

## ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

- Учебная программа дисциплины
- **Учебное пособие по курсовому проектированию**
- Учебное пособие по дипломному проектированию
- Учебное пособие к практическим занятиям
- Конспект лекций
- Методические указания по лабораторным работам
- Методические указания по самостоятельной работе
- Банк тестовых заданий в системе UniTest**



УДК 621.311  
ББК 32.29-5  
С38

Электронный учебно-методический комплекс по дисциплине «Электроснабжение» подготовлен в рамках инновационной образовательной программы «Создание группового проектного обучения студентов СФУ, как одного из основных элементов инновационной образовательной программы в рамках приоритетного образовательного проекта «Образование» на базе учебно-научно-производственного комплекса», реализованной в ФГОУ ВПО СФУ в 2007 г.

Рецензенты:

Красноярский краевой фонд науки;  
Экспертная комиссия СФУ по подготовке учебно-методических комплексов дисциплин

**Синенко, Л. С.**

С38 Электроснабжение. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: учеб. пособие по курсовому проектированию / Л. С. Синенко, Е. Ю. Сизганова, Ю. П. Попов. – Электрон. дан. (2 Мб). – Красноярск : ИПК СФУ, 2008. – (Электроснабжение : УМКД № 176-2007 / рук. творч. коллектива Ю. П. Попов). – 1 электрон. опт. диск (DVD). – Систем. требования : *Intel Pentium* (или аналогичный процессор других производителей) 1 ГГц ; 512 Мб оперативной памяти ; 2 Мб свободного дискового пространства ; привод *DVD* ; операционная система *Microsoft Windows 2000 SP 4 / XP SP 2 / Vista* (32 бит) ; *Adobe Reader 7.0* (или аналогичный продукт для чтения файлов формата *pdf*).

ISBN 978-5-7638-1387-6 (комплекса)

ISBN 978-5-7638-1392-0 (пособия)

Номер гос. регистрации в ФГУП НТЦ «Информрегистр» 0320802719 от 19.12.2008 г. (комплекса)

Настоящее издание является частью электронного учебно-методического комплекса по дисциплине «Электроснабжение», включающего учебную программу, конспект лекций, учебное пособие по дипломному проектированию, учебное пособие к практическим занятиям, методические указания по лабораторным работам, методические указания по самостоятельной работе, контрольно-измерительные материалы «Электроснабжение. Банк тестовых заданий», наглядное пособие «Электроснабжение. Презентационные материалы».

Приведены краткие теоретические сведения по основным разделам курсового проекта. Рассмотрен один из методов расчета центра электрических нагрузок. Даны примеры расчетов.

Предназначено для студентов направления подготовки бакалавров 140200.62 «Электроэнергетика» укрупненной группы 140000 «Энергетика».

© Сибирский федеральный университет, 2008

Рекомендовано к изданию  
Инновационно-методическим управлением СФУ

Редактор Т. И. Тайгина

Разработка и оформление электронного образовательного ресурса: Центр технологий электронного обучения информационно-аналитического департамента СФУ; лаборатория по разработке мультимедийных электронных образовательных ресурсов при КрЦНИТ

Содержимое ресурса охраняется законом об авторском праве. Несанкционированное копирование и использование данного продукта запрещается. Встречающиеся названия программного обеспечения, изделий, устройств или систем могут являться зарегистрированными товарными знаками тех или иных фирм.

Подп. к использованию 10.12.2008

Объем 2 Мб

Красноярск: СФУ, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ</b> .....	5
<b>1. СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ ПРОЕКТА</b> .....	7
1.1. Структура курсового проекта. Требования к оформлению .....	7
1.2. Задание на курсовое проектирование. График выполнения проекта .....	8
<b>2. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК</b> .....	10
2.1. Основные методы .....	10
2.2. Определение расчетных нагрузок цехов по установленной мощности и коэффициенту спроса .....	11
2.3. Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту формы графика нагрузок .....	13
2.4. Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм) .....	15
2.5. Определение расчетных электрических нагрузок на различных ступенях системы электроснабжения .....	21
2.6. Определение расчетной нагрузки завода в целом .....	25
<b>3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЯ ГПП (ГРП) И ТП. ПОСТРОЕНИЕ КАРТОГРАММЫ НАГРУЗОК</b> ..	53
<b>4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ</b> .....	57
4.1. Выбор схемы электроснабжения предприятия .....	57
4.2. Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП .....	59
4.3. Выбор рационального напряжения внешнего электроснабжения предприятия .....	60
4.4. Выбор сечения воздушных и кабельных линий .....	61
<b>5. КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ И ВЫБОР СХЕМЫ ГЛАВНОЙ ПониЗИТЕЛЬНОЙ ПОДСТАНЦИИ ИЛИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ПУНКТА</b> .....	82
<b>6. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕХНИКО- ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ</b> .....	104
6.1. Условия сопоставимости вариантов инвестирования .....	104

6.2. Оценка эффективности инвестиций.....	105
6.3. Учет изменения во времени приведенных затрат.....	113
6.4. Учет реактивной мощности.....	114
6.5. Техничко-экономическое сравнение схем электроснабжения с разной степенью надежности .....	115
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	124
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК</b> .....	125
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ</b> .....	126
Назначение и общая характеристика табличного процессора.....	126
Работа с формулами .....	129
Операции с элементами таблицы .....	132
Формат данных.....	134
Оформление таблиц .....	136
Работа с окнами.....	137
Печать таблиц .....	138
Пример расчета .....	140

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Цель курсового проектирования по электроснабжению промышленных предприятий – систематизация и расширение теоретических знаний студентов, ознакомление с основными приемами проектирования, закрепление навыков использования современной вычислительной техники.

В настоящем учебном пособии приведены краткие теоретические сведения по основным разделам курсового проекта.

В ходе выполнения курсового проекта студент должен:

**знать:**

основы систем электроснабжения городов, промышленных предприятий и транспортных систем;

схемы и основное электротехническое и коммутационное оборудование подстанций систем электроснабжения;

**уметь:**

рассчитывать и выбирать элементы системы электроснабжения в процессе их разработки;

определять оптимальные режимы работы систем электроснабжения;

**владеть:**

методиками расчета систем электроснабжения.

Трудоемкость выполнения курсового проекта составляет 0,83 ЗЕ (30 часов). Курсовой проект состоит из 30–50 страниц машинописного текста и четырех листов графического материала.

В результате выполнения курсового проекта по дисциплине «Электроснабжение» студенты должны приобрести следующие компетенции:

**инструментальные (ИК):**

способность самостоятельно работать на компьютере (базовые навыки) (ИК-1);

способность пользоваться Интернетом, электронной почтой и другими средствами оперативного обмена информацией, воспринимать и анализировать информацию (ИК-2);

готовность использовать основные компьютерные технологии в сфере своей профессиональной деятельности (ИК-6);

способность понимать и использовать идеи и мысли (когнитивные способности, ИК-10);

**общенаучные (ОНК):**

способность использовать основные понятия и методы математического анализа, аналитической геометрии, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, векторного анализа и элементов теории поля, гармонического анализа, теории вероятностей, физики, информатики, теоретических основ электротехники (ОНК-2);

готовность применять методы дифференциального и интегрального исчисления, теории вероятности, математической статистики, функций ком-

плексных переменных и численные методы решения алгебраических и дифференциальных уравнений (ОНК-3);

способность самостоятельно использовать средства компьютерной техники и основные компьютерные технологии в сфере своей профессиональной деятельности (ОНК-7);

готовность к выполнению простых операций по алгоритмизации и программированию компьютерных средств с использованием основных языков программирования (ОНК-8);

***профессиональные (ПК):***

*проектно-конструкторская деятельность:*

готовность разрабатывать проекты электротехнических систем и отдельных компонентов (ПК-1);

способность разрабатывать простые конструкции электротехнических объектов (ПК-2);

готовность использовать информационные технологии в своей предметной области (ПК-3);

готовность применять способы графического отображения геометрических образов изделий и объектов электрооборудования, схем и систем (ПК-5);

способность рассчитывать режимы работы электроэнергетических установок различного назначения, определять состав оборудования и его параметры, схемы электроэнергетических объектов (ПК-9);

*производственно-технологическая деятельность:*

способность использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации электроэнергетических и электротехнических объектов, элементы экономического анализа в практической деятельности (ПК-13).

*научно-исследовательская деятельность:*

способность применять современные методы исследования объектов и систем электротехники (ПК-31);

готовность изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования (ПК-32);

способность формировать законченное представление о принятых решениях и полученных результатах в виде научно-технического отчета с его публикацией и публичной защитой (ПК-35).

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ ПРОЕКТА

## 1.1. Структура курсового проекта. Требования к оформлению

Курсовой проект по электроснабжению состоит из двух частей:

- 1) расчетно-пояснительная записка;
- 2) графический материал.

Объем расчетно-пояснительной записки курсового проектирования составляет 30–50 страниц машинописного текста.

Расчетно-пояснительная записка курсового проекта должна содержать следующие разделы:

1. Краткое описание технологического процесса с отнесением отдельных приемников и потребителей по надежности электроснабжения к соответствующей категории (I, II, III) с обоснованием причин, по которым указанный приемник или потребитель должен быть причислен к данной категории.

2. Краткая характеристика среды производственных помещений. Характер производственной среды предопределяет ряд решений по системе электроснабжения цехов и всего предприятия с точки зрения выбора формы исполнения электрооборудования и конструктивного выполнения элементов системы электроснабжения.

3. Определение электрических нагрузок по цехам и предприятию в целом.

4. Выбор рационального напряжения питающей сети.

5. Выбор числа и мощности трансформаторов главной понизительной (ГПП) и цеховых подстанций. Выбор производится с учетом категории потребителей, графика их работы и перегрузочной способности трансформаторов. На плане завода должны быть показаны картограмма и центр электрических нагрузок для активной и реактивной мощностей.

6. Выбор схемы электроснабжения завода. В проекте должно быть рассмотрено несколько вариантов и обязательно с технико-экономическими расчетами.

7. Расчет компенсации реактивной мощности.

8. Выбор схемы электрических соединений главной понизительной подстанции, если она имеет место в проекте.

9. Выбор схемы электрических соединений главного или центрального распределительного пункта (ГРП, ЦРП), если он имеет место в проекте.

10. Расчет токов короткого замыкания и выбор коммутационно-защитной аппаратуры в сети высокого и низкого напряжения.

11. Выбор конструкции распределительного устройства (РУ) высокого напряжения ГПП, ГРП или распределительного пункта (РП), трансформаторной подстанции (ТП).

12. Расчет цеховой сети одного из цехов промышленного предприятия, электроснабжение которого подробно разрабатывается в проекте.

Графическая часть курсового проекта включает в себя четыре чертежа формата А1 или А2:

1. Генеральный план предприятия с нанесением картограммы электрических нагрузок, расположения ГПП или ЦРП, цеховых ТП, РУ и внутриводской сети высокого напряжения.
2. Однолинейная схема электроснабжения предприятия.
3. План и разрез ГПП или ЦРП.
4. План одного из цехов с размещением оборудования и нанесением силовой сети, электроснабжение которого разрабатывается в проекте.

Правила оформления проекта должны соответствовать требованиям СТО СФУ, изложенным в [15].

## 1.2. Задание на курсовое проектирование. График выполнения проекта

Варианты заданий на курсовое проектирование изложены в [1]. Сборник заданий содержит 44 варианта, номер варианта задания выдает преподаватель. Семестровый график выполнения курсового проекта приведен в [табл. 1.1](#).

Таблица 1.1

Семестровый график выполнения курсового проекта

Номер недели	Содержание работы, ее трудоемкость в часах
1	2
1	Выдача задания на курсовое проектирование
2	Краткое описание технологического процесса с отнесением отдельных приемников и потребителей по надежности электроснабжения к соответствующей категории, краткая характеристика среды производственных помещений (3 часа)
3	Определение электрических нагрузок по цехам и предприятию в целом (3 часа)
4	Выбор рационального напряжения питающей сети. Выбор числа и мощности трансформаторов главной понизительной (ГПП) и цеховых подстанций (4 часов)
5	Выбор схемы электроснабжения завода (3 часа)
6	Расчет компенсации реактивной мощности. Выбор схемы электрических соединений главной понизительной подстанции или центрального распределительного пункта (2 часа)

## 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОБЪЕМ ПРОЕКТА

### 1.2. Задание на курсовое проектирование. График выполнения проекта

7	Расчет токов короткого замыкания и выбор коммутационно-защитной аппаратуры в сети высокого и низкого напряжения (3 часа)
8	Выбор конструкции распределительного устройства высокого напряжения ГПП, ГРП или распределительного пункта, трансформаторной подстанции (2 часа)
9	Расчет цеховой сети одного из цехов промышленного предприятия, электроснабжение которого подробно разрабатывается в проекте (3 часа)
10–12	Оформление чертежей (7 часов)
13	Сдача готового проекта на проверку преподавателю
14–7	Защита курсового проекта

**Защита курсового проекта.** Защита курсового проекта осуществляется перед комиссией, состоящей из двух-трех преподавателей. Студент кратко излагает содержание проекта. После ответов на вопросы членов комиссии выносится решение об оценке проекта.

## 2. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

### 2.1. Основные методы

Первым этапом проектирования системы электроснабжения является определение электрических нагрузок. По значению электрических нагрузок выбирают и проверяют электрооборудование системы электроснабжения, определяют потери мощности и электроэнергии. От правильной оценки ожидаемых нагрузок зависят капитальные затраты на систему электроснабжения, эксплуатационные расходы, надежность работы электрооборудования.

К основным методам расчета электрических нагрузок относятся следующие:

- 1) по установленной мощности и коэффициенту спроса:

$$P_p = K_c \cdot P_n; \quad (2.1)$$

- 2) по средней мощности и коэффициенту формы графика нагрузок:

$$P_p = K_\phi \cdot P_c; \quad (2.2)$$

- 3) по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм показателей графиков нагрузок):

$$P_p = K_m \cdot P_c; \quad (2.3)$$

- 4) по средней мощности и отклонению расчетной нагрузки от средней (статистический метод):

$$P_p = P_c \pm \beta \cdot \sigma, \quad (2.4)$$

где  $\beta$  – принятая кратность меры рассеяния;  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение.

Первый метод расчета, выполняемый по формуле (2.1), дает приближенные результаты и может быть предложен только для предварительных расчетов.

Второй метод, выполняемый по формуле (2.2), с достаточной степенью точности позволяет определять расчетные нагрузки узлов на всех ступенях системы электроснабжения, начиная от шин цеховых подстанций и выше в сторону питания. При условии наличия графика нагрузки он может считаться вообще вполне удовлетворительным.

Третий метод, выполняемый по формуле (2.3), наиболее точен и применяется для расчета нагрузок на всех ступенях системы электроснабжения, но при условии наличия данных о каждом приемнике узла.

Использование статического метода в соответствии с формулой (2.4) определения расчетных нагрузок возможно во всех случаях, но при наличии данных, приведенных в выражении (2.4).

Применение метода коэффициента максимума дает более точные результаты, чем метод коэффициента спроса. Однако следует учитывать, что шаг стандартных сечений мощностей силовых трансформаторов и т. д. значительно больше, чем ошибка в расчетах. По этой причине вполне возможно применение метода определения нагрузки и по коэффициенту спроса [5].

## 2.2. Определение расчетных нагрузок цехов по установленной мощности и коэффициенту спроса

Расчетная нагрузка (активная и реактивная) силовых приемников цеха определяется из соотношений:

$$P_p = K_c \cdot P_n; \quad Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (2.5)$$

где  $P_n$  – суммарная установленная мощность всех приемников цеха принимается по исходным данным;  $K_c$  – средний коэффициент спроса, принимаемый по табл. 2.1, или по справочным данным [3, 4], или по табл. 2.2 в зависимости от коэффициента использования  $K_n$ ;  $\operatorname{tg}\varphi$  – соответствующий характерному для приемников данного цеха средневзвешенному значению коэффициента мощности.

Расчетная нагрузка осветительных приемников цеха обычно определяется по установленной мощности и коэффициенту спроса для освещения:

$$P_{po} = P_{но} \cdot K_{co}, \quad (2.6)$$

где  $K_{co}$  – коэффициент спроса для освещения, принимаемый по табл. 2.3. или по справочным данным [3, 4];  $P_{но}$  – установленная мощность приемников электрического освещения.

Величина  $P_{но}$  может находиться по формуле:

$$P_{но} = P_{удо} \cdot F, \quad (2.7)$$

где  $P_{удо}$  – удельная нагрузка площади пола цеха, Вт/м<sup>2</sup> (табл. 2.4);  $F$  – площадь пола цеха, определяемая по генплану.

Для осветительной установки с газоразрядными лампами расчетная реактивная нагрузка определяется по формуле

$$Q_{po} = P_{po} \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (2.8)$$

где  $\operatorname{tg}\varphi$  – коэффициент мощности источников света ([табл. 2.5](#)).

Полная расчетная мощность силовых и осветительных приемников цеха ([табл. 2.5](#)) определяется из соотношения:

$$S_{p\ po} = \sqrt{(P_p + P_{po})^2 + Q^2 + Q}. \quad (2.9)$$

Приемники напряжением выше 1000 В цеха учитываются отдельно ([табл. 2.6](#)). Расчетные активная и реактивная мощности групп приемников выше 1000 В определяются из соотношений:

$$P_p = K_c \cdot P_n;$$

$$Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi,$$

а полная – из выражения

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}.$$

Суммарные расчетные активные и реактивные нагрузки потребители: 0,38/0,22 кВ и 6–10 кВ в целом по заводу определяются суммированием с соответствующих нагрузок цехов ([табл. 2.6](#)).

**Пример 2.1.** Рассчитать нагрузку инструментального цеха предприятия при условии, что  $P_n = 700$  кВт,  $F = 12000$  м<sup>2</sup>,  $K_c = 0,7$ ,  $\operatorname{tg}\varphi = 0,75$ ,  $P_{уд.о} = 0,015$  кВт/м<sup>2</sup>,  $K_{co} = 0,95$ , для освещения цеха используются лампы накаливания ([табл. 2.3](#)).

Рассчитываем активную, реактивную и осветительную нагрузку по формулам ([2.5](#)), ([2.6](#)), ([2.7](#)), ([2.9](#)):

$$P_p = K_c \cdot P_n = 0,7 \cdot 700 = 490 \text{ кВт}; \quad Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg}\varphi = 490 \cdot 0,75 = 367 \text{ кВт};$$

$$P_{но} = P_{уд.о} \cdot F = 0,015 \cdot 12000 = 180 \text{ кВт}; \quad P_{po} = P_{но} \cdot K_{co} = 180 \cdot 0,95 = 171 \text{ кВт};$$

$$S_{p\ po} = \sqrt{(P_p + P_{po})^2 + Q^2} = \sqrt{(490 + 171)^2 + 367^2} = 748 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Результаты расчета заносим в [табл. 2.6](#). Нагрузка остальных цехов предприятия рассчитывается аналогично, заносится в [табл. 2.6](#), после чего находится итоговая нагрузка потребителей энергии 0,4 и 6–10 кВ.

Расчет нагрузок этим методом в курсовом и дипломном проекте производят с помощью ПЭВМ. В приложении приведены основные правила работы в Microsoft Excel, пример расчета.

### 2.3. Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту формы графика нагрузок

Расчетная нагрузка группы приемников по средней мощности и коэффициенту формы определяется из следующих выражений:

$$P_p = K_{\text{фа}} \cdot P_{\text{см}}; \quad Q_p = P_p \cdot \text{tg}\varphi; \quad S_{\text{pp}} = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}. \quad (2.10)$$

Здесь  $K_{\text{фа}}$  – коэффициент формы графика активной мощности, определяемый по формуле

$$K_{\text{фа}} = \sqrt{m} \frac{\sqrt{\sum_1^m (\Delta \mathcal{E}_{ai})^2}}{\mathcal{E}_a}, \quad (2.11)$$

где  $m$  – число интервалов, на которое разбит график нагрузок;  $\mathcal{E}_a$  – величина, представляющая собой потребление электрической энергии за время  $\Delta T = T/m$ ;  $\mathcal{E}_a$  – расход активной электроэнергии за время  $T$ .

