53, 55, 75 — с ПМР				3 — три	
56 — без МР					
Обозначение номинального тока ( $I_n$ , А) выключателя:					
25 — 25 А		39 — 630 А			
29 — 63 А		41 — 1000 А			
31 — 100 А		43 — 1600 А			
33 — 160 А		45 — 2500 А			
35 — 250 А		47 — 4000 А			
37 — 400 А					

#### Структура условного обозначения степени защиты

I	P	5	4
International Protection			Защита от проникновения воды: 4 - от брызг в любом направлении; X - отсутствует
Защита от соприкосновения и попадания посторонних тел: 4 - размером более 1мм; 5 - от пыли; X - отсутствует			

Таблица Д.4

Технические данные автоматических выключателей серии ВА

Тип	Номинальный ток, А		Кратность установки		$I_{откл}$ , кА
	$I_{н.А}$	$I_{н.Р}$	$K_{от\ перег}$	$K_{от\ к.з}$	
ВА 51-25	25	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6	1,2	14	3
		2,0; 2,5; 3,15; 4; 5			1,5
		6,3; 8			2
ВА-25	25	10; 12,5	1,35	7,10	2,5
		16; 20; 25			3,0

Окончание табл. Д.4

Тип	Номинальный ток, А	Кратность уста-	$I_{откл}$ , кА
-----	--------------------	-----------------	-----------------

			НОВКИ		кА
	I <sub>н.А</sub>	I <sub>н.Р</sub>	К <sub>от</sub> ПЕРЕГ	К <sub>от</sub> К.З	
BA 51-31-1 BA 51Г-31	100	6,3; 8; 10;12	1,35	3, 7, 10	2
		10			2,5
		20; 25			3,5
		31,5; 40; 50; 63			5
		80; 100			0
BA 51-31 BA 51Г-31	100	6,3; 8	1,35	3, 7, 10	2
		10;12,5			2,5
		10;12,5			3,8
		31,5; 40; 50; 63			6
		80; 100			7
BA 51-33 BA 51Г-33	160	80; 100; 125; 160	1,25	10	12,5
BA 51-35	250	80; 100; 125; 160; 200; 250	1,25	12	15
BA 51-37	400	250; 320; 400	1,25	10	25
BA 51-39	630	400; 500; 630	1,25	10	35
BA 52-31 BA 52Г-31	100	16; 20; 25	1,35	3,7,10	12
		31,5; 40			15
		50; 63			18
		80;100	1,25		25
BA 52-33 BA 52Г-33	160	80; 100	1,25	10	28
		125; 160			35
BA 52-35	250	80; 100; 125; 160; 200; 250	1,25	12	30
BA 52-37	400	250; 320; 400	1,25	10	30
BA 52-39	630	250; 320; 400; 500; 630	1,25	10	40
BA 53-37 BA 55-37	160 250 400	Регулируется ступенями 0,63-0,8-1,0 от I <sub>н.В</sub>	1,25	2; 3; 5; 7; 10	20
BA 53-39 BA 55-39	160 250	Регулируется ступенями 0,63-0,8-1,0 от I <sub>н.В</sub>	1,25	2; 3; 5; 7; 10	25

	400				
	630				
ВА 53-41 ВА 55-41	100 0	Регулируется ступенями 0,63-0,8-1,0 от $I_{н.в}$	1,25	2; 3; 5; 7	25
ВА 53-43 ВА 55-43	160 0	Регулируется ступенями 0,63-0,8-1,0 от $I_{н.в}$	1,25	2; 3; 5; 7	31
ВА 53-45 ВА 55-45 ВА 75-45	250 0	Регулируется ступенями 0,63-0,8-1,0 от $I_{н.в}$	1,25	2; 3; 5 2; 3; 5; 7	36
ВА 75-47	400 0	Регулируется ступенями 0,63-0,8-1,0 от $I_{н.в}$	1,25	2; 3; 5	45

Таблица Д.5

Технические данные электроприемников

№ п/п	Наименование электроприемника	$P_n$ , кВт	n	$K_n$	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$
1	Трёхфазный ДР Компрессорная установка	28	5	0,65	0,8	
2	Вентиляторная установка	15	4	0,7		0,75
3	Насосная установка	55	8			
4	Станок фрезерный	11,5	14	0,14	0,5	1,73
5	Станок токарный	14	12			
6	Станок строгальный	11	10			
7	Станок карусельный	40	2			
8	Станок наждачный	2,8	5			
9	Станок винторезный	15	6			
10	Станок расточный	42	2			
11	Станок шлифовальный	3	15			
12	Станок слиткообдирочный	45	4			
13	Станок галтовочный	4	8			
14	Молот ковочный	15	7	0,24	0,65	1,17
15	Пресс штамповочный	4,5	12			