**Пример 2.2.** Пусть нам дан график нагрузок активной мощности за время  $T = 24$  ч, построенный по показаниям счетчика активной электроэнергии (рис. 2.1). Определим расчетную нагрузку цеха, принимая во внимание, что  $P_{\text{max}} = 800$  кВт. Принимаем  $m = 14$ , т. е. мы выделяем интервал времени от 8 до 22 часов, в котором график нагрузок изменяется самым разнообразным образом:

$$K_{\text{фа}} = \sqrt{14} \frac{\sqrt{640^2 \cdot 1 + 800^2 \cdot 1 + 760^2 \cdot 1 + 720^2 \cdot 1 + 560^2 \cdot 1 + 640^2 \cdot 1 + 720^2 \cdot 1 + 1 \cdot 640 + 800 \cdot 1 + 760 \cdot 1 + 720 \cdot 1 + 560 \cdot 1 + 640 \cdot 1 + 720 \cdot 1 + \sqrt{+640^2 \cdot 1 + 480^2 \cdot 1 + 400^2 \cdot 1 + 320^2 \cdot 1 + 640^2 \cdot 1 + 800^2 \cdot 1 + 720^2 \cdot 1 + 640 \cdot 1 + 480 \cdot 1 + 320 \cdot 1 + 640 \cdot 1 + 800 \cdot 1 + 720 \cdot 1}}{1 \cdot 640 + 800 \cdot 1 + 760 \cdot 1 + 720 \cdot 1 + 560 \cdot 1 + 640 \cdot 1 + 720 \cdot 1 + 640 \cdot 1 + 480 \cdot 1 + 320 \cdot 1 + 640 \cdot 1 + 800 \cdot 1 + 720 \cdot 1} = 1,1.$$

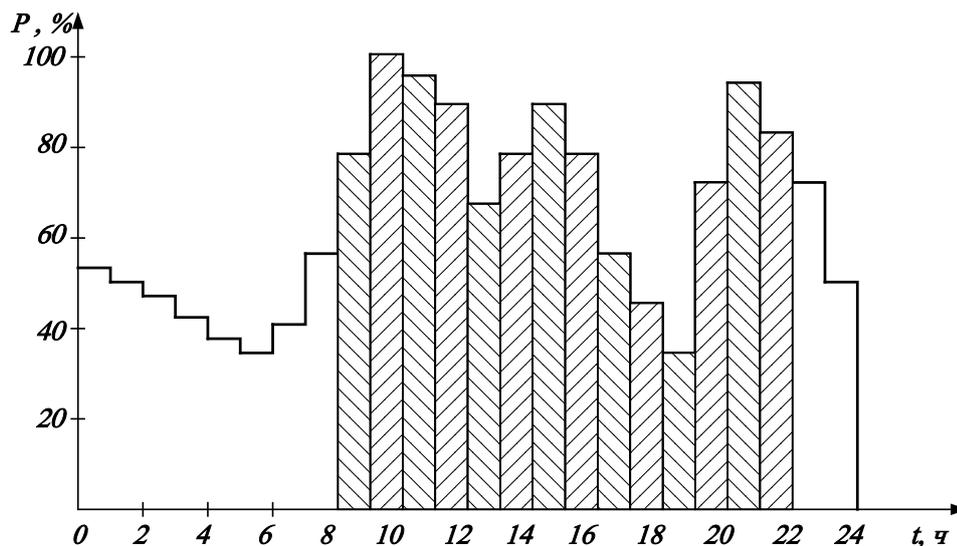


Рис. 2.1. Суточный график активной мощности

Средняя активная мощность за наиболее загруженную смену  $P_{см}$  группы силовых приемников с одинаковым режимом работы определяется путем умножения суммарной номинальной мощности группы рабочих приемников  $P_n$ , приведенной для приемников повторно-кратковременного режима работы к ПВ = 100 %, на их групповой коэффициент использования  $K_{иа}$ :

$$P_{см} = K_{иа} \cdot P_n ; \quad (2.12)$$

$$K_{иа} = 0,4 ; \quad P_{см} = 0,4 \cdot 800 = 320 \text{ кВт}; \quad P_p = 1,1 \cdot 320 = 352 \text{ кВт};$$

$$Q_p = 352 \cdot 0,88 = 310 \text{ квар}; \quad S_p = \sqrt{352^2 + 310^2} = 469 \text{ кВА}.$$

Подобным образом определяют расчетные нагрузки для остальных цехов.

## 2.4. Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

По этому методу расчетная активная нагрузка группы приемников с переменным графиком нагрузки может быть определена по средней мощности и коэффициенту максимума

$$P_p = K_m \cdot K_n \cdot P_n = K_m \cdot P_{cm}, \quad (2.13)$$

где  $K_n$  – определяется по [табл. 2.2](#) или по справочникам [3, 4];  $K_m$  – находится по [табл. 2.7](#) или по кривым [3, 6] в зависимости от  $K_b$  и эффективного числа электроприемников  $n_{\text{Э}}$ ;  $P_n$  – суммарная номинальная мощность однотипных приемников;  $P_{cm}$  – средняя активная мощность за наиболее загруженную смену.

Под эффективным числом группы электроприемников с различной установленной мощностью и разными режимами работы понимают такое число приемников, одинаковых по мощности и однородных по режиму работы, которое обеспечивает ту же величину расчетной нагрузки, что и рассматриваемая группа различных по мощности и режиму работы электроприемников. Это число находят из выражения

$$n_{\text{Э}} = \frac{(\sum_{ni}^n P_{ni})^2}{\sum_1^n P_{ni}^2}, \quad (2.14)$$

где в числителе стоит квадрат суммы номинальных мощностей всех приемников группы, а в знаменателе – сумма квадратов этих мощностей.

Эффективное количество электроприемников может быть принято равным фактическому их количеству ( $n_{\text{Э}} = n$ ) в следующих случаях:

- а) когда мощность всех приемников одинакова;
- б) при коэффициенте использования  $K_n > 0,8$ ;
- в) когда выполняются соотношения ([табл. 2.8](#)) между коэффициентом использования и величиной отношения

$$m = \frac{P_{n \max}}{P_{n \min}}, \quad (2.15)$$

где  $P_{n \max}$ ,  $P_{n \min}$  – соответственно номинальные активные мощности (кВт) наибольшего и наименьшего электроприемников в группе.

При определении  $P_{н \text{ min}}$  должны быть исключены наиболее мелкие электроприемники, суммарная мощность которых не превышает 5 % мощности всей группы приемников.

Если указанные условия не выполняются, что наблюдается при  $m > 3$ , а  $K_{и} < 0,2$ , эффективное количество электроприемников определяют в зависимости от относительных величин  $P_o$ ,  $n_o$ , вычисляемых по формулам:

$$P_o = \frac{\sum_1^{n_1} P_{н1}}{\sum_1^n P_{н}}; \quad n_o = \frac{n_1}{n}, \quad (2.16)$$

где  $n$  – общее количество электроприемников группы;  $\sum_1^n P_{н}$  – суммарная номинальная мощность всей группы, кВт;  $n_1$  – количество приемников в группе, номинальная мощность каждого из которых больше или равна половине номинальной мощности наиболее мощного приемника в группе;  $\sum_1^{n_1} P_{н1}$  – сумма номинальных мощностей этих приемников, кВт.

При  $m > 3$  и  $K_{и} \geq 0,2$  эффективное количество приемников

$$n_{э} = \frac{2 \sum_1^n P_{нi}}{P_{н \text{ max}}}. \quad (2.17)$$

Если найденное по формуле (2.15)  $n_{э}$  окажется большим, чем фактическое, следует принять  $n_{э} = n$ .

В зависимости от коэффициента использования  $K_{и}$  и эффективного количества приемников по [табл. 2.7](#) определяют коэффициент максимума.

Для электроприемников повторно-кратковременного режима работы (ПКР) паспортную мощность приводят к номинальной длительной мощности с относительной продолжительностью включения, равной 100 % (ПВ = 100 %).

$$P_{н} = P_{н \text{ пасп}} \sqrt{\text{ПВ}}, \quad (2.18)$$

где  $P_{н \text{ пасп}}$  – паспортная номинальная мощность электроприемника; ПВ – паспортные данные об относительной продолжительности включения.

Средняя реактивная нагрузка группы электроприемников

$$Q_p = P_p \cdot \text{tg}\varphi_{св}, \quad (2.19)$$

здесь  $\operatorname{tg} \varphi_{\text{св}}$  – средневзвешенное значение тангенса угла сдвига фаз между током и напряжением, определяемое по средневзвешенному значению коэффициента мощности ( $\cos \varphi_{\text{св}}$ ). В свою очередь, средневзвешенное значение

$$\cos \varphi_{\text{св}} = \frac{\sum_1^{n_1} P_{\text{н}i} \cdot \cos \varphi_{\text{н}i}}{\sum_1^n P_{\text{н}i}}, \quad (2.20)$$

где  $\cos \varphi_{\text{н}i}$  – номинальное значение коэффициента мощности  $i$ -го электроприемника.

Расчетную реактивную мощность находят из следующих условий:

$$\text{при } n_{\text{Э}} \leq 10 \quad Q_{\text{p}} = 1,1 \sum_1^n Q_{\text{с}i}; \quad (2.21)$$

$$\text{при } n_{\text{Э}} > 10 \quad Q_{\text{p}} = \sum_1^n Q_{\text{с}i}, \quad (2.22)$$

где  $Q_{\text{с}i}$  – средние реактивные мощности электроприемников.

**Пример 2.3.** Определить расчетную нагрузку методом упорядоченных диаграмм ремонтно-механического цеха с площадью 1800 м<sup>2</sup>. Ведомость электронагрузок цеха приведена в [табл. 2.9](#).

Все рабочие приемники цеха разбиваются по характерным группам с одинаковыми коэффициентами использования  $K_{\text{и}а}$  и мощности  $\cos \varphi$  с выделением групп приемников с переменным (группа А –  $K_{\text{и}} < 0,6$ ) и мало меняющимся (группа Б –  $K_{\text{и}} \geq 0,6$ ) графиками нагрузки.

Расчет электрических нагрузок цеха произведен в [табл. 2.10](#).

Расчетные нагрузки (активная и реактивная) приемников группы А в целом по цеху определяются из выражений

$$P_{\text{p}} = K_{\text{м}} \cdot \Sigma P_{\text{с}м}; \quad Q_{\text{p}} = K_{\text{м}} \cdot \Sigma Q_{\text{с}м},$$

где  $\Sigma P_{\text{с}м}$  ( $\Sigma Q_{\text{с}м}$ ) – суммарная средняя активная (реактивная) мощность приемников группы А за наиболее загруженную смену;  $K_{\text{м}}$  – коэффициент максимума активной мощности.

Величина  $K_{\text{м}}$  находится по кривым  $K_{\text{м}} = f(n_n)$  или по [табл. 2.7](#) при  $K_{\text{и}} = 0,1-0,9$  в зависимости от величины средневзвешенного значения коэффициента использования  $K_{\text{и}}$  и приведенного числа приемников  $n_n$ .

Величина  $K_{\text{и}}$  определяется из выражения

$$K_n = \frac{\Sigma P_{см}}{\Sigma P_n}, \quad (2.23)$$

где  $\Sigma P_n$  – суммарная установленная мощность приемников группы А с приведением к ПВ = 100 %.

Величина  $n_n$  определяется из выражения

$$n_n = \frac{2\Sigma P_n}{P_{n \max}}, \quad (2.24)$$

где  $P_{n \max}$  – номинальная активная мощность наибольшего приемника группы А, так как отношение  $m = P_{n \max} / P_{n \max} > 3$  и  $K_n > 0,2$ .

Расчетные нагрузки (активная и реактивная) приемников группы Б в целом по цеху определяются из выражений:

$$P_p = \Sigma P_{см}; \quad Q_p = \Sigma Q_{см},$$

где  $\Sigma P_{см}$  ( $\Sigma Q_{см}$ ) – суммарная средняя активная (реактивная) мощность приемников группы Б за наиболее загруженную смену.

Величины  $\Sigma P_{см}$  ( $\Sigma Q_{см}$ ) по группам А и Б в целом определяются суммированием средних активных (реактивных) мощностей характерных групп приемников, входящих в группы А и Б, определяемых из выражений:

$$P_{см} = K_n \cdot P_n; \quad Q_{см} = P_{см} \cdot \operatorname{tg}\varphi,$$

где  $P_n$  – суммарная установленная мощность характерной группы приемников, приведенная к ПВ = 100 %;  $K_n$  – групповой коэффициент использования активной мощности за наиболее загруженную смену;  $\operatorname{tg}\varphi$  – соответствует характерному для данной группы приемников средневзвешенному значению коэффициента мощности ( $\cos \varphi$  принимается по справочным данным для каждой характерной группы приемников).

Для приемников повторно-кратковременного режима работы (кранбалки, сварочные аппараты) паспортная мощность приводится к номинальной длительной мощности при ПВ = 100 % по формуле

$$P_n = P_{пасп} \sqrt{\text{ПВ}_{пасп}},$$

где  $P_{\text{пасп}}$ , кВт,  $P_{\text{Впасп}}$ , отн. ед. – паспортные данные о мощности и относительной продолжительности включения приемника.

Расчетные активные и реактивные нагрузки силовых приемников по цеху в целом определяются суммированием соответствующих нагрузок группы А и Б согласно выражениям:

$$P_p = (K_M \cdot B \cdot \Sigma P_{\text{см}}) A + (\Sigma P_{\text{см}}) ;$$

$$Q_p = (K_M \cdot B \cdot \Sigma A_{\text{см}}) \cdot Q(\Sigma P_{\text{см}}) .$$

Расчетная нагрузка осветительных приемников цеха определяется как в параграфе 2.2.

**Пример 2.4.** Рассчитать нагрузку ремонтно-механического цеха, ведомость нагрузок которого приведена в [табл. 2.9](#).

Приведем пример расчета по группе металлорежущих станков.

Определим величину отношения между номинальной максимальной и номинальной минимальной мощностями:

$$m = \frac{P_{\text{н max}}}{P_{\text{н min}}} = \frac{33,28}{0,6} = 55,47 .$$

Зная коэффициент использования и номинальную нагрузку всех потребителей, определим среднюю нагрузку за максимально загруженную смену:

$$P_{\text{см}} = K_{\text{и}} \cdot P_{\text{н}} = 0,14 \cdot 416,346 = 58,3 \text{ кВт};$$

$$Q_{\text{см}} = P_{\text{см}} \cdot \text{tg}\varphi = 58,3 \cdot 1,73 = 101 \text{ квар.}$$

Определим приведенное число приемников в группе:

$$n_n = \frac{2 \Sigma P_{\text{н}}}{P_{\text{н max}}} = \frac{2 \cdot 685}{45} = 31 .$$

По [табл. 2.3](#) [3] по  $n_n$  и  $K_{\text{и}}$  определяем  $K_M = 1,34$ .

$$P_p = K_M \cdot \Sigma P_{\text{см}} = 1,34 \cdot 125,7 = 168 \text{ кВт};$$

$$Q_p = \Sigma Q_{\text{см}}, \text{ так как } n_n > 10 \text{ и } m > 4 .$$

Аналогично рассчитываем нагрузку по другим группам электроприемников. Результаты расчета заносятся в [табл. 2.10](#).

## 2. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

### 2.4. Определение расчетной нагрузки по средней мощности и коэффициенту максимума (метод упорядоченных диаграмм)

После расчета группы приемников А и Б необходимо определить полную нагрузку цеха. Для этого нужно знать нагрузку от освещения. По [табл. 2.4](#) находим удельную нагрузку на площадь цеха:

$$P_{\text{удо}} = 14,3 \text{ Вт/м}^2; \quad F_{\text{цеха}} = 60 \cdot 30 = 1800 \text{ м}^2; \quad P_{\text{но}} = 14,3 \cdot 1800 = 25,7 \text{ кВт.}$$

Для ремонтно-механического цеха (табл. 2.3)  $K_{\text{со}} = 0,85$ .

$$P_{\text{ро}} = 25,7 \cdot 0,85 = 22 \text{ кВт.}$$

Зная расчетные нагрузки по цеху ([табл. 2.10](#)), определим полную расчетную нагрузку

$$S_p = \sqrt{413,2^2 + 288,95^2} = 504,21 \text{ кВ}\cdot\text{А.}$$

Средневзвешенный коэффициент спроса  $K_c$  силовых приемников цеха определяется из соотношения:

$$K_c = \frac{P_p}{\Sigma P_n} = \frac{391,2}{984,1} = 0,4.$$

Все расчеты сведены в [табл. 2.10](#).

## 2.5. Определение расчетных электрических нагрузок на различных ступенях системы электроснабжения

Определение электрических нагрузок в системе электроснабжения промышленного предприятия выполняют для характерных мест присоединения приемников электроэнергии. При этом отдельно рассматривают сети напряжением до 1 кВ и выше [7].

На [рис. 2.2](#) приведена обобщенная схема электроснабжения предприятия. Рассмотрим особенности определения нагрузок в обозначенных на схеме цифрами точках, переходя от низших ступеней к высшим.

1. Расчетную нагрузку, создаваемую одним приемником электроэнергии (напряжением до 1 кВ и выше), принимают равной номинальной мощности приемника (для приемников с ПКР паспортная мощность приводится к ПВ = 1). По этой нагрузке выбирают сечение питающей линии и коммутационно-защитную аппаратуру.

2. Расчетную нагрузку, создаваемую группой приемников, определяют по принятому методу расчета с учетом осветительной нагрузки и установленной мощности компенсирующих устройств.

Например, для ШРА-3 ([рис. 2.2](#)) полная расчетная мощность  $S_{p2}$  определяется по выражению

$$S_{p2} = \sqrt{(P_{p2} + P_{po})^2 + (Q_{p2} + Q_{po} - Q_{ky})^2}, \quad (2.25)$$

где  $P_{p2}, P_{po}$  – соответственно расчетная активная мощность силовых потребителей и осветительных установок;  $Q_{p2}, Q_{po}$  – расчетная реактивная мощность силовых потребителей и осветительных установок (последнее в случае применения газоразрядных источников света);  $Q_{ky}$  – установленная мощность компенсирующего устройства.

Определение нагрузки, создаваемой группой приемников требуется для выбора сечения линии, питающей группу приемников и коммутационно-защитной аппаратуры.

3. За расчетную нагрузку на шинах НН цеховой ТП принимают среднюю потребляемую мощность за наиболее загруженную смену  $S_{cp.м}$ , и только в исключительных случаях – при резкопеременном графике нагрузки и соответствующих обоснованиях – за расчетную нагрузку можно принимать полчасовой максимум. По этой нагрузке выбирают число и мощность цеховых трансформаторов, сечения шин цеховой ТП, коммутационно-защитную аппаратуру на стороне НН.

4. Расчетную нагрузку на стороне ВН цеховой ТП определяют по формуле

$$S_{p4} = \sqrt{(P_{срм3} + \Delta P_m)^2 + (Q_{срм3} + \Delta Q_m)^2}, \quad (2.26)$$

где  $P_{срм3}, Q_{срм3}$  – средние активная и реактивная мощности за наиболее загруженную смену на стороне НН цеховой ТП;  $\Delta P_m, \Delta Q_m$  – потери активной и реактивной мощности в цеховом трансформаторе (при ориентировочных расчетах, когда известен тип силового трансформатора, можно принимать  $\Delta P_m = 0,02 P_{срм3}$ ;  $\Delta Q_m = 0,1 P_{срм3}$ ;

$$S_{срм3} = \sqrt{(P_{срм3}^2 + Q_{срм3}^2)}.$$

По мощности  $P_{p4}$  выбирают сечения линий, питающих цеховые ТП, и коммутационно-защитную аппаратуру этих линий.

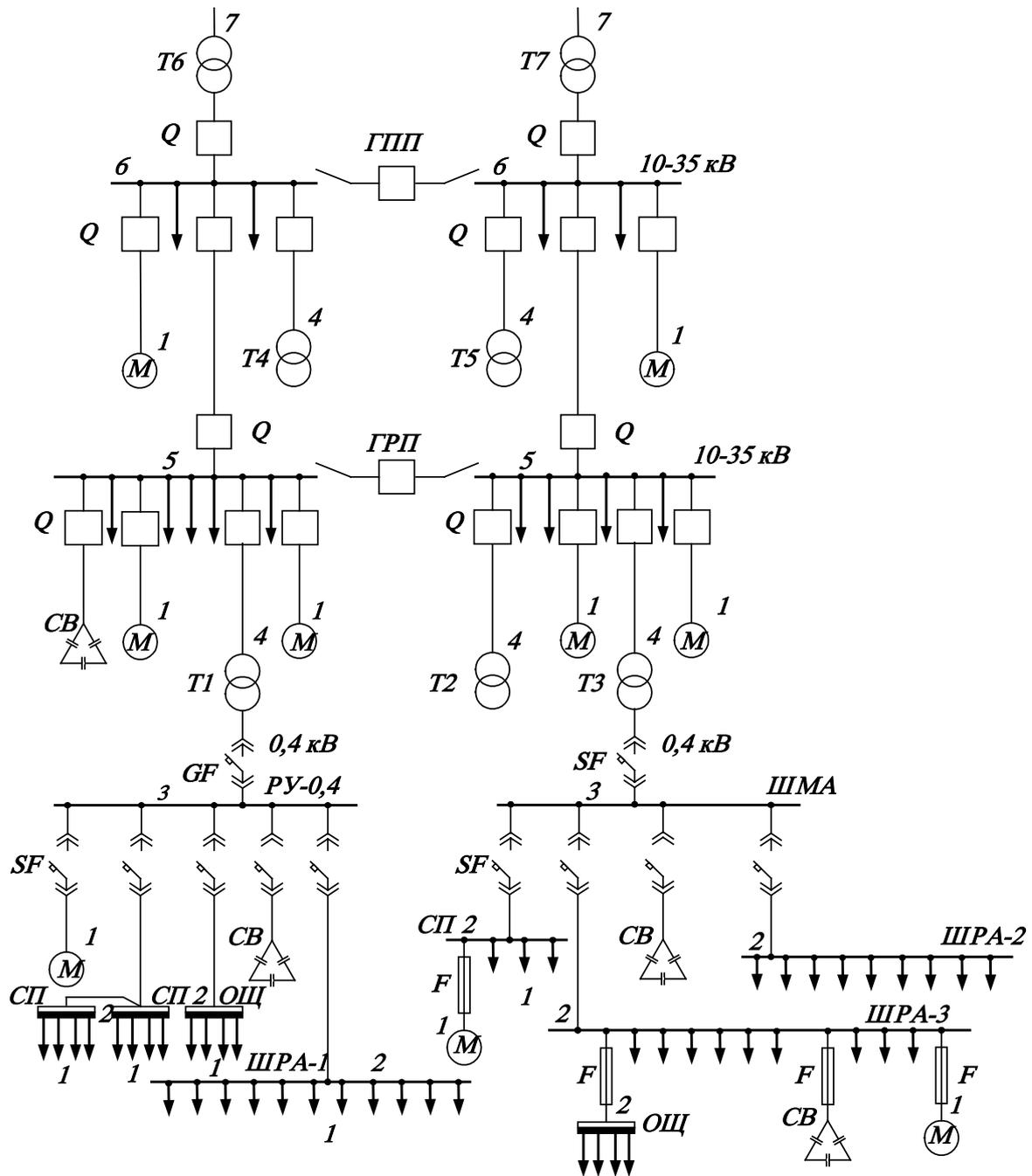


Рис. 2.2. Обобщенная схема электроснабжения предприятия

5. Для выбора сечения шин и питающих линий ГРП и коммутационно-защитной аппаратуры со стороны ГПП определяют нагрузку на каждой секции шин ГПП.

Расчетную полную мощность определяют по расчетным активным и реактивным нагрузкам цехов, включая расчетную мощность силовых приемников напряжением выше 1 кВ, расчетную мощность, потребляемую на освещение территории завода, и установленную мощность компенсирующих устройств.

Расчетную активную мощность на шинах ГРП определяют по формуле

$$P_{p5} = (\Sigma P_{p4} + \Sigma P_{pc5}) \cdot K_{pm} + P_{рот} + \Delta P_{ку} \quad (2.27)$$

Здесь  $\Sigma P_{pc5}$  – суммарная расчетная мощность силовых приемников напряжением выше 1 кВ, получающих питание с шин ГРП;  $P_{рот}$  – расчетная мощность, потребляемая на освещение территории завода с шин ГРП;

$$\Delta P_{ку} = \Delta P_{уд} \cdot Q_{ку5};$$

где  $\Delta P_{ку}$  – потери активной мощности в компенсирующих устройствах (КУ) напряжением выше 1 кВ;  $Q_{ку5}$  – установленная мощность КУ на шинах ГРП;  $\Delta P_{уд}$  – удельные потери активной мощности в КУ;  $K_{рм}$  – коэффициент разновременности максимумов силовой нагрузки.

Расчетную реактивную мощность на шинах ГРП определяют из выражения

$$Q_{p5} = K_{\Sigma} Q_{p4} + Q_{рот} - Q_{ку5}, \quad (2.28)$$

где  $\Sigma Q_{pc5}$  – суммарная расчетная реактивная мощность силовых приемников, получающих питание с шин ГРП;  $Q_{рот}$  – расчетная реактивная мощность, потребляемая на освещение территории завода.

Полная расчетная мощность на шинах ГРП составит

$$S_{p5} = \sqrt{P_{p5}^2 + Q_{p5}^2}. \quad (2.29)$$

По расчетной мощности  $S_{p5}$  определяют сечение питающих ГРП и выбирают коммутационно-защитную аппаратуру питающих линий.

6. Расчетную нагрузку на шинах ГПП определяют по значению расчетных нагрузок отходящих линий  $\Sigma S'_{p6,i}$  с учетом коэффициента разновременности максимума нагрузок  $K_{рм}$ :

$$S_{p6} = K_{рм} \cdot \Sigma S'_{p6,i}. \quad (2.30)$$

Знание этой нагрузки необходимо для выбора числа и мощности силовых трансформаторов ГПП и коммутационно-защитной аппаратуры ГПП.

7. Выбор сечения линий, питающих ГПП, осуществляется по расчетной мощности  $S_{p7}$ , определяемой на стороне ВН ГПП:

$$S_{p7} = \sqrt{(P_{p6} + \Delta P_{\tau})^2 + (Q_{p6} + \Delta Q_{\tau})^2}, \quad (2.31)$$

где  $\Delta P_{\tau}, \Delta Q_{\tau}$  – потери активной и реактивной мощности в силовом трансформаторе ГПП.

### 2.6. Определение расчетной нагрузки завода в целом

В соответствии с вышеизложенным расчетная полная мощность завода определяется по расчетным активным и реактивным нагрузкам цехов (до и выше 1000 В) с учетом расчетной нагрузки освещения территории завода, потерь мощности в трансформаторах цеховых подстанций и ГПП (при ее сооружении), компенсации реактивной мощности.

**Пример 2.5.** Рассчитать нагрузку завода, для которого активная и реактивная нагрузки равны:

силовых приемников до 1000 В:  $\Sigma P_p = 11633,5$  кВт;  $\Sigma Q_p = 8343$  квар;

осветительных приемников (цехов и территории завода):  $\Sigma P_{po} = 804,4$  кВт;

силовых приемников 10 кВ:  $\Sigma P'_p = 4960$  кВт;  $\Sigma Q'_p = 3972,5$  квар.

Оптимальная реактивная мощность, передаваемая из энергосистемы в сеть завода, в период максимальных нагрузок энергосистемы  $Q_{\text{э1}} = 5840$  квар.

Так как трансформаторы цеховых и главных понизительных подстанций еще не выбраны, то приближенно потери мощности в них определяются из соотношений

$$\Delta P_m = 0,02 \cdot S; \quad \Delta Q_m = 0,1 \cdot S; \quad S_p = \sqrt{(\Sigma P_p + \Delta P_m)^2 + (\Sigma Q_p + \Delta Q_m)^2}.$$

В нашем случае для цеховых трансформаторов

$$S_p = \sqrt{(11633,5 + 804,4)^2 + 8343^2} = 14980 \text{ кВ}\cdot\text{А};$$

$$\Delta P_{\text{цт}} = 0,02 \cdot 14980 = 300 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q_{\text{цт}} = 0,1 \cdot 14980 = 1789 \text{ квар}.$$

Ориентировочно необходимая мощность компенсирующих устройств по заводу в целом определяется из выражения

$$Q_{\text{ку}} = Q_p'' - Q_{\text{э1}},$$

$$\text{где } Q_p'' = \Sigma Q_p + \Sigma Q'_p + \Delta Q;$$

$$Q_p'' = 8348 + 3972,5 + 1489 = 13804,5 \text{ квар}; \quad Q_{\text{ку}} = 13804,5 - 5840 = 7964,5 \text{ квар}.$$

Нескомпенсированная мощность на шинах 6–10 кВ ГПП или ГРП:

$$Q = Q_{\text{р}\Sigma\text{ку}} - Q_{\text{ку}},$$

где  $Q_{\text{р}\Sigma}$  – расчетная реактивная мощность завода, отнесенная к шинам 6–10 кВ ГПП или ГРП с учетом коэффициента разновременности максимумов силовой нагрузки  $K_{\text{рм}} = 0,95$  [4];

$$Q_{\text{р}\Sigma} = K_{\text{рм}} (\Sigma Q_p + \Sigma Q'_p) + \Delta P_{\text{ит}};$$

$$Q_{\text{р}\Sigma} = (8343 + 3972,5) \cdot 0,95 + 1498 = 13198 \text{ квар};$$

$$Q = 13198 - 7964 = 5231 \text{ квар}.$$

В качестве компенсирующих устройств принимаются батареи статических конденсаторов. Определяем потери активной мощности в них:

$$\Delta P_{\text{ку}} = P_{\text{уд}} \cdot Q_{\text{ку}},$$

где  $P_{\text{уд}}$  – удельные потери активной мощности, составляющие 0,2 % от  $Q_{\text{ку}}$ ;

$$\Delta P_{\text{ку}} = 0,002 \cdot 7964,5 = 16 \text{ кВт}.$$

Общая активная мощность с учетом потерь в компенсирующих устройствах на шинах подстанции:

$$P = P_{\text{р}\Sigma\text{ку}} + \Delta P_{\text{ку}} = 16904 + 16 = 16920 \text{ кВт},$$

где  $P_{\text{р}\Sigma}$  – расчетная активная мощность завода, отнесенная к шинам 6–10 кВ или ГРП с учетом коэффициента разновременности максимума силовой нагрузки  $K_{\text{рм}} = 0,95$  [4];

$$P_{\text{р}\Sigma} = (\Sigma P_p + \Sigma' P'_p) \cdot K_{\text{рм}} + \Sigma P_{\text{ро}} + \Delta P_{\text{т}};$$

$$P_{\text{р}\Sigma} = (11633,5 + 4960) \cdot 0,95 + 804,4 + 300 = 16904 \text{ кВт}.$$

Расчетная нагрузка на шинах 6–10 кВ ГПП или ГРП с учетом компенсации реактивной мощности:

$$S'_p = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{16920^2 + 5231^2} = 17710 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

## 2. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

### 2.6. Определение расчетной нагрузки завода в целом

Предполагаем, что на заводе будет предусмотрена ГПП. Потери мощности в трансформаторах ГПП ориентировочно определяются:

$$\Delta P'_m = 0,02 \cdot S'_p;$$

$$\Delta Q'_m = 0,1 \cdot S'_p;$$

$$\Delta P'_m = 0,02 \cdot 17710 = 354 \text{ кВт};$$

$$\Delta Q'_m = 0,1 \cdot 17710 = 1771 \text{ квар}.$$

Полная расчетная мощность завода на стороне высшего напряжения ГПП:

$$S_p = \sqrt{(P + \Delta P'_m)^2 + (Q + \Delta Q'_m)^2} = \sqrt{(16920 + 354)^2 + (5840 + 1771)^2} = 18846 \text{ кВ А}$$

Расчетные коэффициенты электрических нагрузок электроприемников

Электроприемники	Коэффициенты		
	$K_{и}$	$\cos \varphi$	$K_c$
1	2	3	4
<b>1. Черная металлургия</b>			
<i>1.1. Обогажительные фабрики и комбинаты</i>			
Насосы производственного водоснабжения	0,8	0,85	0,85
Насосы песковые производственные	0,75	0,8	0,8
Насосы песковые дренажные	0,2	0,8	0,75
Вентиляторы производственные, воздуходувки, дымососы, вакуум-насосы	0,75	0,8	0,8
Аглоэкстаустеры для лент: 250 и 312 м <sup>2</sup> 600 м <sup>2</sup> (проект)	1 1	0,9 (опер.) 0,9 (опер.)	1 1
Дробилки крупного дробления, щековые, конусные с двухдвигательным приводом	0,45	0,62	0,5
Дробилки конусные крупного дробления с однодвигательным приводом, дробилки конусные среднего дробления	0,6	0,75	0,65
Дробилки короткоконусные мелкого дробления	0,7	0,76	0,75
Дробилки молотковые и четырехвалковые	0,8	0,85	0,9
Мельницы шаровые и стержневые II и III стадий дробления	0,8	0,9 (опер.)	0,85–0,95
Грохоты разные	0,5	0,65	0,6
Конвейеры ленточные легкие с двигателями: до 10 кВт свыше 10 кВт	0,5 0,75	0,70 0,75	0,55 0,80

1	2	3	4
Питатели ленточные, улитковые, тарельчатые, лотковые с двигателями мощностью до 10 кВт, шаропитатели, электромагнитные и магнитные сепараторы	0,4	0,65	0,5
Питатели, конвейеры электровибрационные	0,98	0,6	1,0
Вагоноопрокидыватели	0,35–0,45	0,5–0,6	0,5–0,6
Вспомогательные механизмы конвейеров, металлообрабатывающие и деревообрабатывающие станки, лебедки разные	0,15–0,3	0,5	0,35–0,2
Электроковши, грелки для масла	0,97	1,0	1,0
Насосы масляные	0,65	0,75	0,7
Краны мостовые, грейферные, кран-балки, тельферы	0,2–0,3	0,5	0,25–0,35
Вулканизационные аппараты	0,97	1,0	1,0
Лабораторное оборудование	0,3	0,8	0,4
<i>1.2. Коксохимическое производство</i>			
Транспортеры	0,3–0,7	0,4–0,85	0,5–0,8
Питатели пластинчатые и ленточные	0,45	0,75	0,6
Дробилки молотковые	0,8	0,8	0,9
Дозировочные столы, штакбелеры, углепогрузатели, коксовыталакиватели, загрузочные вагоны, дверосъемные машины, электроvozы тушильных вагонов, скиповые подъемники	0,05–0,3	0,5–0,75	0,2–0,4
Кабестаны	0,5	0,7	0,55
Вагоноопрокидыватели	0,35–0,45	0,5–0,6	0,4–0,5
<i>1.3. Доменный цех</i>			
Вентиляторы	0,7–0,95	0,7–0,87	0,75–0,95
Вращающиеся распределители, грохоты кокса и затворы	0,035–0,12	0,5–0,7	0,04–0,15
Разливочные машины	0,3	0,6	0,35

1	2	3	4
Бегуны, газоочистка	0,7	0,65–0,7	0,75
Воздухонагреватели	0,5	0,82	0,6
Краны рудного двора и грейферные	0,35	0,7	0,5
<i>1.4. Мартеновский (конверторный) цех</i>			
Насосы циркуляционные, дымососы	0,9	0,9	0,95
Вентиляторы принудительного дутья и магнитные краны	0,5–0,6	0,7–0,8	0,6–0,7
Краны разливочные и заливочные, завалочные машины	0,22–0,35	0,6	0,25–0,4
Краны двора изложниц	0,4	0,6	0,5
<i>1.5. Вспомогательные механизмы прокатных станов</i>			
Рольганги индивидуальные и групповые, роликотправильные машины, кантователи	0,1–0,6	0,6	0,1–0,4
Манипуляторы, нажимные устройства, слитковозы, сталкиватели, толкатели слябов, стабилизирующие столы	0,1–0,32	0,7–0,8	0,14–0,55
Вентиляторы машинных залов и прокатных станов	0,7	0,8	0,8
Краны отделения раздевания слитков	0,3		0,4
Клещевые краны прокатного цеха	0,6		0,7
Краны отделения заготовок и готовой продукции	0,45	0,6	0,5
Подъемные столы, толкатели, двигатели крышек	0,1–0,15	0,65	0,15–0,19
Ножницы холодной резки	0,15–0,3	0,5–0,7	0,35–0,6
Пилы и ножницы горячей резки, ножницы блюминга и района холодильника, транспортеры ножниц и обрезков слябов, шлеппера	0,15–0,3	0,5–0,7	0,35–0,6
Вращение и перемещение пил горячей резки, преобразователи частоты рольгангов	0,2–0,5		0,25–0,5
Тянущие ролики моталок	0,4		0,5

1	2	3	4
Крышки нагревательных колодцев, шиберы, перекидка клапанов, заслонки нагревательных печей, направляющие линейки и нажимные механизмы чистовых клетей	0,02–0,15	0,6–0,75	0,02–0,15
<i>1.6. Установки непрерывной разливки стали</i>			
Механизмы качания кристаллизатора, тянущая клеть	0,6	0,8	0,7
Механизмы газовой резки и уборки отрезанных слитков	0,5	0,6	0,6
Технологические вентиляторы, насосы насосно-аккумуляторной станции	0,6–0,8	0,8	0,7–0,8
<i>1.7. Ферросплавное производство</i>			
Транспортеры, элеваторы, питатели	0,5	0,7	0,55
Газодувки	0,8	0,9 (опер.)	0,9
Насосы, дымососы, дробилки, грохоты	0,7	0,85	0,8
Вспомогательные механизмы печей, краны	0,12–0,2	0,6	0,2
Очистные барабаны	0,25	0,65	0,4
<i>1.8. Огнеупорные заводы и цехи</i>			
Дробилки молотковые и мельницы шаровые	0,8	0,85	0,85
Дробилки конусные и мельницы стержневые	0,7	0,8	0,75
Грохоты	0,6	0,7	0,65
Конвейеры: до 10 кВт выше 10 кВт	0,5 0,75	0,7 0,75	0,55 0,8
Питатели пластинчатые, тарельчатые, барабанные, дисковые	0,4	0,6	0,45
Элеваторы, шнеки и механизмы вращающихся печей	0,6	0,7	0,7
Дымососы печей	0,7	0,8	0,8
Краны, электролафеты, толкатели туннельных печей	0,1–0,2	0,5–0,7	0,2–0,25

1	2	3	4
Прессы гидравлические и фрикционные	0,65	0,8	0,75
Насосно-аккумуляторные станции	0,7	0,8	0,75
Электрофильтры и механизмы пылеуборки	0,46	0,85	0,5–0,7
Сушильные барабаны	0,6	0,7	0,7
Магнитные сепараторы	0,4	0,7	0,45
Отделение вращающихся печей	0,75	0,8	0,8
Формовочно-прессовое отделение	0,7	0,8	0,75
Дробильно-сортировочное отделение и отделение туннельных печей	0,65	0,75	0,7
Склады сырья и глинодробильные отделения	0,45	0,76	0,5
<b>2. Метизная промышленность</b>			
Волоочильные, калибровочные и другие станы	0,45	0,87	0,5
Электроды сопротивления для термической обработки	0,65	1,0	0,7
Производственная вентиляция, воздухоподогреватели и центробежные насосы	0,65	0,7	0,65
Автоматические линии изготовления гаек, болтов и шурупов	0,4	0,7	0,45
Агрегаты непрерывного травления	0,45	0,8	0,45
Канатные машины, плетельные станки	0,4	0,71	0,45
Прессовка и сушка электродов	0,45	0,8	0,5
Дробильно-сушильное, смесительное отделения и насосы эмульсионного хозяйства	0,45	0,7	0,5
Агрегаты гальванического и горячего покрытия	0,6	0,78–1	0,65
Краны, тельферы, подъемно-транспортные механизмы	0,1	0,6	0,15
Сварочные дуговые автоматы	0,25	0,65	0,3

1	2	3	4
<b>3. Горнорудная промышленность</b>			
Компрессоры стационарные мощностью, кВт:			
до 200	0,75	0,75	0,8
до 400	0,8–0,85	0,8	0,85
свыше 400	0,9	0,8	0,95
Вакуум-насосы	0,8	0,85	0,95
Вентиляторы частичного проветривания	0,65	0,8	0,7
Насосы мощностью, кВт:			
до 50	0,7	0,75	0,7
до 200	0,75	0,8	0,8
до 500	0,8	0,8	0,85
свыше 500	0,9	0,85	0,9
Вентиляторы главного проветривания мощностью, кВт:			
до 200	0,7	0,8	0,8
до 800	0,8	0,8	0,9
свыше 800	0,9	0,85	0,95
Толкатели, опрокидыватели, качающиеся площадки, шахтные двери, бункерные затворы, скреперные лебедки мощностью до 15 кВт и выше, лебедки маневровые, откаточные, подъемные до 200 кВт	0,5–0,6	0,65	0,5–0,7
Подъемы мощностью, кВт:			
до 1000	0,65	0,75	0,75
до 2000	0,7	0,8	0,75
свыше 2000	0,8	0,8	0,95
Погрузочные машины	0,65	0,65	0,7

1	2	3	4
Экскаваторы одноковшовые с приводом на постоянном токе по системе «генератор – двигатель» на добыче и на вскрыше	0,65		0,7–0,75
Экскаваторы одноковшовые с приводом на переменном токе	0,65		0,44–0,8
Экскаваторы многоковшовые	0,75		0,6–0,8
Земленасосы и песковые насосы мощностью, кВт:			
до 50	0,8	0,8	0,8
более 50	0,85	0,8	0,9
Дробилки-агрегаты крупного дробления, щековые и конусные с двухдвигательным приводом, дробилки конусные крупного дробления с однодвигательным приводом, дробилки конусные и щековые среднего дробления, одновалковые и четырехвалковые дробилки мелкого дробления	0,7	0,75	0,75–0,8
Питатели пластинчатые и тарельчатые, лотковые тяжелые (мощностью свыше 10 кВт), классификаторы спиральные	0,7	0,8	0,8
Питатели ленточные, барабанные, лотковые (мощностью до 10 кВт), грохоты разные	0,6	0,72	0,7
Конвейеры легкие мощностью до 4,5 кВт, питатели реагентовые разные, лебедки	0,65	0,65	0,7
Конвейеры тяжелые с шириной ленты до 1400 мм, шнеки, элеваторы, механические топки, питатели пластинчатые и тарельчатые	0,7	0,75	0,8
Конвейеры сверхтяжелые с шириной ленты 1600–200 мм	0,8	0,85	0,8
Элеваторы-шнеки	0,7	0,75	0,75
Электровибрационные механизмы	0,6	0,65	0,7
Вагоноопрокидыватели	0,45	0,5	0,5

1	2	3	4
<b>4. Машиностроительная и металлообрабатывающая промышленность</b>			
Металлорежущие станки, мелкие токарные, строгальные, долбежные, фрезерные, сверлильные, карусельные, точильные и др.	0,12–0,14	0,4–0,5	0,14–0,16
То же при тяжелом режиме работы: штамповочные прессы, автоматы, револьверные, обдирочные, зубофрезерные, а также крупные токарные, строгальные, фрезерные, карусельные, расточные станки, многошпиндельные автоматы для изготовления деталей из прутков	0,17–0,2	0,65	0,23–0,25
То же с особо тяжелым режимом работы: приводы молотов, ковочных машин, волочильных станков, очистных барабанов, бегунов и др.	0,24	0,65	0,4
Краны мостовые, грейферные, кран-балки, тельферы, лифты	0,15–0,35	0,5	0,2–0,5
Вентиляторы, санитарно-гигиеническая вентиляция, вентиляция, насосы, компрессоры, двигатели-генераторы	0,65–0,8	0,8	0,75
<b>5. Электротермические и сварочные электроприемники разных производств</b>			
Печи сопротивления с непрерывной нагрузкой	0,8	0,95–0,98	0,85
То же с периодической загрузкой	0,6	0,95–0,98	0,8
Печи сопротивления с автоматической загрузкой изделий, сушильные шкафы, нагревательные приборы	0,8	0,96–0,98	0,9
Дуговые сталеплавильные печи емкостью 3–10 т с автоматическим регулированием электродов: для качественных сталей и для фасонного литья с механизированной нагрузкой	0,75	0,9	0,8
То же без механизированной нагрузки	0,65	0,87	0,7
Дуговые сталеплавильные печи емкостью 0,5–1,5 т для фасонного литья (во вспомогательных цехах с автоматическим регулированием электродов)	0,5	0,8	0,55