16	Автомат фрезерный	7,5	20	0,17		
17	Печь индукционная	8	4	0,75	0,35	2,67
18	Печь дуговая	30	4		0,87	0,56
19	Печь сопротивления	35	6	0,8	0,95	0,33
20	Конвейер ленточный	35	2	0,55	0,75	0,88
21	Транспортер роликовый	10	3			
22	Трехфазный ПКР Кран мостовой, ПВ = 25 %	30	2	0,05	0,5	1,73
23	Тележка подвесная, ПВ = 40 %	4	8	0,1	0,5	1,73
24	Тельфер транспортный, ПВ = 60 %	10	3			
25	Однофазный ПКР Трансформатор сварочный, ПВ = 40 %	28 кВ-А	5	0,2	0,4	2,29

Окончание табл. Д.5

№ п/п	Наименование электропри- емника	P <sub>н</sub> , кВт	n	K <sub>и</sub>	cosφ	tgφ
26	Аппарат дуговой сварки, ПВ = 60 %	16 кВА	5	0,3 0,35 2,67	0,35	2,67
27	Аппарат стыковой сварки, ПВ = 25 %	14 кВ-А	5	0,35 0,55 1,51	0,55	1,51
28	Осветительная установка Лампы накаливания	9 ... 11 Вт/м <sup>2</sup>			1	
29	Газоразрядные лампы			0,85 0,95	0,95	0,33

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

### *Технические данные цеховых трансформаторов и компенсирующих устройств*

*Таблица Е.1*

Трансформаторы трехфазные силовые масляные общего назначения

Тип трансформатора	S <sub>НОМ</sub> , кВА	U <sub>НОМ</sub> , кВ		Потери мощности P, кВт		U <sub>к</sub> , %	I <sub>о</sub> , %
		ВН	НН	P <sub>хх</sub>	P <sub>кз</sub>		
Трансформаторы трехфазные двухобмоточные масляные							
ТМ-25/6-10	25	6; 10	0,4	0,1	0,6	4,5	3,2
ТМ-40/6-10	40	6; 10	0,4	0,2	0,8	4,5	3,0
ТМ-63/6-10	63	6; 10	0,4	0,3	1,2	4,5	2,8
ТМ-100/6-10	100	6; 10	0,4	0,4	1,9	4,5	2,6
ТМ-160/6-10	160	6; 10	0,4; 0,69	0,7 3	2,6 5	4,5	2,4

ТМ- 250/6-10	250	6; 10	0,4; 0,69	0,9 4	3,7	4,5	2,3
ТМ- 400/6-10	400	6; 10	0,4; 0,69	1,2	5,5	4,5	2,1
ТМ- 630/6-10	630	6; 10	0,4; 0,69	1,5 6	8,5	5,5	2,0
ТМ- 1000/6-10	1000	6; 10	0,4	2,4 5	12, 2	5,5	1,4
ТМ- 1600/6-10	1600	6; 10	0,4; 0,69	3,3	18	5,5	1,3
ТМ- 2500/6-10	2500	6; 10	0,4; 0,69	4,6	25	5,5	1,0

Трансформаторы трехфазные с естественным воздушным охлаждением (сухие)

ТСЗ- 160/10	160	6; 10	0,4; 0,69	0,7	2,7	5,5	4,0
ТСЗ- 250/10	250	6; 10	0,4; 0,69	1,0	3,8	5,5	3,5
ТСЗ- 400/10	400	6; 10	0,4; 0,69	1,3	5,4	5,5	3,0
ТСЗ- 630/10	630	6; 10	0,4; 0,69	2,0	7,3	5,5	1,5
ТСЗ- 1000/10	1000	6; 10	0,4; 0,69	3,0	11, 2	5,5	1,5
ТСЗ- 1600/10	1600	6; 10	0,4; 0,69	4,2	16	5,5	1,5

Трансформаторы трехфазные масляные, применяемые в КТП

ТМЗ- 630/10	630	6; 10	0,4	2,3	8,5	5,5	3,2
ТМЗ- 1000/10	1000	6; 10	0,4	2,4 5	12, 2	5,5	1,4
ТМЗ- 1600/10	1600	6; 10	0,4	3,3	18	5,5	1,3

Трансформаторы трехфазные, заполненные негорючим

диэлектриком (совтолом)							
ТНЗ- 630/6-10	630	6; 10	0,4	1,6	7,6	5,5	1,8
ТНЗ- 1000/6-10	1000	6; 10	0,4	2,4	12, 5	5,5	1,4
ТНЗ- 1600/6-10	1600	6; 10	0,4	3,3	18	5,5	1,3
ТНЗ- 2500/6-10	2500	6; 10	0,4	4,6	24, 5	5,5	1,0

Таблица Е.2

Косинусные конденсаторы в трехфазном исполнении

Тип	Номинальное напряжение, кВ	Номинальная мощность, квар
КМ-0,38-13	0,38	13
КС-0,38-18	0,38	18
КМ-2-0,38-26	0,38	26
КС-0,38-50	0,38	50

Таблица Е.3

Конденсаторные установки

Тип установки	Номинальная мощность, квар	Число и мощность регулируемых ступеней
УКН 0,38-300	300	2 × 150
УКН 0,38-450	450	3 × 150
УКН 0,38-600	600	4 × 150
УКН 0,38-900	900	6 × 150
УКБН-0,38-100-50УЗ	100	2 × 50
УКБТ-0,38-150УЗ	150	1 × 150
УКТ-0,38-150УЗ	150	1 × 150
УКБ-0,38-150УЗ	150	-
УКБН-0,38-200-50УЗ	200	4 × 50

## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

### Технические данные кабелей и шинпроводов

Таблица Ж.1

Допустимый длительный ток для кабелей с алюминиевыми жилами с резиновой или пластмассовой изоляцией в свинцовой, поливинилхлоридной и резиновой оболочках, бронированных и небронированных

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Ток, А, для кабелей				
	одножильных	двухжильных		трехжильных	
	при прокладке				
	в воздухе	в воздухе	в земле	в воздухе	в земле
2,5	23	21	34	19	29
4	31	29	42	27	38
6	38	38	55	32	46
10	60	55	80	42	70
16	75	70	105	60	90
25	105	90	135	75	115
35	130	105	160	90	140
50	165	135	205	110	175
70	210	165	245	140	210
95	250	200	295	170	255
120	295	230	340	200	295
150	340	270	390	235	335

185	390	310	440	270	385
240	465	-	-	-	-

Таблица Ж.2

Допустимый длительный ток для проводов с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с алюминиевыми жилами

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Ток, А, для проводов, проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		двух одножильных	трех одножильных	четырёх одножильных	одного двухжильного	одного трехжильного
2	21	19	18	15	17	14
2,5	24	20	19	19	19	16
3	27	24	22	21	22	18
4	32	28	28	23	25	21
5	36	32	30	27	28	24
6	39	36	32	30	31	26
8	46	43	40	37	38	32
10	60	50	47	39	42	38
16	75	60	60	56	60	55

Окончание табл. Ж.2

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Ток, А, для проводов, проложенных					
	открыто	в одной трубе				
		двух одножильных	трех одножильных	четырёх одножильных	одного двухжильного	одного трехжильного
25	105	85	80	70	75	65
35	130	100	95	85	95	75
50	165	140	130	120	125	105
70	210	175	165	140	150	135
95	255	215	200	175	190	165
120	295	245	220	200	230	190
150	340	275	255	—	—	—
185	390	—	—	—	—	—
240	465	—	—	—	—	—
300	535	—	—	—	—	—
400	645	—	—	—	—	—

Примечание. Допустимые длительные токи для четырехжильных кабелей с пластмассовой изоляцией на напряжение до 1 кВ могут выбираться по табл. Ж.1, как для трехжильных кабелей, но с коэффициентом 0,92.

Таблица Ж.3

Технические данные магистральных шинопроводов переменного тока

Показатель	ШМА-68Н			
	ШЗМ-16	ШМА-73	2500	4000
Номинальный ток, А	1600	1600	2500	4000
Номинальное напряжение, В	380/220	660	660	660
Электродинамическая стойкость ударному току КЗ, кА	70	70	70	100
Активное сопротивление на фазу, Ом/км	0,018	0,031	0,027	0,013
Реактивное сопротивление на фазу, Ом/км	0,012	0,017	0,023	0,020
Число и размеры шин на фазу, мм	2(100 × 10)	2(90 × 8)	2(120 × 10)	2(160 × 10)
Число и сечение нулевых проводников, мм <sup>2</sup>	—	2×710	2×640	2×640
Максимальное расстояние между точками крепления, мм	6000	6000	3000	3000

Таблица Ж.4

Технические данные распределительных шинопроводов переменного тока

Показатель	ШРА-73			ШРМ-75			ШРА-74
	250	400	630	100	250	400	
Номинальный ток, А	250	400	630	100	250	400	630
Номинальное напряжение, В	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220	380/220
Активное сопротивление на фазу, Ом/км	0,20	0,13	0,085	—	0,15	0,15	0,14
Реактивное сопротивление на фазу, Ом/км	0,10	0,10	0,075	—	0,20	0,20	0,10
Размеры шин на фазу, мм	35×5	50×5	80×5	—	35×5	50×5	80×5
Максимальное расстояние между точками крепления, мм	3000			2000			3000

Таблица Ж.5

Технические данные троллейных шинопроводов переменного тока

Показатель	ШТМ-73,	ШТМ-75,	ШТА-76
	ШТА-75	ШТА-75	
Номинальный ток, А	250	400	100
Номинальное напряжение, В	660	660	36...380
Частота, Гц	50...60	50...60	17...60
Номинальный ток токоъемной каретки, А	—	—	17,25
Номинальный ток токоъемной каретки со сборкой зажимов, А	25	100	—
Номинальный ток спаренной токоъемной каретки, А	—	—	15,4
Номинальный ток спаренной токоъемной каретки со сборкой зажимов, А	50	20	—
Электродинамическая стойкость ударному току КЗ, кА	10	15	5
Число шин, шт.	3	3	4

Таблица Ж.6

Технические данные осветительных шинопроводов переменного тока

Показатель	ШОС-2-25-44	ШОС-4-25-44	ШОС-80-43
Номинальный ток, А	25	25	16
Номинальное напряжение, В	220	380/220	220
Электродинамическая стойкость ударному току КЗ, кА	3	3	3

Таблица Ж.7

Стоимость монтажа и материала 1 км кабелей напряжением до 1 кВ  
в ценах 1990 г.