1	2	3	4
Дуговые печи цветного металла (медные сплавы) емкостью 0,25–0,5 т с ручным регулированием электродов	0,7	0,75	0,78
Руднотермические печи с трехфазными трансформаторами 6; 7,5 и 9 МВ	0,9	0,9	0,95
Сушильные шкафы	0,8	1,0	0,85
Мелкие нагревательные приборы	0,6	1,0	0,7
Сварочные трансформаторы ручной электросварки:			
однопостовой	0,2	0,3–0,4	0,3
многопостовой	0,25	0,35–0,45	0,4
Сварочные трансформаторы автоматической сварки	0,4	0,5	0,5
Сварочные двигатели-генераторы: однопостовые	0,3	0,65	0,35
многопостовые	0,5	0,75	0,6
Сварочные машины шовные, стыковые и точечные сварочные дуговые автоматы типа АДС	0,35	0,5–0,7	0,4–0,5
Индукционные печи низкой частоты	0,7	0,35	0,8
Двигатели-генераторы индукционных печей высокой частоты	0,7	0,8	0,8
<b>6. Заводы искусственного и синтетического волокна</b>			
<i>6.1. Производство капронового волокна</i>			
Химический цех	0,5	0,8	0,6
Прядильный цех (с учетом динильных котлов), отделочный цех	0,6	0,75	0,65
Крутильный цех	0,65	0,75	0,7
Бобинажно-перемоточный цех	0,7	0,75	0,8
Цех регенерации отходов	0,55	0,70	0,65
<i>6.2. Кордное производство</i>			
Химический цех	0,5	0,7	0,55

1	2	3	4
Прядильный цех	0,65	0,8	0,7
Крутильный цех	0,6	0,8	0,7
Ткацкий цех	0,8	0,75	0,85
<i>6.3. Производство центрифугального шелка (вискозная технология)</i>			
Химический цех	0,5	0,7	0,55
Прядильный (без электроверетен) и отделочный цехи	0,6	0,75	0,65
Бобинажно-перемоточный цех	0,75	0,7	0,8
<i>6.4. Штапельное производство (вискозная технология)</i>			
Химический, прядильно-отделочный цехи	0,55–0,6	0,7–0,8	0,75
<i>6.5. Производство ацетатного шелка</i>			
Химический, прядильный цехи	0,8	0,65	0,9
Крутильный цех	0,65	0,65	0,7
Цех регенерации ацетона	0,8	0,8	0,9
Водонасосная	0,65	0,8	0,75
<i>6.6. Группы однотипных машин</i>			
Прядильные машины:			
штапеля	0,38	0,7	
капрона	0,65	0,7	
вискозного корда	0,5	0,7	
центрифугального шелка:			
главный привод	0,52	0,7	
электроверетена	0,62	0,7	
ацетатного шелка	0,7	0,7	
Перемоточные машины	0,78	0,8	
Тростильно-крутильные машины	0,89	0,8	

1	2	3	4
Крутильные машины	0,64	0,8	
Вытяжные машины	0,7	0,85	
Динильные котлы	0,58	1,0	
Ткацкие станки	0,74	0,7	
Периодопреобразователи	0,75	0,9 (емк.)	0,8
Мешалки растворителей ацетатного шелка	0,55	0,8	
Фильтр-прессы	0,35	0,55	
Компрессоры	0,78	0,8	
Водонасосные	0,83	0,8	
Вентиляторы сантехнические	0,64	0,75	
<b>7. Производство полиэтилена низкого давления высокой плотности</b>			
<i>7.1. По цехам</i>			
Цех очистки этилена	0,85	0,9	0,9
Цех полимеризации	0,5	0,75	0,55
Цех дистилляции и очистки азота и цех грануляции	0,65	0,8	0,75
Цех легковоспламеняющихся жидкостей	0,7	0,75	0,9
<i>7.2. По группам однотипных машин</i>			
Компрессоры этилена	0,85	0,9	
Цех полимеризации (технологические линии)	0,6	0,75	
Эльма-насосы, сушилки	0,5	0,8	
Центрифуги	0,4	0,6	
Цех грануляции. Грануляторы	0,8	0,8	
Газодувки, компрессоры (цех дистилляции и очистки азота)	0,43	0,7	

1	2	3	4
<b>8. Производство аммиака метанола</b>			
<i>8.1. По цехам</i>			
Цех разделения воздуха	0,73	0,95	0,87
Газовый цех (на природном газе)	0,81	0,8	0,87
Газовый цех (на газогенераторном газе)	0,56	0,8	0,65
Цех холодильных установок	0,69	0,9	0,79
Цех компрессии	0,83	0,9	0,87
Цех моноэтаноламиновой очистки	0,66	0,8	0,74
Цех синтеза аммиака	0,82	0,85	0,87
Цех водной очистки	0,85	0,80	0,89
Цех медно-аммиачной очистки	0,73	0,85	0,8
Цех синтеза метанола	0,71	0,7	0,81
Цех сероочистки	0,76	0,64	0,8
Цех конверсии окиси углерода	0,7	0,8	0,77
Цех ректификации метанола	0,45	0,72	0,5
<i>8.2. По группам однотипных машин</i>			
Компрессоры воздушные	0,67	0,98	
Газодувки газогенераторного цеха	0,57	0,85	
Компрессоры газовые	0,85	0,99	
Триплекс-насосы	0,4	0,75	
Двигатели-турбины (мототурбонасосы)	0,81	0,85	
Экспансионные машины	0,8	0,85	
Циркуляционные компрессоры синтеза	0,74	0,78	
Нагнетатели КВС (кислородно-воздушной смеси)	0,82	0,86	
Компрессоры аммиачные	0,7	0,98	

1	2	3	4
Кислорододувки	0,6	0,78	
<b>9. Производство слабой азотной кислоты</b>			
<i>9.1. По цехам</i>			
Цех слабой азотной кислоты при повышенном давлении	0,8	0,95	0,86
То же при нормальном давлении	0,73	0,91	0,78
<i>9.2. По группам однотипных машин</i>			
Турбогазонадувки	0,73	0,9	
Турбокомпрессоры газовые	0,8	0,95	
<b>10. Заводы по производству хлора, электролитической каустической соды, хлорпродуктов и органических продуктов</b>			
В целом по заводу, исключая электролиз хлора и каустической соды		0,9	0,45–0,6
Электролиз (серии ванн) производства и каустической соды		0,9	1
<b>11. Заводы резинотехнических изделий</b>			
<i>11.1. По цехам</i>			
Цех производства транспортерных лент и приводных ремней (двигатели высокого напряжения)	0,53	0,8	0,67
То же (двигатели высокого напряжения)0	0,3	0,7	0,4
Цех производства формовой техники без учета электропылесосов	0,36	0,63	0,39
То же с учетом электропылесосов	0,58	0,8	0,67
Подготовительный цех	0,43		0,58
Цех спецшлангов (в том числе бездорновых рукавов)	0,37	0,57	0,41
Цех спиральных и буровых рукавов	0,29	0,6	0,3
Цех напорных рукавов	0,27	0,62	0,32
Цех клиновидных ремней	0,36	0,63	0,39

1	2	3	4
<i>11.2. По группам одностипных машин</i>			
Агрегаты для изготовления особо прочных транспортных лент	0,11		0,14
Каландры для изготовления сердечников для транспортерных лент	0,48	0,69	0,53
Каландры для обкладки транспортерных лент	0,28	0,51	0,44
Подогревательные вальцы для производства транспортерных лент	0,47	0,8	0,56
Шприц-машины производства формовой техники	0,37	0,47	0,45
Прессы с обогревом производства формовой техники при работе	0,78		0,86
То же при разогреве		1	1
Подогревательные вальцы производства формовой техники	0,43	0,58	0,68
Резиносмесители подготовительного цеха	0,5	0,8	0,75
Смесительные вальцы 84 подготовительного цеха	0,54	0,8	0,72
Шприц-машины камер 12–38 мм	0,4	0,67	0,5
Агрегаты для наложения наружного резинового слоя на рукава диаметром 19–38 мм	0,28	0,74	0,4
Каландры подготовительного цеха обкладки	0,54	0,69	0,66
Каландры подготовительного цеха листования	0,36	0,52	0,53
<b>12. Шинные заводы</b>			
<i>12.1. По цехам</i>			
Подготовительный цех (двигатели высокого напряжения)	0,55	0,85–0,9 (емк.)	0,7
То же (двигатели низкого напряжения)	0,55	0,65	0,65
Сборочный цех	0,4	0,65	0,5
Цех каландров (двигатели высокого напряжения)	0,56	0,85–0,9 (емк.)	0,65
То же (двигатели низкого напряжения)	0,4	0,65	0,45
Автокамерный цех (двигатели высокого напряжения)	0,7	0,85–0,9 (емк.)	0,8
То же (двигатели низкого напряжения)	0,33	0,55	0,35

1	2	3	4
Цех вулканизации	0,3	0,55	0,35
<i>12.2. По группам однотипных машин</i>			
Резиносмесители, работающие на приготовлении резиновой смеси и на вулканизации каучука	0,55	0,85–0,9 (емк.)	
Вальцы под резиносмесители	0,65	0,85–0,9 (емк.)	
Подогреватель на вальцы	0,56	0,85–0,9 (емк.)	
Пелетайзеры	0,36	0,85–0,9 (емк.)	
Шприц-машины: протекторных агрегатов	0,7	0,8	
автокамерных агрегатов	0,53	0,7	
Каландры обкладочные (обрезинивание корда)	0,68	0,8	
Сборочные станки	0,44	0,6	
Вулканизаторы шин	0,05	0,4	
Вулканизаторы автокамер и ободных лент	0,16	0,5	
Компрессоры (синхронные двигатели)	0,93	0,85–0,9 (емк.)	
Водонасосные (водоснабжение)	0,89	0,8	
Насосы циркуляционные и перегретой воды	0,43	0,7	
Насосы воды низкого давления	0,87	0,8	
Насосы воды высокого давления	0,55	0,8	
Вентиляторы сантехнические	0,69	0,75	
Транспортные системы	0,25	0,45	

Таблица 2.2

Значения коэффициента спроса  $K_c$  в зависимости  
от коэффициента использования  $K_{\text{и}}$

$K_{\text{и}}$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
$K_c$	0,5	0,6	0,65–0,7	0,75–0,8	0,85–0,9	0,92–0,95

Таблица 2.3

Коэффициент  $K_{\text{с0}}$  осветительных нагрузок

Мелкие производственные здания и торговые помещения	1
Производственные здания, состоящие из отдельных крупных пролетов	0,95
Производственные здания, состоящие из отдельных помещений	0,85
Библиотеки, административные здания, предприятия общественного питания	0,9
Лечебные, детские и учебные учреждения, конторско-бытовые и лабораторные здания	0,8
Складские здания непромышленного назначения	0,6
Аварийное освещение	1

Таблица 2.4

Ориентировочные удельные плотности нагрузок на  $1\text{ м}^2$  полезной площади производственных зданий

Цех, корпус, завод	Плотность нагрузки, Вт/м <sup>2</sup>	
	силовой	осветительной – при лампах накаливания
Цехи:		
литейные и плавильные	230–370	12–19
термообрубные и скрапоразделочные	260–280	12–19
механические и сборочные	300–580	11–16
механосборочные	280–390	12–19
электросварочные и термические	300–600	13–15
металлоконструкций	350–390	11–13
инструментальные	330–560	15–16
деревообрабатывающие и модельные	75–140	14–17
блоки вспомогательных цехов	260–300	17–18
Инженерные корпуса	270–330	16–20
Центральные заводские лаборатории	130–290	20–27
Заводы:		
горно-шахтного оборудования	400–420	10–13
бурового оборудования и гидрооборудования	260–330	14–15
краностроения	330–350	10–11
нефтеаппаратуры	220–270	17–18

Таблица 2.5

Коэффициент мощности осветительной нагрузки и потери в пускорегулирующих аппаратах (ПРА)

Источники света и характеристика ПРА	Коэффициент мощности	Потери в ПРА*, %
Люминесцентные лампы с дросселями без конденсаторов для повышения коэффициента мощности	0,5	20/30**
Лампы типа ДРЛ с ПРА без конденсаторов	0,57	10
Люминесцентные лампы с ПРА по двухламповой схеме с конденсаторами для повышения коэффициента мощности	0,9	20/30**

\* Потери мощности в ПРА (в процентах к установленной мощности ламп). Учитываются при определении расчетной нагрузки.

\*\* В числителе – потери мощности в ПРА для люминесцентных ламп со стартерной схемой, в знаменателе – для ламп, включенных по бесстартерной схеме.

Таблица 2.6

Определение расчетных нагрузок по установленной мощности и коэффициенту спроса

№ по ген-плану	Наименование потребителя	Силовая нагрузка					Осветительная нагрузка					Силовая и осветительная нагрузка		
		$P_n$ , кВт	$K_c$	$\frac{\cos \varphi}{\operatorname{tg} \varphi}$	$P_p$ , кВт	$Q_p$ , квар	$F$ , м <sup>2</sup>	$P_{удо}$ , кВт/м <sup>2</sup>	$P_{но}$ , кВт	$K_{со}$	$P_{ро}$ , кВт	$P_p + P_{ро}$ , кВт	$Q_p$ , квар	$S_p$ , кВт·А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Потребители энергии 0,38 кВ														
1	Инструментальный цех	700	0,7	0,8/ 0,75	490	367	12000	0,015	180	0,95	171	661	367	748
	Итого по 0,38 кВ													
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

## 2. РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Потребители энергии 6–10 кВ													
1													
2													
	Итого по 6–10 кВ												

Таблица 2.7

Коэффициенты максимума  $K_M$  в зависимости от коэффициента использования  $K_{\text{и}}$   
и эффективного числа электроприемников  $n_{\text{Э}}$

$n_{\text{Э}}$	Коэффициент использования $K_{\text{и}}$									
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4	3,43	3,11	2,64	2,14	1,87	1,65	1,46	1,29	1,14	1,05
5	3,23	2,87	2,42	2,0	1,76	1,57	1,41	1,26	1,12	1,04
6	3,04	2,64	2,24	1,88	1,66	1,51	1,37	1,23	1,10	1,04
7	2,88	2,48	2,10	1,80	1,58	1,45	1,33	1,21	1,09	1,04
8	2,72	1,31	1,99	1,72	1,52	1,40	1,30	1,20	1,08	1,04
9	2,56	2,20	1,90	1,65	1,47	1,37	1,28	1,18	1,08	1,03
10	2,42	2,10	1,84	1,60	1,43	1,34	1,26	1,16	1,07	1,03
12	2,24	1,96	1,75	1,52	1,36	1,28	1,23	1,15	1,07	1,03
14	2,10	1,85	1,67	1,45	1,32	1,25	1,20	1,13	1,07	1,03
16	1,99	1,77	1,61	1,41	1,28	1,23	1,18	1,12	1,07	1,03
18	1,91	1,70	1,55	1,37	1,26	1,21	1,16	1,11	1,06	1,03
20	1,84	1,65	1,50	1,34	1,24	1,20	1,15	1,11	1,06	1,03
25	1,71	1,55	1,40	1,28	1,21	1,17	1,14	1,10	1,06	1,03

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
30	1,62	1,46	1,34	1,24	1,19	1,16	1,13	1,10	1,05	1,03
35	1,56	1,41	1,30	1,21	1,17	1,15	1,12	1,09	1,05	1,02
40	1,50	1,37	1,27	1,19	1,15	1,13	1,12	1,09	1,05	1,02
45	1,45	1,33	1,25	1,17	1,14	1,12	1,11	1,08	1,04	1,02
50	1,40	1,30	1,23	1,16	1,14	1,11	1,10	1,08	1,04	1,02
60	1,32	1,21	1,19	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,03	1,02
70	1,27	1,22	1,17	1,12	1,10	1,10	1,09	1,06	1,03	1,02
80	1,25	1,20	1,15	1,11	1,10	1,10	1,08	1,06	1,03	1,02
90	1,23	1,18	1,13	1,10	1,09	1,09	1,08	1,05	1,02	1,02
100	1,21	1,17	1,12	1,10	1,08	1,08	1,07	1,05	1,02	1,02
120	1,19	1,16	1,12	1,09	1,07	1,07	1,07	1,05	1,05	1,02
140	1,17	1,15	1,11	1,08	1,06	1,06	1,06	1,05	1,02	1,02
160	1,16	1,13	1,10	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,02	1,02
180	1,16	1,12	1,10	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01	1,01
200	1,15	1,12	1,09	1,07	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01	1,01
220	1,14	1,12	1,08	1,07	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01	1,01
240	1,14	1,11	1,08	1,07	1,05	1,05	1,05	1,03	1,01	1,01
260	1,13	1,11	1,08	1,06	1,05	1,05	1,05	1,03	1,01	1,01
280	1,13	1,10	1,08	1,06	1,05	1,05	1,05	1,03	1,01	1,01
300	1,12	1,10	1,07	1,06	1,04	1,04	1,04	1,03	1,01	1,01

Таблица 2.8

Соотношения между коэффициентом использования  $K_{и}$  и величиной отношения  $m$ ,  
при которых допускается принимать  $n_{Э} = n$

$K_{и}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$m$	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,5	8,0	10,0

Таблица 2.9

Ведомость электрических нагрузок ремонтно-механического цеха (РМЦ)

№ по плану цеха	Наименование отделения цеха и производственного механизма	Кол-во, шт.	Установленная мощность, кВт	$K_{и}$	$\cos \varphi$
1	2	3	4	5	6
<i>Механическое отделение</i>					
1	Токарно-винторезный станок 1К62	5	11,25	0,14	0,5
2	Токарно-винторезный станок 1Б61	4	4,625	0,14	0,5
3	Токарно-винторезный станок 1А61617	1	4,6	0,14	0,5
4	Токарно-револьверный станок 1П326	3	5,475	0,14	0,5
5	Долбежный станок 1А420	3	3,8	0,14	0,5
6	Токарно-строгальный станок 7М37	3	11	0,14	0,5
7	Универсальный фрезерный станок 6В75	3	1,7	0,14	0,5
8	Горизонтально-фрезерный станок 6М80Г	1	3,525	0,14	0,5
9	Вертикально-фрезерный станок 6 М12П	2	12,925	0,14	0,5
10	Зубофрезерный станок 53301	4	0,725	0,14	0,5
11	Круглошлифовальный станок 3А164	1	19,45	0,14	0,5
12	Плоскошлифовальный станок 3740	2	12,65	0,14	0,5

1	2	3	4	5	6
13	Вертикально-сверлильный станок	4	2,925	0,14	0,5
14	Радиально-сверлильный станок 2А55	2	6,925	0,14	0,5
15	Настольно-сверлильный станок 2А106	7	0,6	0,14	0,5
16	Координатно-расточный станок	2	6,52	0,14	0,5
17	Карусельный станок 1531М	1	33,28	0,14	0,5
18	Универсально-заточный станок 3641	4	1,25	0,14	0,5
19	Кран-балка 2 т	2	4,85	0,2	0,6
20	Вентилятор	5	147,0	0,65	0,8
<i>Заготовительно-сварочное отделение</i>					
21	Отрезной станок 872А	1	1,95	0,14	0,5
22	Ножницы Н474	2	7,0	0,14	0,5
23	Пресс правильный ПА415	2	14,0	0,14	0,5
24	Пресс кривошипный К217	1	10	0,14	0,5
25	Пресс листогибочный 4135	1	15,7	0,14	0,5
26	Настольно-сверлильный станок НС-12Н	5	0,6	0,14	0,5
27	Обдирочно-шлифовальный станок 3М634	3	2,8	0,14	0,5
28	Радиально-сверлильный станок 2А55	2	6,925	0,14	0,5
29	Труборезный станок С246А	1	2,8	0,14	0,5
30	Преобразователь сварочный ПСО-500	2	22	0,1	0,6
31	Машина электросварочная МТМ-75 М	1	75 кВ·А	0,3	0,6
32	Машина электросварочная точечная МШМ-25М	1	25 кВ·А	0,3	0,6
33	Трансформатор сварочный СТН-350	4	25 кВ·А	0,3	0,6
34	Кран мостовой 5 т	1	24,2	0,2	0,6
35	Вентилятор	3	10	0,65	0,8

1	2	3	4	5	6
<i>Кузнечное отделение</i>					
36	Молот пневматический МБ412	1	10	0.14	0.5
37	Обдирочно-точильный станок 3М614	2	2,8	0.14	0.5
38	Горно-двухогневое коксовое	1	0,8	0.8	0.95
39	Электропечь сопротивления И-45	1	45	0,8	0,95
40	Печь нагревательная	1	45	0,8	0,95
41	Кран-балка 2 т	1	4,85	0,2	0,6
42	Вентилятор дутьевой	1	1,2	0,65	0,8
43	Вентилятор	1	4,5	0,65	0,8
<i>Термическое отделение</i>					
44	Электропечь сопротивления ПИ-31	2	24	0,8	0,95
45	Шкаф сушильный Ш-0,5	1	1,1	0,8	0,95
46	Электропечь сопротивления Н-15	1	15	0,8	0,95
47	Электропечь сопротивления ОКБ-194А	2	19	0,8	0,95
48	Электропечь ванна ОП-60/15	1	22	0,8	0,95
49	Муфельная печь П-6	2	2,2	0,8	0,95
50	Вентилятор	2	2,28	0,65	0,8
51	Вентилятор	2	7,0	0,65	0,8
<i>Гальваническое отделение</i>					
52	Сушильный шкаф	2	10	0,8	0,95
53	Селеновый выпрямитель ВСМР	2	22	0,7	0,95
54	Полировочный станок С42-А	1	3,2	0.1	0.5
55	Вентилятор	3	4,5	0,65	0,8
	Инструментальная раздаточная, склад запчастей и металла, бытовые помещения				

Таблица 2.10

Определение расчетных нагрузок 380/220 В ремонтно-механического цеха

Наименование узлов питания и групп приемников электроэнергии	Кол-во приемников	Установленная мощность, приведенная к ПВ = 100 %, кВт		$m = \frac{P_{н \max}}{P_{н \min}}$	$K_{и}$	$\frac{\cos \varphi}{\operatorname{tg} \varphi}$	Средняя нагрузка за максимально загруженную смену		$n_{Э}$	$K_{м}$	Расчетная нагрузка		
		Одного	Общая				$P_{см},$ кВт	$Q_{см},$ квар			$P_{р},$ кВт	$Q_{р},$ кВт	$S_{р},$ кВ·А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10	12	13	14
Приемники группы А													
1. Металлообрабатывающие станки	74	0,6–33,28	416,346	85,47	0,14	$\frac{0,5}{1,73}$	58,3	101					
2. Кран-балки, краны	4	4,85–24,2	38,75	5	0,2	$\frac{0,8}{1,33}$	7,75	10,3					
3. Преобразовательные агрегаты	2	22	44	1	0,1	$\frac{0,95}{0,33}$	4,4	1,45					
4. Сварочные аппараты	8	10–45	186	4,5	0,3	$\frac{0,6}{1,33}$	55,8	74,2					
Итого:	88	0,6–45	685,095	75	0,19		126,3	186,95	45	1,34	169,2	186,95	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	10	12	13	14
Приемники группы Б													
1. Вентиляторы	17	1,2–10	103,7		0,65	$\frac{0,8}{0,75}$	67	51					
2. Нагревательные элементы	13	0,8–45	194,3		0,8	$\frac{0,95}{0,33}$	155	51					
Итого:	30	0,8–45	298		0,745		222	102			222	102	
Итого силовой нагрузки групп А и Б	118	0,6–45	984,1				348,3	288,95			391,2	288,95	
Электрическое освещение			25,7		0,85		22				22		
Итого по цеху			1009,8				370,3	288,95			413,2	288,95	504,21

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЯ ГПП (ГРП) И ТП. ПОСТРОЕНИЕ КАРТОГРАММЫ НАГРУЗОК

Трансформаторные подстанции максимально, насколько позволяют производственные условия, приближают к центрам нагрузок. Это дает возможность построить экономическую и надежную систему электроснабжения, так как сокращается протяженность сетей вторичного напряжения, уменьшаются потери энергии и отклонение напряжения; уменьшается зона аварий и удешевляется развитие электроснабжения (подстанции строят очередями по мере расширения производства).