Стоимость тыс. руб. для кабеля при прокладке по конструкции

Сечение, мм <sup>2</sup>	Марка кабеля АВВГ
3 × 25	1,31
3 × 35	1,54

3 × 50	1,81
3 × 70	2,1
3 × 95	2,51
3 × 120	2,88
3 × 150	3,37
3 × 185	3,92
3 × 240	4,87
	Трехфазный закрытый шинопровод ШМА
380 В, 1600 А	0,09

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

#### Технические данные распределительных пунктов

Таблица 3.1

Технические данные распределительного пункта типа ПР 85

Но- мер схе- мы	I <sub>н</sub> , А	Рабочий I <sub>н</sub> , А		Количество ВА 51-31 линейных		Дополни- тельные сведения
		IP21 УЗ	IP54 УХЛ2,Т 2	1- по- люсн	3- по- люсн.	

				.		
С зажимами на вводе						Все ПР 85 по способу установки имеют исполнение навесное (степень защиты IP21 и IP54) или утопленное (IP21)
001	160	120	120	3	-	
002				6		
003				3	1	
004				-	2	
005				12	-	
006				6	2	
007				-	4	
008				18	-	
009				12	2	
010				6	4	
011				-	6	
012	250	200	183	12	2	
013				6	2	
014				-	4	
015				18	-	
016				12	2	
017				6	4	
018				-	6	
019				24	-	
020				18	-	
021				12	4	
022				6	6	
023				-	8	
024				30	-	
025				24	2	
026				18	4	
027				12	6	
028				6	8	

029				-	10	
030	400	320	300	-	10	
031				12	2	
032				6	4	
033				-	6	
034				24	-	
035				18	2	
036				12	4	
037				6	6	
038				-	8	
039				30	-	
040				24	2	
041				18	4	

Окончание табл. 3.1

Но- мер схе- мы	I <sub>н</sub> , А	Рабочий I <sub>н</sub> , А		Количество ВА 51-31 линейных		Дополни- тельные сведения
		IP21 УЗ	IP54 УХЛ230 0,Т	1- по- люсн	3- по- люсн.	
082	400	320	2	6	6	
083				-	8	
084				30	-	
085				24	2	
086				18	4	
087				12	6	
088				18	-	
089				-	10	
	С выключателем ВА 55-37 на вводе					
099	400	320	300	-	4	Все ПР 85 по схемам 099 ... 144, 124
100				18	-	
101				12	2	
102				6	4	
103				-	6	

104				24	-	... 139, 152 име- ют на- весное и наполь- ное ис- полнение (степень защиты IP21 и IP54)
105				18	2	
106				12	4	
107				6	6	
108				-	8	
109				30	-	
110				24	2	
111				18	4	
112				12	6	
113				6	8	
114				-	1	
С выключателем ВА 56-37 на вводе						
124	400	320	300	-	4	
125				18	-	
126				12	2	
127				6	4	
128				-	6	
129				24	-	
130				18	2	
131				12	4	
132				6	6	
133				-	8	
134				30	-	
135				24	2	
136				18	4	
137				12	6	
138				6	8	
139				-	10	

Таблица 3.2

Технические данные ПР85 с трехполюсными линейными выключателями

Но- мер	$I_n, A$	Рабочий $I_n, A$	Количество	Дополни- тель-ные
------------	----------	------------------	------------	----------------------

схемы				линейных		сведения
		IP21 УЗ	IP54 УХЛ2, Т2	1- по- люсн	3- по- люсн.	
С зажимами на вводе						
153	630	504	473		2	ПР 85 по схемам 153...155 имеют только навесное исполнение (IP21 и IP54)
154				2	2	
155				4	2	
156				6	2	
157				8	2	
С выключателем ВА 51–39 на вводе						
090	630	504	473	6	–	Все остальные ПР 85 имеют навесное и напольное исполнение (IP21 и IP54)
091				8	–	
092				10	–	
093				12	–	
094				–	4	
095				2	2	
096				4	2	
097				6	2	
098				8	2	
С выключателем ВА 55–39 на вводе						
115	630	504	473			
116				8	–	
117				10	–	
118				12	–	
119				–	4	
120				2	2	
121				4	2	
122				6	2	
123				8	2	
С выключателем ВА 56–39 на вводе						
140	630	504	473	6	–	
141				3	–	
142				10	–	
143				12	–	
144				–	4	
145				2	2	
146				4	2	
147				6	2	
148				8	2	