РП и другие коммутационные узлы, на которых нет преобразования энергии, выгоднее размещать не в центре, а на границе питаемых ими участков сети таким образом, чтобы не было обратных потоков энергии.

В настоящее время разработаны методы определения места расположения подстанций по территории промышленного предприятия, при которых достигаются наименьших затрат.

При равномерно распределенной нагрузке рекомендуется применять метод, использующий положение теоретической механики и позволяющий определить центр электрической нагрузки предприятия (цеха) [3]. Для этого нужно провести аналогию между массами и электрическими нагрузками, а координаты их центра определить по формулам:

$$x_0 = \frac{\sum_1^n (P_{pi} + P_{p0i}) \cdot x_i}{\sum_1^n (P_{pi} + P_{p0i})}; \quad y_0 = \frac{\sum_1^n (P_{pi} + P_{p0i}) \cdot y_i}{\sum_1^n (P_{pi} + P_{p0i})}, \quad (3.1)$$

где  $x_i, y_i$  – координаты центра электрической нагрузки  $i$ -го цеха.

Можно принять, что нагрузка равномерно распределена по площади цеха и, следовательно, центр электрической нагрузки  $i$ -го цеха совпадает с центром тяжести фигуры, изображающей цех на генеральном плане промышленного предприятия. Практика проектирования показала, что учета третьей координаты  $z_0$ , как правило, не требуется. Таким образом, место расположения ГПП должно совпадать с центром электрических нагрузок, при необходимости с некоторым смещением в сторону источника питания.

Выбор места расположения ГПП проводят в следующем порядке. На генеральный план промышленного предприятия наносится картограмма нагрузок, которая представляет собой размещенные на генеральном плане окружности, причем площади, ограниченные этими окружностями, в выбранном масштабе равны расчетным нагрузкам цехов. Для каждого цеха наносится своя окружность, центр которой совпадает с центром нагрузок цеха.

Главную понизительную и цеховые подстанции следует располагать как можно ближе к центру нагрузок, так как это позволяет приблизить высокое напряжение к центру потребления электрической энергии и значительно сократить протяженность, как распределительных сетей высокого напряжения завода, так и цеховых электрических сетей низкого напряжения, уменьшить расход проводникового материала и снизить потери электрической энергии.

Площадь круга в определенном масштабе равна расчетной нагрузке соответствующего цеха  $P_i$ :

$$P_i = \pi \cdot r_i^2 \cdot m. \quad (3.2)$$

Из этого выражения радиус окружности

$$r_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi \cdot m}}, \quad (3.3)$$

где  $P_i$  – мощность  $i$ -го цеха;  $m$  – масштаб для определения площади круга (постоянный для всех цехов предприятия).

Силовые нагрузки до и выше 1000 В изображаются отдельными кругами или секторами в круге.

Осветительная нагрузка наносится в виде сектора круга, изображающего нагрузку до 1000 В. Угол сектора  $\alpha$  определяется из соотношения активных расчетных  $P_p$  и осветительных нагрузок  $P_{po}$  цехов.

При построении картограммы необходимо знать расчетные полные и осветительные нагрузки цехов, которые принимаются из [табл. 2.4](#) (величины  $r$  и  $\alpha$  приведены в [табл. 3.1](#)).

Для определения места ГПП или ГРП находится центр электрических нагрузок отдельно для активной ([табл. 3.1](#)) и реактивной нагрузок, так как их питание производится от разных установок (генераторы и компенсирующие устройства) [4].

Картограмму реактивных нагрузок в курсовом проекте можно не составлять.

На генплан завода произвольно наносятся системы координат ([рис. 3.1](#)) и по формуле (3.1) определяют центр электрических нагрузок. В этом случае, если центр электрических нагрузок попадает в расположение какого-либо цеха, ГПП располагают вблизи данного цеха со смещением в сторону источника питания.

Цеховые ТП следует располагать внутри производственных корпусов или пристраивать к ним для приближения их к электроприемникам, если этому не препятствуют производственные условия или требования архитектурно-строительного оформления зданий.

Таблица 3.1

## Определение центра электрических нагрузок активной мощности

№ цеха по генплану	$P_p + P_{po}$ , кВт	$P_{po}$ , кВт	$r$ , мм	$\alpha$ , град	$x$ , м	$y$ , м	$(P_p + P_{po}) \cdot x$	$(P_p + P_{po}) \cdot y$
Потребители 0,4 кВ								
Потребители 6–10 кВ								
Итого	$\Sigma(P_p + P_{po})$	-	-	-	-	-	$\Sigma(P_p + P_{po}) \cdot x$	$\Sigma(P_p + P_{po}) \cdot y$

Для уменьшения занимаемой площади цеха рекомендуется применять малогабаритные цеховые комплектные трансформаторные подстанции (КТП) с так называемым «объемным» (нелинейным) расположением электрооборудования, выполненным по упрощенным схемам, со стационарными аппаратами для уменьшения занимаемой ими площади цеха. КТП и КРУ с более сложными схемами, развитой автоматикой, выкатными аппаратами следует применять для соответствующих объектов первой категории с надлежащим обоснованием.

Отдельно стоящие цеховые ТП используют редко, когда невозможно или нецелесообразно размещать их в цехах, например компрессорных и насосных с сжиженными газами, в помещениях с горючими газами с плотностью 0,8 по отношению к воздуху, при открыто установленных вращающихся печах и др.

РП рекомендуется встраивать в производственные здания и совмещать с ближайшими ТП с учетом блокировки зданий и компактности генплана, если при этом обеспечиваются нормальные подходы электрических коммуникаций к нему.

Внутрицеховые ТП (с доступом оборудования непосредственно из цеха) рекомендуется размещать преимущественно у колонны или возле каких-либо постоянных внутрицеховых помещений с таким расчетом, чтобы не занимать подкрановых площадей.

В энергоемких корпусах предприятий, в которых сосредоточены нагрузки порядка 60–100 МВт на относительно небольших площадях, приме-

нять специальные электротехнические пролеты шириной 6–9 м с вертикальным расположением электрооборудования. На верхнем (четвертом) этаже располагают два трехфазных многоамперных токопровода 10 кВ, на третьем – КРУ, на втором – КТП и щиты станций управления, на нижнем – кабели. Такая компоновка позволяет приблизить к центру нагрузок и удобно разместить РУ, подстанции и другое электрооборудование, а также улучшить условия эксплуатации.

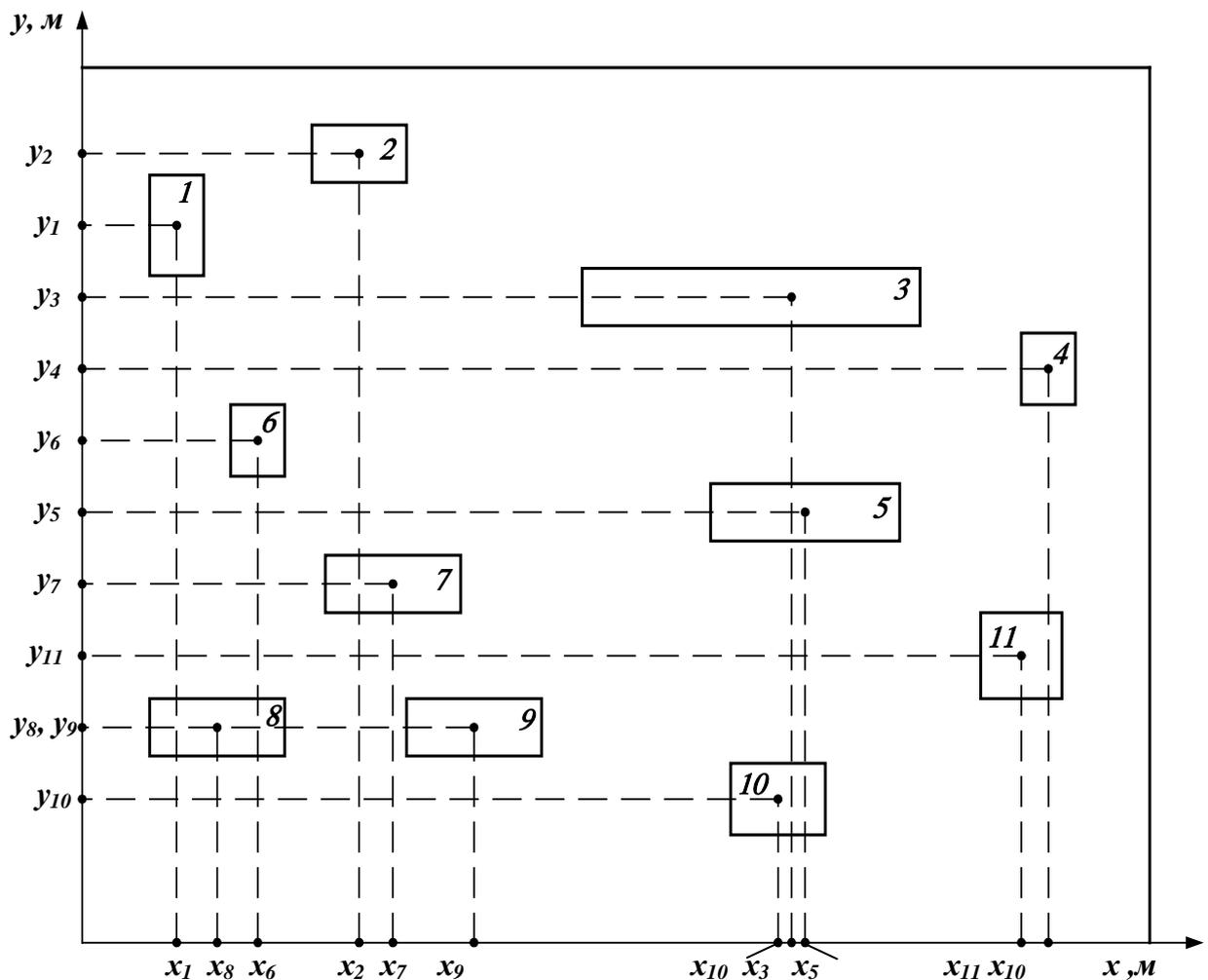


Рис. 3.1. Определение центра электрических нагрузок предприятия

Пример расчета центра электрических нагрузок на ПЭВМ приведен в приложении.

## 4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

### 4.1. Выбор схемы электроснабжения предприятия

Система внешнего электроснабжения включает в себя схему электроснабжения и источники питания предприятия. Основными требованиями к проектированию рациональной системы внешнего электроснабжения являются надежность, экономичность и качество электроэнергии в сети [8].

При проектировании схемы электроснабжения предприятия наряду с надежностью и экономичностью необходимо учитывать также характер размещения нагрузок на территории предприятия, потребляемую мощность, наличие собственного источника питания.

В зависимости от установленной мощности приемников электроэнергии различают объекты большой (75–100 МВт и более), средней (от 5–7,5 до 75 МВт) и малой (до 5 МВт) мощности. Для предприятий малой и средней мощности, как правило, применяют схемы электроснабжения с одним приемным пунктом электроэнергии (ГПП, ГРП, РП).

Если имеются потребители I категории, то предусматривают секционирование шин приемного пункта и питание каждой секции по отдельной линии, так как для потребителей электроэнергии, относящихся к I категории, в соответствии с ПУЭ предусматривают не менее двух независимых источников питания. Независимым источником питания называют источник питания приемника (группы приемников электроэнергии), на котором напряжение для послеаварийного режима не снижается более чем на 5 % по сравнению с нормальным режимом работы при исчезновении его на другом или на других источниках питания этих приемников [9]. К числу независимых источников питания относят две секции или системы шин одной или двух электростанций и подстанций при одновременном соблюдении следующих двух условий:

- 1) каждая секция или система шин, в свою очередь, имеет питание от независимого источника питания;
- 2) секции (системы) шин не связаны между собой или имеют связь, автоматически отключающуюся при нарушении нормальной работы одной секции (системы) шин.

Схемы с двумя и более приемными пунктами применяют на предприятиях большой мощности с преобладанием потребителей I категории, при наличии мощных и обособленных групп приемников электроэнергии при развитии предприятия этапами, когда питание второй очереди экономически целесообразно выполнять от отдельного приемного пункта электроэнергии, а также в тех случаях, когда приемные пункты выполняют одновременно функции РП и их установка экономически целесообразна.

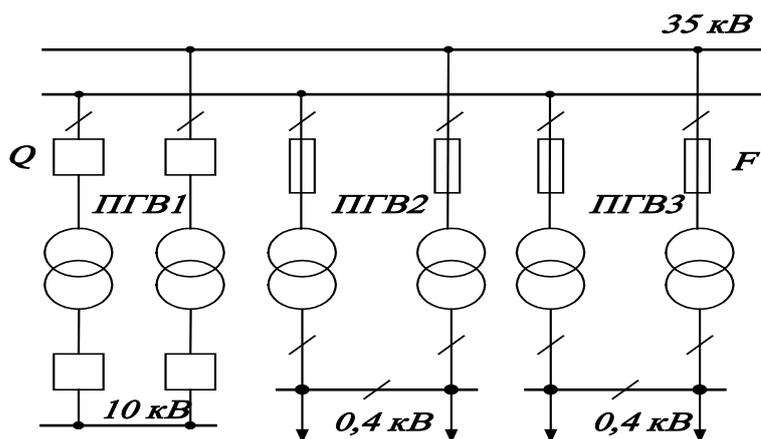


Рис. 4.1. Глубокий ввод, выполненный магистральными воздушными линиями

При наличии на предприятии собственной теплоэлектростанции (ТЭЦ) необходимо рассмотреть возможность электроснабжения всей или близлежащей части нагрузок на генераторном напряжении при помощи токопроводов или кабелей.

Для предприятий средней и большой мощности, получающих питание от районных сетей 35, 110, 220 и 330 кВ, широко применяют схему глубокого ввода. Такая схема характеризуется максимально возможным приближением высшего напряжения к электроустановкам потребителей с минимальным количеством ступеней промежуточной трансформации и аппаратов.

Линии глубоких вводов проходят по территории предприятия и имеют отводы к нескольким подстанциям глубоких вводов (ПГВ), расположенных близко от питаемых ими нагрузок.

Глубокие вводы выполняют в виде магистральных воздушных линий (рис. 4.1) и в виде радиальных воздушных и кабельных линий (рис. 4.2). Схемы глубоких вводов при максимальной простоте и дешевизне не уступают по надежности схемам централизованного электроснабжения. Они применимы для потребителей любой категории.

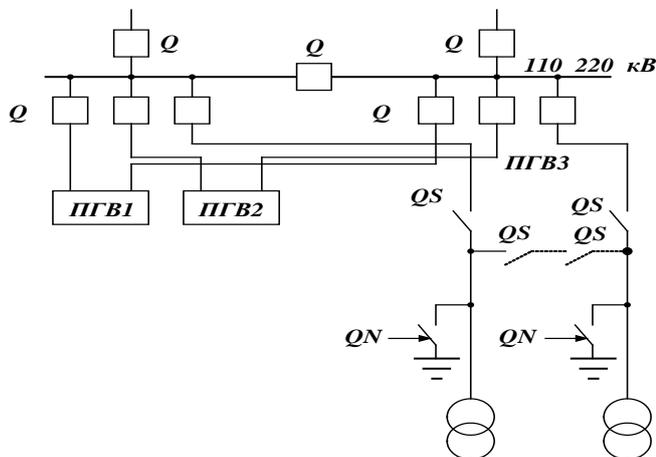


Рис. 4.2. Глубокий ввод, выполненный радиальными воздушными линиями

## 4.2. Выбор числа и мощности трансформаторов ГПП

Количество трансформаторов на ГПП (ПГВ) следует, как правило, принимать не более двух. Большое количество трансформаторов на ГПП применяют при очень большой концентрации нагрузок, при необходимости выделения питания толчковой нагрузки, а также на транзитных подстанциях.

Однотрансформаторные ГПП (ПГВ) допускаются при возможности обеспечения питания нагрузок I категории по связям вторичного напряжения от других ГПП или с ТЭЦ и при наличии централизованного резерва трансформаторов.

Выбор мощности трансформаторов ГПП производится на основании расчетной нагрузки предприятия в нормальном режиме работы с учетом режима энергоснабжающей организации по реактивной мощности. В послеаварийном режиме (при отключении одного трансформатора) для надежного электроснабжения потребителей предусматривается их питание от оставшегося в работе трансформатора. При этом часть неответственных потребителей с целью снижения нагрузки трансформатора может быть отключена.

В настоящее время энергоснабжающая организация задает для проектируемых и действующих предприятий значение оптимальной реактивной мощности  $Q_{э1}$ , передаваемой из энергосистемы в сеть предприятия в период максимальных нагрузок энергосистемы. Если энергосистема не обеспечивает предприятие полностью реактивной мощностью в указанный период, то на предприятии должны быть установлены компенсирующие устройства мощностью

$$Q_{кв} = Q_p + \Delta Q_T - Q_{э1}, \quad (4.1)$$

где  $Q_p$  – расчетная реактивная мощность предприятия;  $\Delta Q_T$  – потери реактивной мощности в трансформаторах ГПП.

Выбор номинальной мощности трансформаторов ГПП в зависимости от исходных данных может осуществляться по графику нагрузок или по полной расчетной мощности

$$S_{p\Sigma T} = \sqrt{P_{p\Sigma}^2 + Q}, \quad (4.2)$$

где  $P_{p\Sigma}$  – расчетная активная мощность предприятия.

Если на ГПП устанавливаются два трансформатора, то номинальная мощность каждого из них определяется по условию

$$S_{ном.m} \geq S_{p\Sigma} / 2 \cdot 0,7. \quad (4.3)$$

В аварийных условиях оставшийся в работе трансформатор должен быть проверен на допустимую перегрузку с учетом возможного отключения потребителей III категории надежности

$$1,4S_{\text{ном.т}} \geq S_{\text{р}\Sigma}. \quad (4.4)$$

На ГПП и ПГВ крупных предприятий часто применяют трансформаторы мощностью 32, 40, 63 и 80 МВ·А. Трансформаторы меньшей мощности (10, 16, 25 МВ·А) используют на средних предприятиях, а также при нагрузках, разбросанных на большей территории (горнорудные и рудоподготовительные предприятия, карьеры и т. п.).

При необходимости ограничивать токи короткого замыкания (КЗ) следует предусматривать отдельный режим работы трансформаторов и применять трансформаторы 25–80 МВ·А с расщепленной обмоткой низкого напряжения или устанавливать реакторы с низкой стороны трансформаторов.

### **4.3. Выбор рационального напряжения внешнего электроснабжения предприятия**

Для выбора рационального напряжения внешнего электроснабжения предприятия предварительно следует рассчитать нестандартное напряжение по формулам, полученным на основе статистических данных [4], например по формуле Стилла:

$$U = 4,34\sqrt{l + 16P}, \text{ кВ}, \quad (4.5)$$

где  $l$  – расстояние от источника питания, км;  $P$  – передаваемая мощность, равная расчетной нагрузке предприятия, отнесенной к шинам ВН ГПП, МВт.

Далее по стандартной шкале выбирают два близлежащих значения номинального напряжения:

$$U'_{\text{ст}} \leq U \leq U''_{\text{ст}}, \quad (4.6)$$

где  $U'_{\text{ст}}$  и  $U''_{\text{ст}}$  – стандартные значения номинального напряжения, кВ, и производят технико-экономическое сравнение вариантов схем электроснабжения с разным напряжением питания.

## 4.4. Выбор сечения воздушных и кабельных линий

Сети промышленных предприятий делятся на внешние (10 кВ и более), межцеховые (1000 В и более), цеховые (ниже 1000 В). Межцеховые и цеховые сети в данном учебном пособии не рассматриваются.