### Структура условного обозначения распределительного пункта

ПР	1	2	3	4	5	6
Пункт распределительный						Одна цифра Категория размещения
Две цифры Номер разработки серии						Одна или две буквы Климатическое исполнение
Одна цифра Вид установки пункта: 3 — навесное; ввод сверху и снизу проводниками, кабелями в резиновой или пластмассовой изоляции; снизу — кабелями в бумажной изоляции 4 — напольное; ввод провода и кабеля сверху 5 — навесное, ввод сверху и снизу проводами, кабелями в резиновой или пластмассовой изоляции, снизу — кабелями в бумажной изоляции						Степень защиты оболочки
			Три цифры Номер схемы По номеру схемы можно определить габарит ( $I_n$ , A), кол-во и тип выключателей и др. данные			
			7 — напольное; ввод сверху или снизу проводами, кабелями в резиновой или пластмассовой изоляции; снизу — кабелями в бумажной изоляции 8 — напольное; ввод проводом или кабелем в резиновой или пластмассовой изоляции 9 — напольное; ввод кабелем сечением 1000 мм <sup>2</sup>			

**Например:**

ПР	85	3	012	21	У3
Пункт распределительный					Категория размещения: 3 — для покрытых помещений
Номер разработки серии 85 — переменный ток 87 — постоянный ток					Климатическое исполнение У — для умеренного климата
3 — навесное исполнение; ввод сверху и снизу проводами, кабелями в резиновой или пластмассовой изоляции; снизу — кабелями в бумажной изоляции					
012 — номер схемы					
IP21 — степень защиты 2 — защита от проникновения внутрь оболочки пальцев или предметов длиной до 80 мм и от проникновения твердых тел размером более 12 мм 1 — защита от вертикальных капель воды					

## ПРИЛОЖЕНИЕ И

### Значение переходных сопротивлений

Таблица И.1

Сопротивление трансформаторов 10/0,4 кВ

Мощность, кВА	$R_T$ , мОм	$X_T$ , мОм	$Z_T$ , мОм	$Z_T^{(0)}$ , мОм
25	153,9	243,6	287	3110
40	88	157	180	1949
63	52	102	114	1237
100	31,5	64,7	72	779
160	16,6	41,7	45	487
250	9,4	27,2	28,7	312
400	5,5	17,1	18	195
630	3,1	13,6	14	129
1000	2	8,5	8,8	81
1600	1	5,4	5,4	54

Таблица И.2

Значение сопротивлений первичных обмоток  
катушечных трансформаторов тока 1кВ

К <sub>ТТ</sub> трансформатора тока	Сопротивление, мОм, класса точности			
	1		2	
	$X_{ТТ}$	$R_{ТТ}$	$X_{ТТ}$	$R_{ТТ}$
1	2	3	4	5
20/5	67	42	17	19
30/5	30	20	8	8,2
40/5	17	11	4,2	4,8
50/5	11	7	2,8	3
75/5	4,8	3	1,2	1,3
100/5	1,7	2,7	0,7	0,75
150/5	1,2	0,75	0,3	0,33
200/5	0,67	0,42	0,17	0,19
300/5	0,3	0,2	0,08	0,09
400/5	0,17	0,11	0,04	0,05
500/5	0,07	0,05	0,02	0,02

Таблица И.3

Значение сопротивлений автоматических выключателей,  
рубильников, разъединителей до 1кВ

$I_{наз}$ , А	Автомат			Рубильник	Разъединитель
	$R_a$ , мОм	$X_a$ , мОм	$R_{ш}$ , мОм	$R$ , мОм	$R$ , мОм
50	5,5	4,5	1,3	-	-
70	2,4	2	1	-	-
100	1,3	1,2	0,75	0,5	-
150	0,7	0,7	0,7	0,45	-
200	0,4	0,5	0,6	0,4	-
400	0,15	0,17	0,4	0,2	0,2
600	11,12	0,13	0,25	0,15	0,15

Окончание табл. И.3

I <sub>на</sub> , А	Автомат			Рубильник	Разъединитель
	R <sub>а</sub> , мОм	X <sub>а</sub> , мОм	R <sub>ш</sub> , мОм	R, мОм	R, мОм
1000	0,1	0,1	0,15	0,08	0,08
1600	0,08	0,08	0,1	-	0,06
2000	11,07	0,08	0,08	-	0,03
2500	0,06	0,07	0,07	-	0,03
3000	0,05	0,07	0,06	-	0,02
4000	0,04	0,05	0,05	-	-

Таблица И.4

## Значение переходных сопротивлений на ступенях распределения

Ступень	Место	R <sub>ст</sub> , мОм	Дополнительные сведения
1	Распределительные устройства подстанции	15	Используются при отсутствии достоверных данных о контактах и их переходных сопротивлениях в сетях, питающихся от цеховых трансформаторов мощностью до 2500 кВа включительно
2	Первичные распределительные цеховые пункты	20	
3	Вторичные распределительные цеховые пункты	25	
4	Аппаратура управления электроприемников, получающих питание от вторичных РП	30	

Таблица И.5

## Значения удельных сопротивлений кабелей, проводов

S, мм <sup>2</sup> жи- лы	r <sub>0</sub> , Ом /м при 20° С; жины		x <sub>0</sub> , мОм /м	
	Al	Cu	Кабель с бумажной поясной изоляцией	Три провода в трубе или кабель, с любой изоляцией
1	2	3	4	5
1	-	18,5	-	0,133
1,5	-	12,3	-	0,126
2,5	12,5	7,4	0,104	0,116
4	7,81	4,63	0,095	0,107
6	5,21	3,09	0,09	0,1
10	3,12	1,84	0,073	0,099
16	1,95	1,16	0,0675	0,095
25	1,25	0,74	0,0662	0,091
35	0,894	0,53	0,0637	0,088
50	0,625	0,37	0,0625	0,085
70	0,447	0,265	0,0612	0,082
95	0,329	0,195	0,0602	0,081
120	0,261	0,154	0,0602	0,08
150	0,208	0,124	0,0596	0,079
185	0,169	0,1	0,0596	0,78
240	0,13	0,077	0,0587	0,077

Таблица И.6

Значения удельных сопротивлений троллейных  
шинопроводов до 1кВ

Тип	I <sub>н</sub> , А	Сопротивление, Ом/м		
		r <sub>0</sub>	x <sub>0</sub>	Z <sub>0</sub>
ШТМ	250	0,315	0,18	0,36
	400	0,197	0,12	0,23
ШТА	250	0,474	0,15	0,496
	400	0,217	0,13	0,254

Таблица И.7

Значение удельных сопротивлений комплексных шнопроводов

Параметры	Тип комплектного шнопровода						
	ШМА				ШРА		
I <sub>н</sub> , А	1250	1600	2500	3200	250	400	630
r <sub>0</sub> , мОм/м	0,034	0,03	0,017	0,015	0,21	0,15	0,1
x <sub>0</sub> , мОм/м	0,016	0,014	0,008	0,007	0,21	0,17	0,13
r <sub>0 н(φ-0)</sub> , мОм/м	0,068	0,06	0,034	0,03	0,42	0,3	0,2
x <sub>0 н(φ-0)</sub> , мОм/м	0,053	0,06	0,075	0,044	0,42	0,24	0,26
Z <sub>0 п(φ-0)</sub> , мОм/м	0,086	0,087	0,082	0,053	0,59	0,38	0,33

Таблица И.8

Значение активных переходных сопротивлений неподвижных  
контактных соединений

S мм <sup>2</sup> кабеля	R <sub>н</sub> , мОм	I <sub>н</sub> , А	R <sub>н</sub> , мОм
16	0,85	ШРА	0,009 0,006 0,0037
25	0,064		
35	0,056		
50	0,043		
70	0,029		
95	0,027	ШМА	0,0034 0,0024 0,0012 0,0011
120	0,024		
185	0,021		
240	0,012		

Таблица И.9

Значение T<sub>доп</sub>, °С

Проводники	T <sub>доп</sub> °С, (норм)	T <sub>доп</sub> °С, (при КЗ)
Шины: медные	70	300
алюминиевые	70	200
Кабели, провода до 1кВ	65	150
Кабели более 1кВ	60	200

**Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой  
для освоения дисциплины (модуля)**

**Перечень основной литературы:**

1. Конюхова, Е. А. Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий (теория и примеры) Электронный ресурс : Учебное пособие / Е. А. Конюхова. - Проектирование систем электроснабжения промышленных предприятий (теория и примеры), - Москва : Русайнс, 2015. - 159 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - ISBN 978-5-4365-0628-9

**Перечень дополнительной литературы:**

2. Данилов, М.И. Инженерные системы зданий и сооружений (электроснабжение с основами электротехники) Электронный ресурс : практикум / С.С. Ястребов / И.Г. Романенко / М.И. Данилов. - Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. - 118 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Методические указания для обучающихся по организации и проведению  
самостоятельной работы по дисциплине «Электроснабжение»

Направление подготовки 13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника

Невинномысск 2023

Методические указания предназначены для организации и проведению самостоятельной работы студента по дисциплине «Электроснабжение» для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника и соответствуют требованиям ФГОС ВО направления подготовки бакалавров.

Составитель: доцент кафедры ИСЭА А.И. Колдаев

## Содержание

1 Подготовка к лекциям .....	4
2 Подготовка к лабораторным занятиям.....	5
3 Самостоятельное изучение темы. Конспект.....	6
4 Подготовка к практическим занятиям .....	8

## 1 Подготовка к лекциям

Главное в период подготовки к лекционным занятиям – научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения. Четкое планирование своего рабочего времени и отдыха является необходимым условием для успешной самостоятельной работы. В основу его нужно положить рабочие программы изучаемых в семестре дисциплин.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на завтрашний день. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием успешной учебы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

Слушание и запись лекций – сложный вид вузовской аудиторной работы. Внимательное слушание и конспектирование лекций предполагает интенсивную умственную деятельность студента. Краткие записи лекций, их конспектирование помогает усвоить учебный материал. Конспект является полезным тогда, когда записано самое существенное, основное и сделано это самим студентом. Не надо стремиться записать дословно всю лекцию. Такое «конспектирование» приносит больше вреда, чем пользы. Запись лекций рекомендуется вести по возможности собственными формулировками. Желательно запись осуществлять на одной странице, а следующую оставлять для проработки учебного материала самостоятельно в домашних условиях.