Внешние сети предназначены для передачи электроэнергии от источника питания к приемному пункту промышленного предприятия.

Если потребитель находится в непосредственной близости (несколько километров) от электростанции, то присоединение может быть выполнено непосредственно к шинам генераторного напряжения с помощью кабельных линий (рис. 4.3) [10].

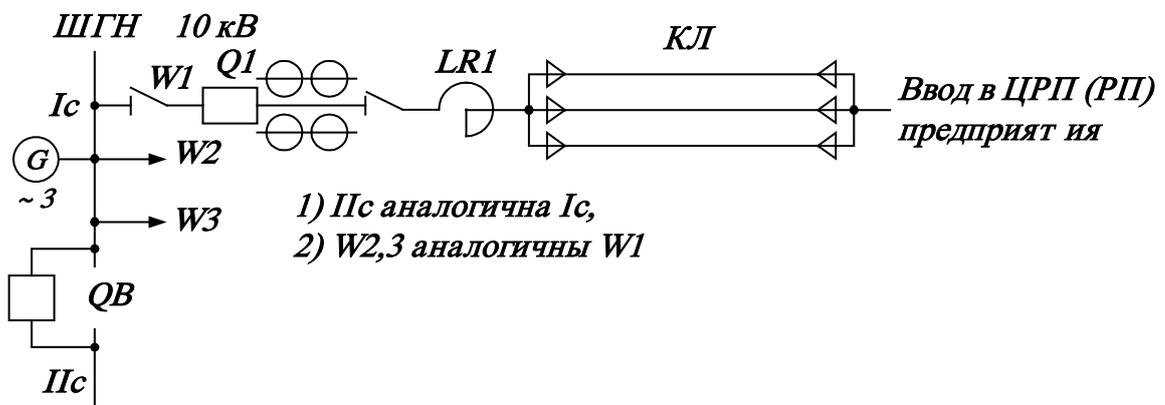


Рис. 4.3. Схема внешнего электроснабжения при получении электроэнергии от шин генераторного напряжения

Для увеличения пропускной способности кабельных линий и ее надежности используют несколько кабелей, включенных параллельно. Реактор  $LR1$  необходим для ограничения токов короткого замыкания. Кабельные линии могут быть проложены в траншеях, каналах, туннелях, блоках, на эстакадах, по галереям. Вместо кабельных линий в этой схеме могут быть использованы токопроводы. В случае использования токопроводов реактор  $LR1$  не устанавливается.

Токопроводы в сравнении с кабельной линией имеют более высокую надежность и перегрузочную способность. К недостаткам токопроводов относятся: наличие большой зоны отчуждения вдоль трассы токопровода, высокая стоимость, большое индуктивное сопротивление, наличие дополнительных потерь электроэнергии.

При передаче мощности, не превышающей 10–15 МВ·А, используются кабельные линии, для более мощных потребителей предпочтение кабельным линиям или токопроводу отдается на основании технико-экономического сравнения.

В тех случаях, когда источник удален от потребителя на относительно большое расстояние, применяются воздушные линии ([рис. 4.4](#)).

Пропускные способности кабельных и воздушных линий ([рис. 4.3](#) и [рис. 4.4](#)) должны соответствовать послеаварийным режимам работы ЦРП и ГПП, возникающим при отказе одного из источников электроэнергии.

Сечение проводов и жил кабелей выбирают по техническим и экономическим условиям.

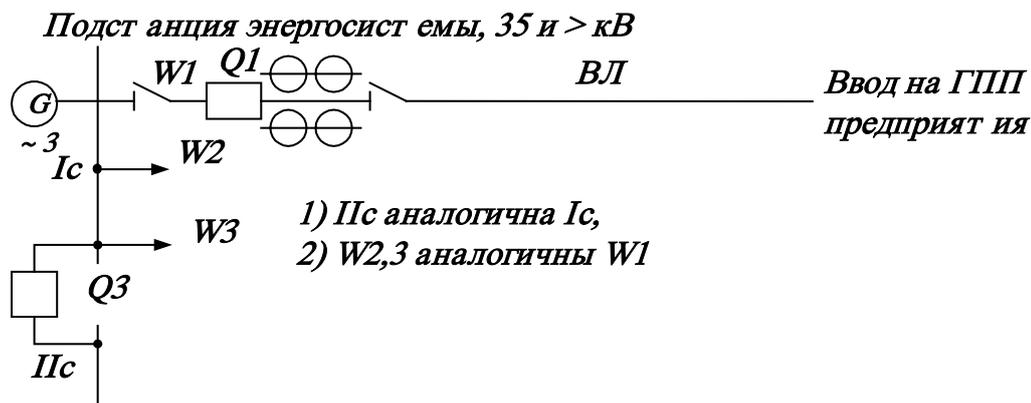


Рис. 4.4. Схема внешнего электроснабжения при получении электроэнергии от подстанции энергосистемы

К техническим условиям относится выбор сечений по нагреву расчетным током, условий коронирования, механической прочности, нагрева от кратковременного выделения тепла током короткого замыкания (КЗ), потерь напряжения в нормальном и послеаварийном режимах.

Экономически целесообразное сечение провода или кабеля определяют из соотношения [9]:

$$S = \frac{I_p}{j_{\text{эк}}}, \quad (4.7)$$

где  $I_p$  – расчетный ток линии, А;  $j_{\text{эк}}$  – нормированное значение экономической плотности тока, А/мм<sup>2</sup>, выбираемое по [табл. 4.1](#) в зависимости от годового числа часов использования максимума нагрузки приведенного в [табл. 4.2](#).

Расчетный ток линий ГПП определяется по формуле

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot n \cdot U_n}, \quad (4.8)$$

где  $U_n$  – номинальное напряжение питающей линии;  $n$  – количество цепей;  $S_p$  – расчетная мощность, зависящая от назначения линии ([см. параграф 2.4](#)).

Сечение, выбранное по формуле (4.7), округляется до ближайшего стандартного сечения.

При расчете линий, состоящих из нескольких участков с разными нагрузками, экономические сечения рассчитывают по наибольшему рабочему току для каждого участка в отдельности.

Если потребители присоединены к линии на небольшом расстоянии один от другого, то из практических и конструктивных соображений нецелесообразно иметь на каждом участке разные сечения проводников. Одинаковое сечение проводника выбирается в таком случае по всей длине с учетом поправочного коэффициента  $K_{\Pi}$ , который учитывает неравномерность нагрузки по линии

$$S = \frac{I_{\max}}{jK_{\Pi}}. \quad (4.9)$$

Поправочный коэффициент

$$K_{\Pi} = \sqrt{\frac{I_{\max}^2 \cdot L}{\sum_{i=1}^n I_{\max i}^2 \cdot L_i}}, \quad (4.10)$$

где  $I_{\max}$  – максимальный ток наиболее загруженного участка сети (головной участок);  $L$  – полная длина линий, км;  $I_{\max i}$  – максимальный ток  $i$ -го участка линии;  $L_i$  – длина  $i$ -го участка линии, км.

Выбору по экономической плотности тока не подлежат [9]:

а) сети промышленных предприятий и сооружений до 1000 В при числе часов использования максимума нагрузки до 4000–500 г;

б) ответвления к отдельным электроприемникам напряжением до 1000 В, осветительные сети промышленных предприятий, жилых и общественных зданий;

в) сети временных сооружений и устройств со сроком службы до 5 лет.

Выбранное по формуле (4.9) сечение кабельных линий проверяется по допустимому нагреву в послеаварийном режиме. Сечение кабельных линий напряжением более 1000 В проверяется также по допустимым потерям напряжения и по термической стойкости при токах короткого замыкания.

Сечение проводов воздушных линий проверяется по допустимому нагреву в послеаварийном режиме, по условиям короны, по механической прочности.

Условие проверки по допустимому нагреву

$$I_{p \max} \leq I_{\text{доп}}, \quad (4.11)$$

где  $I_{p \max}$  – наибольший расчетный ток из всех возможных режимов работы линии, для параллельно работающих линий в качестве расчетного тока  $I_{p \max}$  принимают ток послеаварийного режима из условия, что одна питающая линия вышла из строя;  $I_{\text{доп}}$  – допустимый длительный ток для одиночного провода или кабеля нужного сечения, выбираемый по справочным данным [7, 9].

При выборе сечений кабельных линий нужно учитывать, что таблицы составлены для одиночных кабелей или проводов, проложенных в земле при температуре почвы 15 °С или в воздухе при температуре 25 °С. При условиях, отличных от указанных, необходимо вводить поправочные коэффициенты на температуру воздуха и почвы  $K_1$  (табл. 4.3) и на количество кабелей в траншее  $K_2$  (табл. 4.4).

Величина длительно допустимого тока будет равна

$$I'_{\text{доп}} = K_1 \cdot K_2 \cdot I_{\text{доп}}. \quad (4.12)$$

Коэффициенты  $K_1$  определяются по табл. 4.3.

При выборе сечений кабельных линий необходимо учитывать допустимые кратковременные перегрузки. Для кабелей напряжением до 10 кВ с бумажной пропитанной изоляцией, несущих нагрузки меньше номинальных, допустимые кратковременные перегрузки  $K_3$  приведены в табл. 4.5, на время ликвидации аварий для таких кабелей допускаются перегрузки в течение 5 суток в пределах, указанных в табл. 4.6.

Для кабелей с полиэтиленовой и полихлорвиниловой изоляцией перегрузка на время ликвидации аварий допустима соответственно до 10 и 15 %, при этом указанная перегрузка допускается на время максимумов нагрузки не более 6 часов в сутки в течение 5 суток, если в остальные периоды времени этих суток нагрузки не превышают номинальной. Перегрузка кабельных линий напряжением 20–30 кВ не допускается [9].

Условие выбора кабеля с учетом перегрузки

$$I'_{\text{доп}} \cdot K_3 = I_{p \max}, \quad (4.12)$$

где  $K_3$  – коэффициент, учитывающий возможную перегрузку кабеля (табл. 4.5, табл. 4.6).

Долгие годы в категории кабелей среднего напряжения, к которым относятся кабели напряжением 10 кВ, преобладали кабели с бумажной пропитанной изоляцией (БПИ). Это связано с тем, что БПИ являлась единственным видом изоляции на данное напряжение. Наряду с этим шел интенсивный поиск изоляционного материала на основе полимерных композиций, который обладал бы значительными преимуществами и мог заменить БПИ. Такой материал был

изготовлен на основе полиэтилена и получил название «сшитый полиэтилен». Сшитый полиэтилен имеет существенные преимущества перед термопластичным: высокие электрические и механические параметры в более широком диапазоне рабочих температур, малую гигроскопичность (водопроницаемость).

Указанные выше положительные качества сшитого полиэтилена достигаются благодаря процессу сшивки. Термин «сшивка» подразумевает изменение молекулярной структуры полиэтилена. Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) призваны заменить морально устаревшие кабели с пропитанной бумажной изоляцией. Этот процесс в странах с развитой промышленностью начал осуществляться с 60-х годов XX века.

В настоящее время многие страны практически полностью перешли на использование силовых кабелей среднего напряжения с изоляцией из СПЭ и имеют положительный опыт эксплуатации. Так в США и Канаде данные кабели занимают 85 % всего рынка силовых кабелей, Германии и Дании – 95 %, а в Японии, Франции, Финляндии и Швеции – 100 %.

В последнее время в России ведущие энергосистемы также ориентированы на использование кабелей среднего напряжения с изоляцией из СПЭ при прокладке новых кабельных линий и замене старых. Их же рекомендуется использовать в курсовом и дипломном проектах.

Переход на кабели с изоляцией из СПЭ взамен кабелей с БПИ обусловлен рядом неоспоримых преимуществ:

- более высокая надежность в эксплуатации;
- меньшие расходы на реконструкцию и содержание кабельных линий;
- низкие диэлектрические потери (коэффициент диэлектрических потерь 0,001 вместо 0,008);
- большая пропускная способность за счет увеличения допустимой температуры нагрева жил: длительный (90 °С вместо 70 °С), при перегрузке (130 °С вместо 90 °С);
- более высокий ток термической устойчивости при коротком замыкании (250 °С вместо 200 °С);
- низкая допустимая температура при прокладке без предварительного подогрева (–20 °С вместо 0 °С);
- низкое влагопоглощение;
- меньший вес, диаметр и радиус изгиба, что облегчает прокладку на сложных трассах;
- возможность прокладки на трассах с неограниченной разностью уровней;
- более экологичный монтаж и эксплуатация (отсутствие свинца, масла, битума).

Маркировка кабелей из сшитого полиэтилена:

А – алюминиевая жила (без обозначения – медная жила);

Пв – изоляция из сшитого полиэтилена;

П – оболочка из полиэтилена;

Пу – оболочка из полиэтилена увеличенной толщины;

В – оболочка из поливинилхлоридного (ПВХ) пластика;  
 Внг-LS – оболочка из ПВХ пластика пониженной пожароопасности («LS» – Low Smoke – низкое дымо- и газовыделение);  
 г – продольная герметизация водоблокирующими лентами;  
 2г – двойная герметизация (водоблокирующими лентами и алюмополиэтиленовой лентой).

По условиям коронирования выбирают минимально допустимое сечение только для воздушных линий (табл. 4.7). Для жил кабелей самое малое стандартное сечение обеспечивает отсутствие коронирования.

Выбор сечений кабеля по механической прочности также не производится, так как стандартное минимальное сечение удовлетворяет этому условию. Для воздушных линий расчет сечения производится с учетом воздействия собственной массы, силы ветра, гололеда.

При учебном проектировании проверка проводов по механической прочности производится приближенно, исходя из опыта проектирования существующих линий электропередач [11] (см. табл. 4.8).

Воздействие тока КЗ учитывают только при выборе сечения кабельных линий, защищаемых релейной защитой. Кабели, защищаемые плавкими токоограничивающими предохранителями, на термическую стойкость к токам КЗ не проверяют, так как время срабатывания предохранителя мало и выделенное тепло не в состоянии нагреть кабель до опасной температуры.

Термически стойкое к токам КЗ сечение определяют по формуле, мм<sup>2</sup>,

$$S_T = I_\infty \sqrt{t_n} / K_T, \quad (4.13)$$

где  $I_\infty$  – установившееся значение тока КЗ, А;  $t_n$  – приведенное время КЗ;  $K_T$  – температурный коэффициент, учитывающий ограничение допустимой температуры нагрева жил кабеля, значения которого приведены в табл. 4.8, А·с<sup>1/2</sup>/мм<sup>2</sup>.

Приведенное время  $t_n$  определяют суммированием аperiodической  $t_{на}$  и периодической  $t_{пн}$  составляющих времени тока КЗ:

$$t_{на} = t_{пн} + t_{\text{вык}}.$$

При действительном времени КЗ  $t < 5$  сут:  $t_{на} = t_{\text{вык}} + t$ ;  $t_3$ ;  $t_{\text{вык}}$  – соответственно длительность действия защиты и отключающей аппаратуры, значения  $t_{пн}$  определяются по кривым рис. 4.5 в зависимости от действительного времени КЗ и отношения начального сверхпереходного тока КЗ  $I'$  к установившемуся току КЗ  $I_\infty$   $\beta'' = I' / I_\infty$ . При действительном времени  $t < 5$  сут

$$t_{\text{нп}} = t_{\text{п5}} + (t - 5),$$

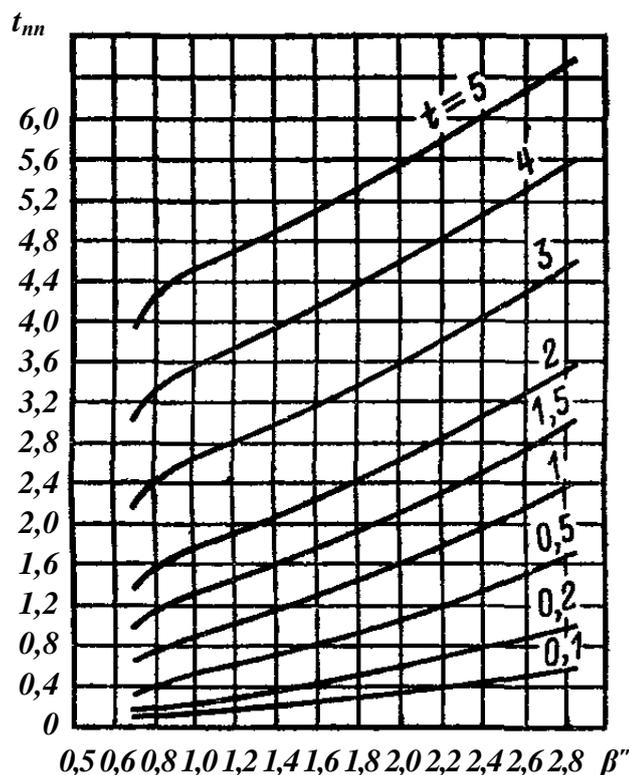


Рис. 4.5. Кривые зависимости приведенного времени для периодической составляющей тока КЗ при питании от генератора с АРВ

где  $t_{\text{п5}}$  – значение приведенного времени для  $t = 5$  сут. Приведенное время аperiodической составляющей определяется по формуле

$$t_{\text{па}} \approx 0,05(\beta'')^2. \quad (4.14)$$

При действительном времени  $t > 1$  сут величина  $t_{\text{па}}$  не учитывается.

За стандартное термически стойкое сечение принимается ближайшее меньшее сечение к расчетной величине  $S_T$ . Такое решение обусловлено ошибкой в сторону завышения, заложенной в метод расчета.

Выбранное сечение проверяют по потере напряжения. При необходимости поддержания напряжения у потребителей в узких пределах решается вопрос о способах регулирования напряжения [8].

Потерю напряжения в линиях напряжением до 35 кВ определяют по формуле

$$\Delta U = \sqrt{3} I_{\text{р\Delta}} (r_{\text{уд}} \cos \varphi + x_{\text{уд}} \sin \varphi), \quad (4.15)$$

где  $I_p$  – расчетный ток линии, А;  $r_{уд}, x_{уд}$  – активное и реактивное удельные сопротивления линий, Ом/км;  $l$  – длина линии, км;  $\cos \varphi$  и  $\sin \varphi$  соответствуют коэффициенту мощности  $\text{tg} \varphi$  в конце линии.

Значения удельных сопротивлений для кабельных линий приведены в [табл. 4.9](#).

Расчет потерь напряжения в линиях напряжением выше 35 кВ ведется на основании П-образной схемы замещения.

По абсолютному значению потерь напряжения из-за различного уровня номинальных напряжений трудно судить о допустимости потерь напряжения, поэтому потери напряжения, определенные по формуле (4.15), выражают в процентах от номинального напряжения:

$$\Delta U \% = \frac{\Delta U}{U_{\text{ном}}} \cdot 100\% . \quad (4.16)$$

Относительные потери напряжения считают приемлемыми, если они в нормальных режимах работы не превышают в сетях низкого напряжения 5 %, а в сетях высокого напряжения – 8 % [11].

Если сечение проводника, выбранное по условию (4.9), получается меньше требуемого по другим условиям, то надо выбрать наибольшее сечение, определяемое этими условиями.

**Пример 4.1.** Выбрать сечение кабельных линий на напряжении 10 кВ для питания потребителей I категории, имеющих расчетную нагрузку  $S_p = 5328$  кВ·А. Значение тока КЗ на шинах источника питания равно 8,25 кА, приведенное время  $K_3 t_n = 1,25$  с. Длина линий равна  $l = 450$  м;  $\cos \varphi = 0,8$ ; время использования максимума нагрузки  $T_{\text{max}} = 5100$  ч. Кабельные линии подключаются к распределительному устройству через вакуумные выключатели.

**Решение.** Для бесперебойного питания потребителей I категории принимаем две параллельно проложенные в траншее кабельные линии с расстоянием между ними 100 мм.

Определяем расчетные токи в нормальном  $I_p$  и послеаварийном режиме  $I_{p \text{ max}}$ :

$$I_p = \frac{S_p}{2\sqrt{3}U_{\text{ном}}} = \frac{5328}{2\sqrt{3} \cdot 10} = 154 \text{ А}; \quad I_{p \text{ max}} = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_{\text{ном}}} = \frac{5328}{\sqrt{3} \cdot 10} = 308 \text{ А}.$$

По справочнику [3] выбираем кабель марки ААБЛ с алюминиевыми жилами, изоляцией жил из пропитанной бумаги, в алюминиевой оболочке, бронированной стальными лентами, с подушкой из битума.

Определяем нестандартное сечение кабеля по экономической плотности тока:

$$S = \frac{I_p}{j_3} = \frac{154}{1,2} = 128,3 \text{ мм}^2,$$

где  $j_3$  – принята по [табл. 4.1](#) для кабелей с алюминиевыми жилами и бумажной изоляцией при числе нагрузки  $T_{\max} > 5000$  ч.

Выбираем по [\[3\]](#) стандартное сечение жил кабельных линий  $S = 150 \text{ мм}^2$  с  $I_{\text{доп}} = 275 \text{ А}$ .

Проверяем выбранное сечение по допустимому нагреву, учитывая допустимую нагрузку в послеаварийном режиме и снижение допустимого тока в нормальном режиме при прокладке кабелей в одной траншее.

Принимаем время ликвидации аварии максимальным (6 ч), а коэффициент загрузки линий в нормальном режиме – 0,6. Из [табл. 4.6](#) находим, что допустимая перегрузка  $K_3 = 1,25$ .

Коэффициент  $K_2$  снижения токовой нагрузки принимаем по [табл. 4.4](#) равным 0,9. Коэффициент  $K_1$  принимаем равным 1, считая, что температура соответствует расчетной температуре среды, для которой составлены таблицы для определения  $I_{\text{доп}}$ .

Определяем допустимый ток кабельных линий из соотношения

$$K_1 \cdot K_{\text{доп}} \cdot K_3 I_{\text{доп}} \geq I$$

или

$$1 \cdot 0,95 \cdot 1,25 I_{\text{доп}} \geq 308; \quad I_{\text{доп}} \geq 274 \text{ А}.$$

Проверяем сечение кабеля по термической стойкости к токам КЗ:

$$S_T = I_{\infty} \sqrt{t_n} / K_T = 82500 \sqrt{1,25} / 95 = 97,1 \text{ мм}^2,$$

где коэффициент  $K_T$  принят по [табл. 3.1](#).

Ближайшее меньшее стандартное сечение по [\[7, 9\]](#) составляет 95 мм.

На основании проведенных расчетов выбираем сечение 150 мм<sup>2</sup>.

Определяем потери напряжения, В:

в нормальном режиме

$$\Delta U = \sqrt{3} I_p l (r_{\text{уд}} \cdot \cos \varphi + x_{\text{уд}} \cdot \sin \varphi) = 1,73 \cdot 154 \cdot 0,45 (0,206 \cdot 0,8 + 0,079 \cdot 0,06) = 25,44;$$

в аварийном режиме

$$\begin{aligned} \Delta U &= \sqrt{3} I_{p \max} \cdot l (r_{\text{уд}} \cdot \cos \varphi + x_{\text{уд}} \cdot \sin \varphi) = \\ &= 1,73 \cdot 308 \cdot 0,45 (0,206 \cdot 0,8 + 0,079 \cdot 0,06) = 50,88, \end{aligned}$$

где  $r_{уд}$ ,  $x_{уд}$  принимаем по [табл. 4.9](#).

Из расчетов видно, что потери напряжения незначительны.

При выборе для прокладки марки кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена расчет проводится аналогично. Технические и электрические характеристики кабелей с изоляцией из СПЭ, изготавливаемых заводом «Камкабель», приведены в [табл. 4.11](#), [табл. 4.12](#), [табл. 4.13](#), [табл. 4.14](#), [табл. 4.15](#), [табл. 4.16](#).

## Экономическая плотность тока

Проводники	Экономическая плотность тока, А/мм <sup>2</sup> , при числе часов использования максимума нагрузки в год		
	более 1000 до 3000	более 3000 до 5000	более 5000
Неизолированные провода и шины:			
медные	2,5	2,1	1,8
алюминиевые	1,3	1,1	1,0
Кабели с бумажной и провода с резиновой и поливинилхлоридной изоляцией с жилами:			
медные	3,0	2,5	2,0
алюминиевые	1,6	1,4	1,2
Кабели с резиновой и пластмассовой изоляцией с жилами:			
медные	3,5	3,1	2,7
алюминиевые	1,9	1,7	1,6

Годовое число часов использования максимума нагрузки по отраслям

Завод, предприятие	Годовое число часов использования максимума	
	активной нагрузки $T_{\max}$	реактивной нагрузки $T_{\max p}$
Заводы:		
анилакокрасочные	7100	
нефтеперегонные	7100	
тяжелого машиностроения	3770	4840
станкостроения	4345	4750
авторемонтные	4370	3200
вагоноремонтные	3560	3660
инструментальные	4140	4960
шарикоподшипников	5300	6130
подъемно-транспортного оборудования	3330	3880
автотракторные	4960	5240
электротехнические	4280	6420
азотно-туковые	7000–8000	
разные металлообрабатывающие	4355	5880
Предприятия:		
сельскохозяйственного машиностроения	5330	4220
приборостроения	3080	3180

Таблица 4.3

Поправочные коэффициенты  $K_1$  на токи кабелей неизолированных и изолированных проводов и шин в зависимости от температуры земли и воздуха

Условия температуры среды, °С	Нормированная температура жил, °С	Поправочные коэффициенты $K_1$ на токи при расчетной температуре среды, °С											
		-5 и ниже	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
15	80	1,14	1,11	1,08	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78	0,73	0,68
25	80	1,24	1,20	1,17	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74
25	70	1,29	1,24	1,20	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67
15	65	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63	0,55
25	65	1,32	1,27	1,22	1,17	1,12	1,06	1,00	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61
15	60	1,20	1,15	1,12	1,06	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67	0,57	0,47
25	60	1,36	1,31	1,25	1,20	1,13	1,07	1,00	0,93	0,85	0,76	0,66	0,54
15	55	1,22	1,17	1,12	1,07	1,00	0,93	0,86	0,79	0,71	0,61	0,50	0,36
25	55	1,41	1,35	1,29	1,23	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
15	50	1,25	1,20	1,14	1,07	1,00	0,93	0,84	0,76	0,66	0,54	0,37	
25	50	1,48	1,41	1,34	1,26	1,18	1,09	1,00	0,89	0,78	0,63	0,45	

Таблица 4.4

Поправочный коэффициент  $K_2$  на количество работающих кабелей, лежащих рядом в земле (в трубах или без труб)

Расстояние между кабелями в свету, мм <sup>2</sup>	Коэффициент $K_2$ при количестве кабелей					
	1	2	3	4	5	6
100	1,00	0,90	0,85	0,80	0,78	0,75
200	1,00	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
300	1,00	0,93	0,90	0,87	0,86	0,85

Таблица 4.5

Допустимые кратковременные перегрузки для кабелей напряжением до 10 кВ с бумажной пропитанной изоляцией

Коэффициент предварительной нагрузки	Вид прокладки	Допустимая перегрузка по отношению к номинальной в течение времени, ч		
		0,5	1	3
0,6	В земле	1,35	1,3	1,15
	В воздухе	1,25	1,15	1,1
	В трубах (в земле)	1,2	1,1	1
0,8	В земле	1,2	1,15	1,1
	В воздухе	1,15	1,1	1,05
	В трубах (в земле)	1,1	1,05	1

Таблица 4.6

Допустимые перегрузки для кабелей напряжением до 10 кВ с бумажной изоляцией на время ликвидации аварии

Коэффициент предварительной нагрузки	Вид прокладки	Допустимая перегрузка по отношению к номинальной при длительности максимума, ч		
		1	3	6
0,6	В земле	1,5	1,35	1,25
	В воздухе	1,35	1,25	1,25
	В трубах (в земле)	1,3	1,2	1,15
0,8	В земле	1,35	1,25	1,2
	В воздухе	1,3	1,25	1,25
	В трубах (в земле)	1,2	1,15	1,1

Таблица 4.7

Минимально допустимое сечение проводов воздушных линий по условиям короны и механической прочности, мм<sup>2</sup>

Напряжение, кВ		10	35	110	220
Сечение провода, мм <sup>2</sup>	Марка А	35	50	–	–
	Марка АС	25	50	70	240

Примечание: в таблице сечения проводов напряжением 10 кВ определены по условиям механической прочности, остальные – по условиям потерь на корону.

Таблица 4.8

Допустимые температуры нагрева жил кабелей и температурный коэффициент  $K_T$

Вид материала и проводника	$T_D, ^\circ\text{C}$	$T_{II}, ^\circ\text{C}$	$\tau_K, ^\circ\text{C}$		$K_T, \text{A} \cdot \text{c}^{1/2} / \text{мм}^2$	
			Медные жилы	Алюминиевые жилы	Медные жилы	Алюминиевые жилы
1	2	3	4	5	6	7
Кабели с бумажной изоляцией для напряжения, кВ:						
до 3	80	125	200	150	165	95
6	65	100	200	150	165	95
10	60	90	200	150	165	95
20–35	50		125	125		
Кабели с поливинилхлоридной изоляцией для напряжения, кВ:						
6	65	75	150	150	114	75
10	65	75	150	150	118	78

Окончание табл. 4.8

1	2	3	4	5	6	7
Кабели с полиэтиленовой изоляцией для напряжения, кВ:						
6	65	72	120	120	94	62
10	65	72	120	120	98	65

Примечание. Активные и индуктивные сопротивления даны для трехжильных кабелей с поясной изоляцией

Таблица 4.9

Удельные активные и индуктивные сопротивления трехжильных кабелей

Номинальное сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Активное сопротивление жил при +20 °С, Ом/км		Индуктивное сопротивление, Ом/км, при номинальном напряжении кабеля, кВ				
	алюминиевых	медных	до 1	6	10	20	35
4	7,74	4,6	0,095				
6	5,17	3,07	0,09				
10	3,1	1,84	0,073	0,11	0,122		
16	1,94	1,15	0,0675	0,102	0,113		
25	1,24	0,74	0,0662	0,091	0,099	0,135	
35	0,89	0,52	0,0637	0,087	0,095	0,129	
50	0,62	0,37	0,0625	0,083	0,09	0,119	
70	0,443	0,26	0,0612	0,08	0,086	0,116	0,137
95	0,326	0,194	0,0602	0,078	0,083	0,11	0,126
120	0,258	0,153	0,0602	0,076	0,081	0,107	0,12
150	0,206	0,122	0,0596	0,074	0,079	0,104	0,116
185	0,167	0,099	0,0596	0,073	0,077	0,101	0,113
240	0,129	0,044	0,587	0,071	0,075		

Примечание. Активные и индуктивные сопротивления даны для трехжильных кабелей с поясной изоляцией.

Таблица 4.10

Характеристика неизолированных проводов при температуре нагрева провода  $\pm 70\text{ }^{\circ}\text{C}$   
и температуре окружающего воздуха  $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Сечение провода, мм <sup>2</sup>	Алюминиевые провода (марка А)		Сталеалюминиевые провода (марка АС)	
	Допустимая нагрузка током, А, (вне помещения)	Активное сопротив- ление 1 км провода, Ом/км	Допустимая нагрузка током, А, (вне помещения)	Активное сопротив- ление 1 км провода, Ом/км
35	170	0,83	175	0,773
50	215	0,576	210	0,592
70	265	0,412	265	0,42
95	320	0,308	330	0,299
120	375	0,248	360	0,245
150	400	0,194	445	0,195
185	500	0,517	510	0,154
240	590	0,120	610	0,118
300	680	0,100	690	0,096

Технические характеристики кабелей на 10 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена

Номинальное переменное напряжение с частотой 50 Гц, кВ	10,0
Рабочая температура жил, °С	+90
Допустимый нагрев жил при работе в аварийном режиме, °С	+130
Максимальная температура жил при коротком замыкании, °С	+250
Эксплуатация при температуре окружающей среды, °С: ПвВнг-LS, АПвВнг-LS ПвВ, АПвВ ПвП, АПвП, ПвПу, АПвПу	-40/+50 -50/+50 -60/+50
Монтаж без предварительного подогрева при температуре не ниже, °С: ПвВ, АПвВ, ПвВнг-LS, АПвВнг-LS ПвП, АПвП, ПвПу, АПвПу	-15 -20
Радиус изгиба кабелей	15 (7,5 <sup>*</sup> )
Срок службы кабелей, не менее, лет	30

Примечание: \*При использовании специального шаблона при монтаже.

Длительно допустимые токовые нагрузки, А

Сечение жилы, мм <sup>2</sup>	АПвП, АПвПу, АПвПГ, АПвПуГ АПвП2Г, АПвПу2Г, АПвВ, АПвВнг-LS		ПвП, ПвПу, ПвПГ, ПвПуГ, ПвП2Г, ПвПу2Г, ПвВ, ПвВнг-LS	
	Расположение в плоскости			
	Прокладка в земле	Прокладка на воздухе	Прокладка в земле	Прокладка на воздухе
1	2	3	4	5
50	195	225	250	290
70	240	280	310	360
95	263	349	336	448
120	298	403	380	515
150	329	452	416	574
185	371	518	466	654
240	428	607	591	762
300	477	693	590	865
400	525	787	633	959
500	587	900	697	1081
630	653	1026	762	1213
800	719	1161	825	1349

Примечания: 1. Для прокладки в плоскости токи рассчитаны при расстоянии между кабелями в свету, равном диаметру кабелей.

2. Для прокладки в земле токи рассчитаны при глубине прокладки 0,7 метров и удельном термическом сопротивлении почвы 1,2 °С, м/Вт.

3. Допустимые токи даны для температуры окружающей среды 15 °С при прокладке в земле и при 25 °С при прокладке в воздухе. При других расчетных температурах окружающей среды необходимо применять поправочные коэффициенты.

Таблица 4.13

Поправочные коэффициенты  $K_1$  на токи кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена в зависимости от температуры земли и воздуха

Условия температуры среды, °С	Нормированная температура жил, °С	Поправочные коэффициенты $K_1$ на токи при расчетной температуре среды, °С											
		-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
15	90	1,13	1,10	1,06	1,03	1,00	0,97	0,93	0,89	0,86	0,82	0,77	0,73
25	90	1.21	1,18	1,1	1,11	1,07	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78

Таблица 4.14

Поправочный коэффициент  $K_2$  на количество работающих кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена, лежащих рядом в земле

Расстояние между кабелями в свету, мм <sup>2</sup>	Коэффициент $K_2$ при количестве кабелей				
	2	3	4	5	6
100	0,90	0,85	0,80	0,78	0,75
200	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81
300	0,93	0,90	0,87	0,86	0,85

Таблица 4.15

Допустимые перегрузки для кабелей напряжением 10 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена

Вид прокладки	Допустимая перегрузка по отношению к номинальной
В земле	1,23
На воздухе	1,27

Таблица 4.16

Удельные активные и индуктивные сопротивления трехжильных кабелей напряжением 10 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена

Номинальное сечение жилы, мм <sup>2</sup>	Активное сопротивление жил при +20 °С, Ом/км		Индуктивное сопротивление, Ом/км
	Медной жилы	Алюминиевой жилы	
50	0,387	0,641	0,184
70	0,268	0,443	0,177
95	0,193	0,320	0,170
120	0,153	0,253	0,166
150	0,124	0,206	0,164
185	0,0991	0,164	0,161
240	0,0754	0,125	0,157
300	0,0601	0,100	0,154
400	0,0470	0,0778	0,151
500	0,0366	0,0605	0,148
630	0,0280	0,0464	0,145
800	0,0221	0,0367	0,142

## 5. КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ И ВЫБОР СХЕМЫ ГЛАВНОЙ ПониЗИТЕЛЬНОЙ ПОДСТАНЦИИ ИЛИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ПУНКТА

Главные понижающие трансформаторные подстанции ГПП предназначены для приема электрической энергии на напряжение, превышающее 10 кВ, трансформирования ее до напряжения 10 (или 6) кВ и распределения между потребителями. ГПП, размещенная в условиях нормальной окружающей среды, имеет открытую (ОРУ) и закрытую (ЗРУ) части. В тех случаях, когда ГПП располагается в зоне повышенной влажности (опасность обледенения), загрязненности или химически активной среды, открытая часть подстанции отсутствует, а все оборудование устанавливается в закрытом помещении.

Схему ГПП выбирают с учетом установленной мощности потребителей электроэнергии и категории их надежности, характера электрических нагрузок и размещения их на генеральном плане предприятия, а также производственных, архитектурно-строительных и эксплуатационных требований.

Схемы подстанций без сборных шин на первичном напряжении, основанные на блочном принципе, наиболее просты и экономичны, они широко применялись на всех напряжениях ([рис. 5.1](#), [рис. 5.2](#)). Однако они обладают недостаточной надежностью и поэтому в настоящее время при проектировании и реконструкции рекомендуется применять схемы с выключателями ([рис. 5.3](#)) на высокой стороне ГПП [13], которые лишены этого недостатка.

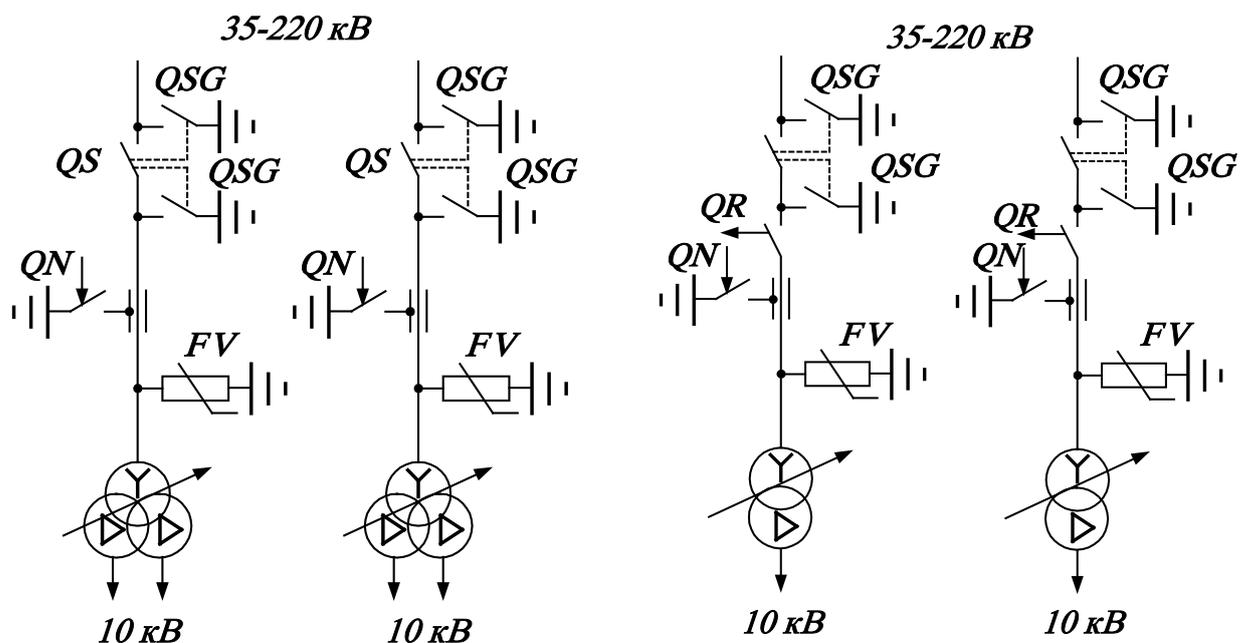


Рис. 5.1. Схема подстанции на разъединителях и короткозамыкателях

Рис. 5.2. Схема подстанции на разъединителях, отделителях и короткозамыкателях

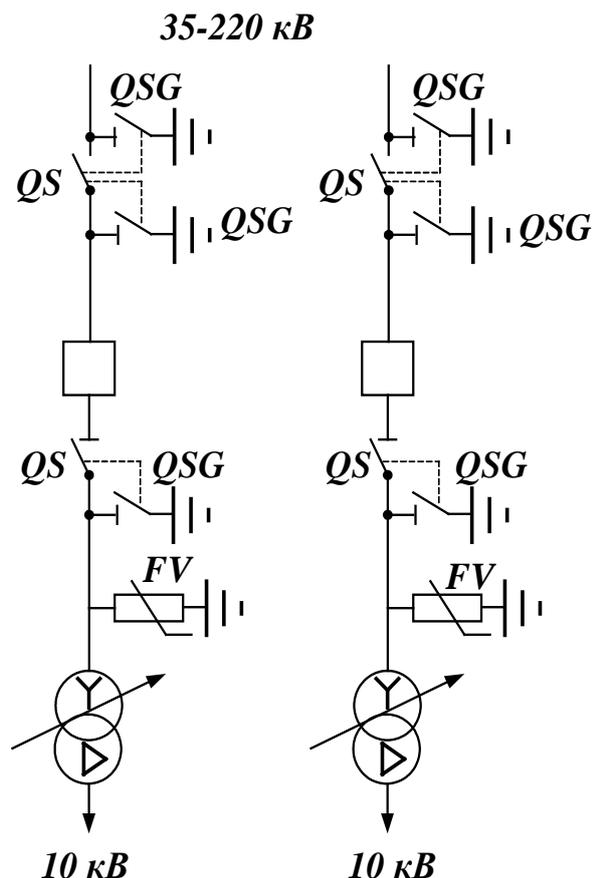


Рис. 5.3. Схема подстанции с выключателями

Схемы с перемычками между питающими линиями (рис. 5.4) позволяют сохранить в работе трансформатор при повреждении питающей его линии, переключив его на вторую линию, обеспечить питание подстанции на время ревизии или ремонта трансформатора. Перемычки позволяют также присоединить оба трансформатора к одной линии, однако при таком режиме при повреждении одного из трансформаторов отключаются оба. Следует избегать применения этих схем в загрязненных зонах, так как наличие дополнительных элементов, подвергающихся загрязнению, увеличивает вероятность аварий на подстанции [12].

Схемы с одной или двумя системами сборных шин на высшем напряжении 35–220 кВ применяются в редких случаях на очень мощных подстанциях, имеющих большое число присоединений.

Для электроснабжения крупных промышленных предприятий используются ГПП с трансформаторами, имеющими расщепленную вторичную обмотку. Это позволяет уменьшить токи короткого замыкания и улучшить качество энергии (рис. 5.5). Потребители с продолжительным режимом работы, в том числе и нагрузка освещения, и потребители с резкопеременной (ударной) нагрузкой подключаются к разным системам шин.

Для ограничения токов короткого замыкания и стабилизации напряжения применяются также схемы со сдвоенными реакторами (рис. 5.6).

Для выполнения распределительных устройств (РУ) 6–10 кВ используют комплектные распределительные устройства (КРУ) двух исполнений: выкатные и стационарные. КРУ состоит из открытых шкафов со встроенными в них аппаратами, защитными приборами и вспомогательными устройствами.

Шкафы КРУ изготавливают на заводах, и с полностью готовым к работе оборудованием они поступают на место монтажа. Здесь шкафы устанавливают, соединяют сборные шины на стыках шкафов, подводят силовые и контрольные кабели.

Наиболее часто для ответственных электроустановок с большим числом камер (15–20) применяются схемы с одной секционированной системой сборных шин и силовыми шкафами серии КРУ (рис. 5.7). Шкафы этой серии оборудованы выкатными тележками, на которых устанавливаются выключатели, трансформаторы собственных нужд, трансформаторы напряжения, нелинейные ограничители перенапряжений и т. д.