Конспект лекций лучше подразделять на пункты, параграфы, соблюдая красную строку. Этому в большой степени будут способствовать пункты плана лекции, предложенные преподавателям. Принципиальные места, определения, формулы и другое следует сопровождать замечаниями «важно», «особо важно», «хорошо запомнить» и т.п. Можно делать это и с помощью разноцветных маркеров

или ручек. Лучше если они будут собственными, чтобы не приходилось присить их у однокурсников и тем самым не отвлекать их во время лекции. Целесообразно разработать собственную «маркографию» (значки, символы), сокращения слов. Не лишним будет и изучение основ стенографии. Работая над конспектом лекций, всегда необходимо использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор. Именно такая серьезная, кропотливая работа с лекционным материалом позволит глубоко овладеть знаниями.

## **2 Подготовка к лабораторным занятиям**

Для того чтобы лабораторные занятия приносили максимальную пользу, необходимо помнить, что упражнение и решение задач проводятся по рассмотренному на лекциях материалу и связаны, как правило, с детальным разбором отдельных вопросов лекционного курса. Следует подчеркнуть, что только после усвоения лекционного материала с определенной точки зрения (а именно с той, с которой он излагается на лекциях) он будет закрепляться студентом на лабораторных занятиях как в результате обсуждения и анализа лекционного материала, так и с помощью решения проблемных ситуаций, задач. При этих условиях студент не только хорошо усвоит материал, но и научится применять его на практике, а также получит дополнительный стимул (и это очень важно) для активной проработки лекции.

При самостоятельном решении задач нужно обосновывать каждый этап решения, исходя из теоретических положений курса. Если студент видит несколько путей решения проблемы (задачи), то нужно сравнить их и выбрать самый рациональный. Полезно до начала вычислений составить краткий план решения проблемы (задачи). Решение проблемных задач или примеров следует излагать подробно, вычисления располагать в строгом порядке, отделяя вспомогательные вычисления от основных. Решения при необходимости нужно сопровождать комментариями, схемами, чертежами и рисунками.

Следует помнить, что решение каждой учебной задачи должно доводиться до окончательного логического ответа, которого требует условие, и по возможности с

выводом. Полученный ответ следует проверить способами, вытекающими из существа данной задачи. Полезно также (если возможно) решать несколькими способами и сравнить полученные результаты. Решение задач данного типа нужно продолжать до приобретения твердых навыков в их решении.

### **3 Самостоятельное изучение темы. Конспект**

Конспект – наиболее совершенная и наиболее сложная форма записи. Слово «конспект» происходит от латинского «conspectus», что означает «обзор, изложение». В правильно составленном конспекте обычно выделено самое основное в изучаемом тексте, сосредоточено внимание на наиболее существенном, в кратких и четких формулировках обобщены важные теоретические положения.

Конспект представляет собой относительно подробное, последовательное изложение содержания прочитанного. На первых порах целесообразно в записях ближе держаться тексту, прибегая зачастую к прямому цитированию автора. В дальнейшем, по мере выработки навыков конспектирования, записи будут носить более свободный и сжатый характер.

Конспект книги обычно ведется в тетради. В самом начале конспекта указывается фамилия автора, полное название произведения, издательство, год и место издания. При цитировании обязательная ссылка на страницу книги. Если цитата взята из собрания сочинений, то необходимо указать соответствующий том. Следует помнить, что четкая ссылка на источник – неременное правило конспектирования. Если конспектируется статья, то указывается, где и когда она была напечатана.

Конспект подразделяется на части в соответствии с заранее продуманным планом. Пункты плана записываются в тексте или на полях конспекта. Писать его рекомендуется четко и разборчиво, так как небрежная запись с течением времени становится малопонятной для ее автора. Существует правило: конспект, составленный для себя, должен быть по возможности написан так, чтобы его легко прочитал и кто-либо другой.

Формы конспекта могут быть разными и зависят от его целевого назначения (изучение материала в целом или под определенным углом зрения, подготовка к докладу, выступлению на занятии и т.д.), а также от характера произведения

(монография, статья, документ и т.п.). Если речь идет просто об изложении содержания работы, текст конспекта может быть сплошным, с выделением особо важных положений подчеркиванием или различными значками.

В случае, когда не ограничиваются переложением содержания, а фиксируют в конспекте и свои собственные суждения по данному вопросу или дополняют конспект соответствующими материалами их других источников, следует отводить место для такого рода записей. Рекомендуется разделить страницы тетради пополам по вертикали и в левой части вести конспект произведения, а в правой свои дополнительные записи, совмещая их по содержанию.

Конспектирование в большей мере, чем другие виды записей, помогает вырабатывать навыки правильного изложения в письменной форме важные теоретических и практических вопросов, умение четко их формулировать и ясно излагать своими словами.

Таким образом, составление конспекта требует вдумчивой работы, затраты времени и труда. Зато во время конспектирования приобретаются знания, создается фонд записей.

Конспект может быть текстуальным или тематическим. В текстуальном конспекте сохраняется логика и структура изучаемого произведения, а запись ведется в соответствии с расположением материала в книге. За основу тематического конспекта берется не план произведения, а содержание какой-либо темы или проблемы.

Текстуальный конспект желательно начинать после того, как вся книга прочитана и продумана, но это, к сожалению, не всегда возможно. В первую очередь необходимо составить план произведения письменно или мысленно, поскольку в соответствии с этим планом строится дальнейшая работа. Конспект включает в себя тезисы, которые составляют его основу. Но, в отличие от тезисов, конспект содержит краткую запись не только выводов, но и доказательств, вплоть до фактического материала. Иначе говоря, конспект – это расширенные тезисы, дополненные рассуждениями и доказательствами, мыслями и соображениями составителя записи.

Как правило, конспект включает в себя и выписки, но в него могут войти отдельные места, цитируемые дословно, а также факты, примеры, цифры, таблицы и схемы, взятые из книги. Следует помнить, что работа над конспектом только тогда будет творческой, когда она не ограничена текстом изучаемого произведения. Нужно дополнять конспект данными из другими источников.

В конспекте необходимо выделять отдельные места текста в зависимости от их значимости. Можно пользоваться различными способами: подчеркиваниями, вопросительными и восклицательными знаками, репликами, краткими оценками, писать на полях своих конспектов слова: «важно», «очень важно», «верно», «характерно».

В конспект могут помещаться диаграммы, схемы, таблицы, которые придадут ему наглядность.

Составлению тематического конспекта предшествует тщательное изучение всей литературы, подобранной для раскрытия данной темы. Бывает, что какая-либо тема рассматривается в нескольких главах или в разных местах книги. А в конспекте весь материал, относящийся к теме, будет сосредоточен в одном месте. В плане конспекта рекомендуется делать пометки, к каким источникам (вплоть до страницы) придется обратиться для раскрытия вопросов. Тематический конспект составляется обычно для того, чтобы глубже изучить определенный вопрос, подготовиться к докладу, лекции или выступлению на семинарском занятии. Такой конспект по содержанию приближается к реферату, докладу по избранной теме, особенно если включает и собственный вклад в изучение проблемы.

#### **4 Подготовка к практическим занятиям**

Подготовку к каждому практическому занятию студент должен начать с ознакомления с методическими указаниями, которые включают содержание работы. Тщательное продумывание и изучение вопросов основывается на проработке текущего материала лекции, а затем изучения обязательной и дополнительной литературы, рекомендованную к данной теме. На основе индивидуальных предпочтений студенту необходимо самостоятельно выбрать тему доклада по проблеме и по возможности подготовить по нему презентацию.

Если программой дисциплины предусмотрено выполнение практического задания, то его необходимо выполнить с учетом предложенной инструкции (устно или письменно). Все новые понятия по изучаемой теме необходимо выучить наизусть и внести в глоссарий, который целесообразно вести с самого начала изучения курса. Результат такой работы должен проявиться в способности студента свободно ответить на теоретические вопросы семинара, его выступлении и участии в коллективном обсуждении вопросов изучаемой темы, правильном выполнении практических заданий и контрольных работ.

В зависимости от содержания и количества отведенного времени на изучение каждой темы практическое занятие может состоять из четырех-пяти частей:

1. Обсуждение теоретических вопросов, определенных программой дисциплины.
2. Доклад и/ или выступление с презентациями по выбранной проблеме.
3. Обсуждение выступлений по теме – дискуссия.
4. Выполнение практического задания с последующим разбором полученных результатов или обсуждение практического задания.
5. Подведение итогов занятия.

Первая часть – обсуждение теоретических вопросов – проводится в виде фронтальной беседы со всей группой и включает выборочную проверку преподавателем теоретических знаний студентов. Примерная продолжительность — до 15 минут. Вторая часть — выступление студентов с докладами, которые должны сопровождаться презентациями с целью усиления наглядности восприятия, по одному из вопросов практического занятия. Обязательный элемент доклада – представление и анализ статистических данных, обоснование социальных последствий любого экономического факта, явления или процесса. Примерная продолжительность — 20-25 минут. После докладов следует их обсуждение – дискуссия. В ходе этого этапа практического занятия могут быть заданы уточняющие вопросы к докладчикам. Примерная продолжительность – до 15-20 минут. Если программой предусмотрено выполнение практического задания в рамках конкретной темы, то преподавателями определяется его содержание и дается

время на его выполнение, а затем идет обсуждение результатов. Подведением итогов заканчивается практическое занятие.

В процессе подготовки к практическим занятиям, студентам необходимо обратить особое внимание на самостоятельное изучение рекомендованной учебно-методической (а также научной и популярной) литературы. Самостоятельная работа с учебниками, учебными пособиями, научной, справочной и популярной литературой, материалами периодических изданий и Интернета, статистическими данными является наиболее эффективным методом получения знаний, позволяет значительно активизировать процесс овладения информацией, способствует более глубокому усвоению изучаемого материала, формирует у студентов свое отношение к конкретной проблеме. Более глубокому раскрытию вопросов способствует знакомство с дополнительной литературой, рекомендованной преподавателем по каждой теме семинарского или практического занятия, что позволяет студентам проявить свою индивидуальность в рамках выступления на данных занятиях, выявить широкий спектр мнений по изучаемой проблеме.