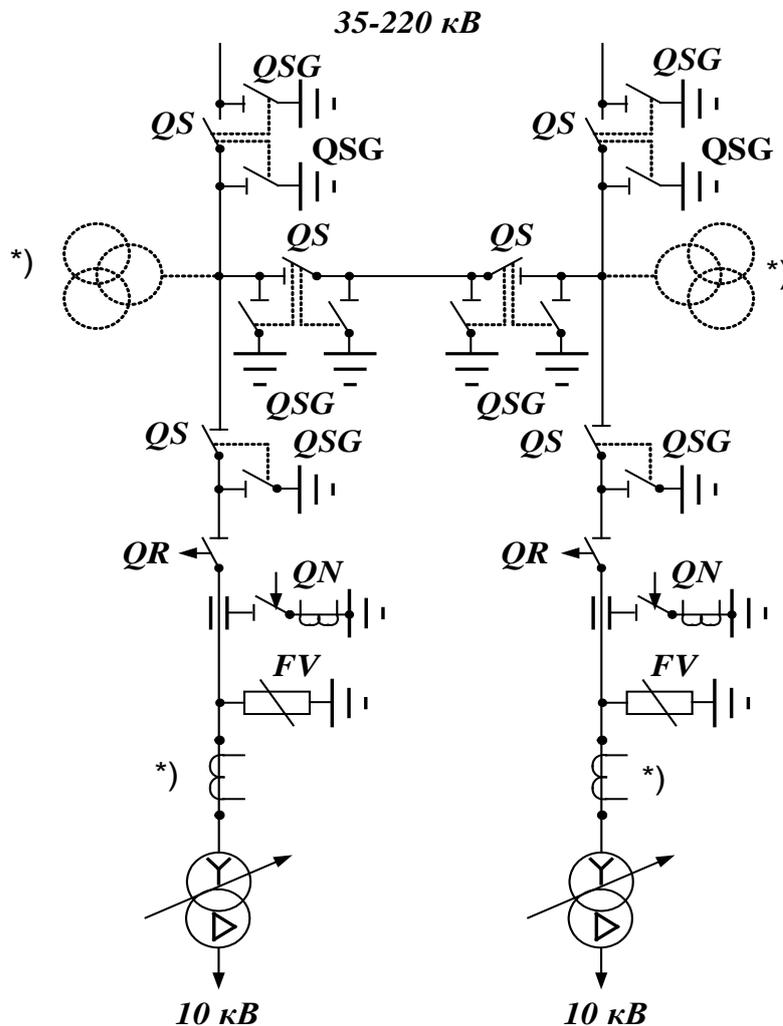


Рис. 5.4. Схема подстанции с переключкой между питающими линиями: устанавливаются при наличии обоснований

Если ТА размещены на выкатной тележке КРУ вместе с выключателем, то их условно-графическое изображение будет иметь следующий вид:

Силовые выключатели  $Q1$  и  $Q2$  называются вводными. Они устанавливаются в специальных шкафах ввода, конструкция которых позволяет подключить шинный «мост», идущий от кабельной линии (КЛ). Рядом со шкафом ввода устанавливается шкаф с трансформаторами собственных нужд (ТСН), защищенным высоковольтным предохранителем ПКТ. Для крупных РП мощность таких ТСН оказывается недостаточной, поэтому более мощные трансформаторы устанавливаются дополнительно в специальных помещениях или на открытой части подстанции. В последнем случае используются комплектные трансформаторные подстанции наружной установки. Выносные ТСН подключаются к сборным шинам РУ-10(6) кВ по схеме, изображенной на [рис. 5.8](#).

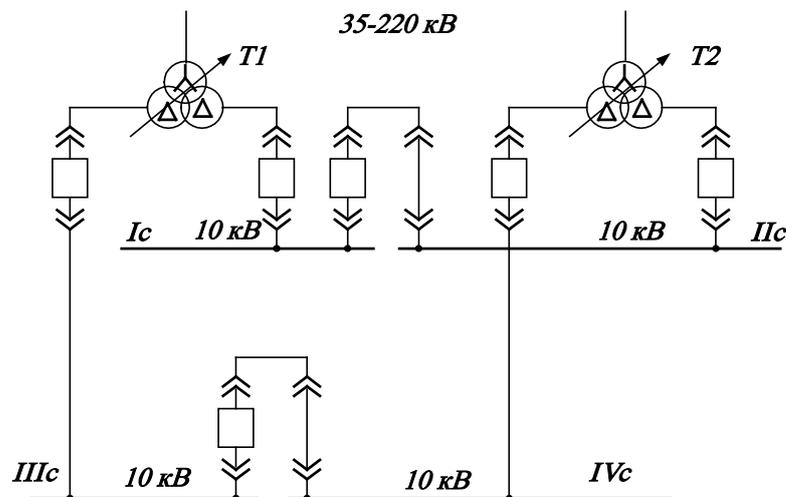


Рис. 5.5. Схема ГПП крупного промышленного предприятия с трехобмоточными трансформаторами

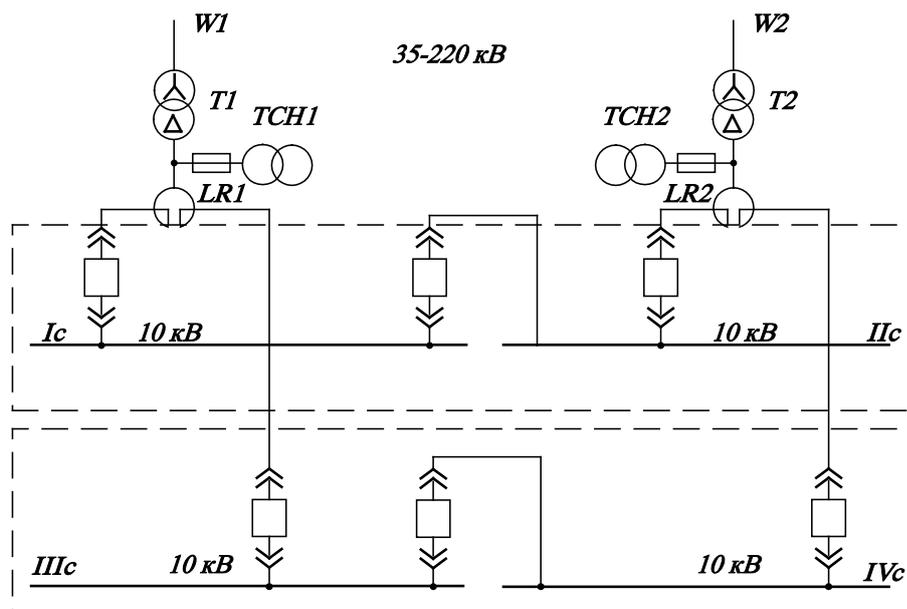


Рис. 5.6. Схема ГПП с двухобмоточными трансформаторами и сдвоенными реакторами

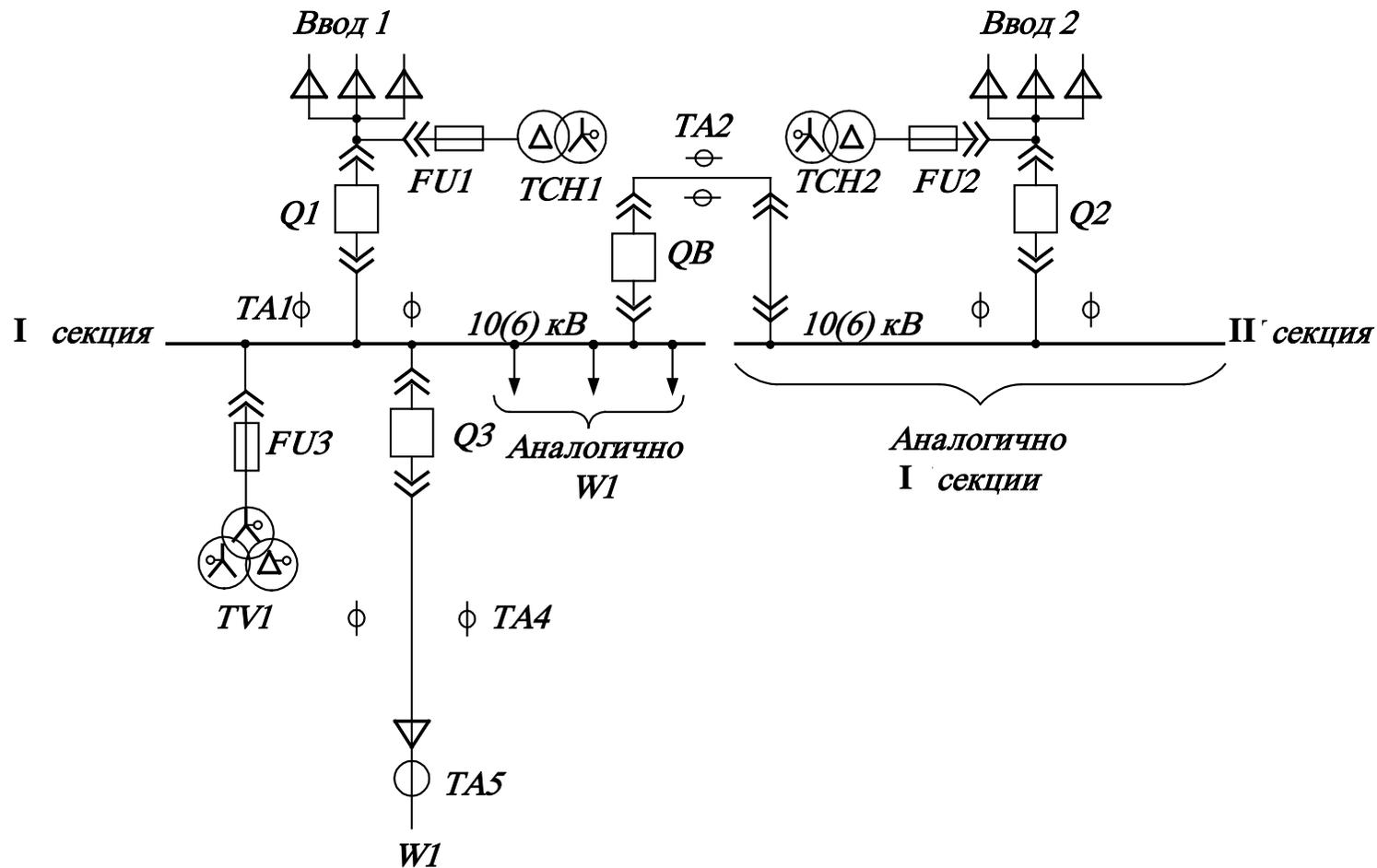


Рис. 5.7. Схема с одной секционированной системой сборных шин и силовыми шкафами серии КРУ: КЛ – абсолютная ЛЭП; FU1,2 – плавкие предохранители; TCH1,2 – трансформаторы собственных нужд; Q1,2 – силовые выключатели ввода; QB – силовой секционный выключатель, находящийся в нормальном отключенном состоянии; Q3 – силовой выключатель отходящей кабельной линии; TA1-4 – трансформаторы тока; TA5 – трансформатор тока нулевой последовательности; TV1 – трансформатор напряжения; W1 – отходящая ЛЭП

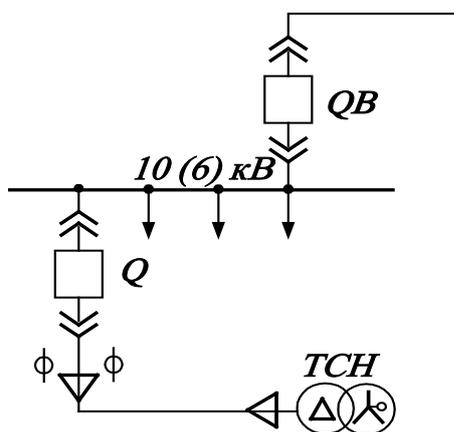


Рис. 5.8. Схема подключения выносного ТСН

Секционирование сборных шин производится с помощью двух силовых шкафов. Один из них имеет тележку с выключателем QB, а другой – шунтирующую вставку (см. рис. 5.7). Такая схема позволяет обеспечить безопасность работ на ТА2 и двухсторонний видимый разрыв между секциями сборных шин.

Кроме рассмотренной широко применяются схемы РП с одной секционированной системой сборных шин и силовыми шкафами серии КСО (рис. 5.9). Простое исполнение и невысокая стоимость КСО создают им преимущества по сравнению с более дорогими камерами серии КРУ, поэтому их целесообразно применять на подстанциях небольшой и средней мощности [8].

На рис. 5.10 изображены схемы шкафов КРУ и КСО с трансформаторами напряжения и нелинейными ограничителями перенапряжений.

Ввод электроэнергии в РУ-10 кВ от двух ее источников реализуется с помощью шинных мостов ввода (не путать с ШМ1, 2). Конструкция шинного моста ввода зависит от вида прокладки питающих кабельных линий. Если КЛЭП проложены на эстакаде, по галерее и в каких-либо других конструкциях, ввод осуществляется непосредственно через стену здания РП с помощью проходных изоляторов и моста (рис. 5.11). В тех случаях, когда КЛ проложены в траншее, блоке, канале или туннеле, ввод кабелем внутрь РП производится через кабельный канал (рис. 5.12). Вводные шкафы 2 (рис. 5.11 и рис. 5.12) могут иметь верхнее присоединение, тогда в конструкцию ввода вносят соответствующие изменения.

Если существует необходимость установки силовых конденсаторных батарей, размещения аккумуляторной станции или какого-либо другого оборудования, на РУ проектируются специальные помещения. На обслуживаемом РУ для дежурного персонала предусматриваются бытовые помещения. В помещении дежурного персонала устанавливается аппаратура измерения, защиты, автоматики, сигнализации, управления и телемеханики. В географических районах с теплым климатом и там, где нет препятствий для обслуживания и работы электрооборудования в зимнее время года, могут применяться комплектные распределительные устройства наружной установки КРУН.

Основные технические параметры шкафов различных серий некоторых комплектных распределительных устройств приведены в [табл. 5.1](#), [табл.5.2.](#), [табл.5.3.](#), [табл.5.4.](#), [табл.5.5.](#), [табл. 5.6.](#)

При подключении к отходящим линиям высоковольтных вращающихся электрических машин сборные шины РП должны быть защищены от возможных перенапряжений нелинейными ограничителями перенапряжений (ОПН). Для этого устанавливают специальные шкафы с TV и PV ([рис. 5.10](#)).

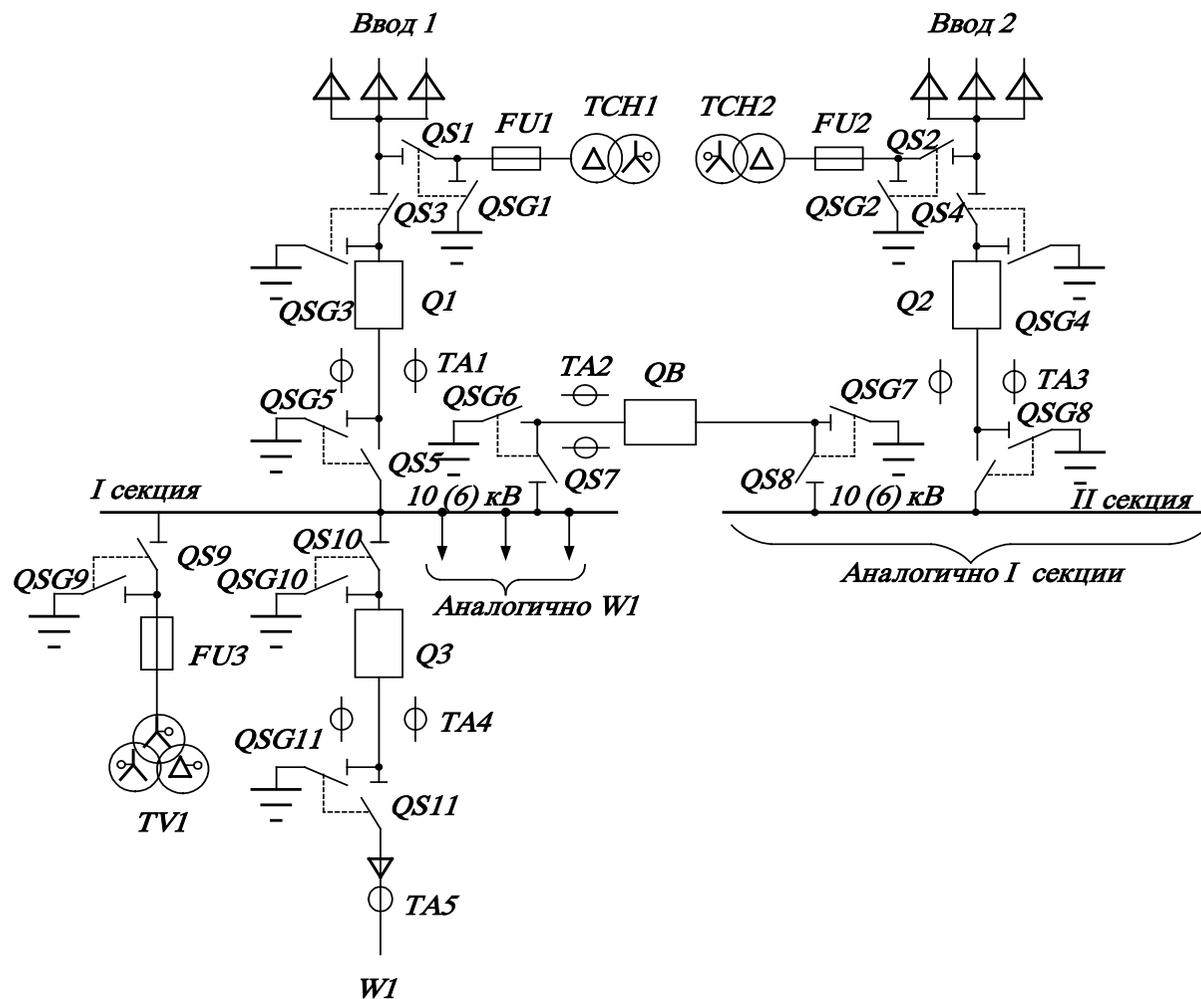


Рис. 5.9. Принципиальная однолинейная схема РП с одной секционированной системой сборных шин и силовыми шкафами серии КСО: QS1-11 – линейные разъединители; QSG1-11 – заземляющие разъединители. Все остальные обозначения аналогичны, принятым на рис. 5.3.

Все силовые шкафы РУ устанавливаются внутри помещения в один или два ряда в зависимости от количества шкафов и имеющейся площади

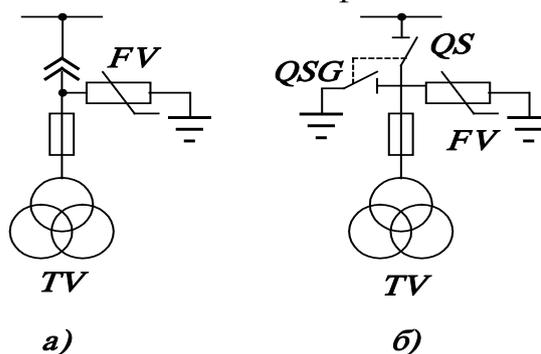


Рис. 5.10. Силовые шкафы с трансформаторами напряжения и разрядниками:  
*a* – силовой шкаф серии КРУ;  
*б* – силовой шкаф серии КСО

(рис. 5.13, рис. 5.14).

Шкафы КРУ имеют двустороннее обслуживание, поэтому между их задней стенкой и стеной здания устраивается коридор обслуживания (рис. 5.13). В отличие от КРУ шкафы КСО, как правило, имеют одностороннее обслуживание, поэтому коридор с задней стороны ряда шкафов отсутствует (рис. 5.14).

При выборе трансформаторов напряжения для комплектных распределительных устройств необходимо учитывать, что в настоящее время происходит замена старых марок трансформаторов на новые.

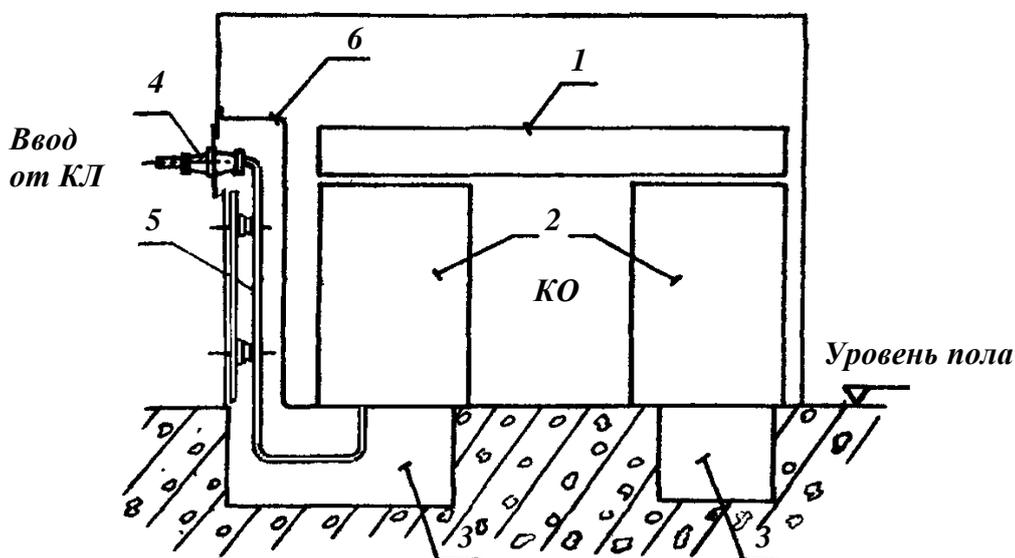


Рис. 5.11. Ввод ЗРУ-10 кВ от КЛ, проложенной по эстакаде, галерее, конструкциям:  
 КО – коридор обслуживания; 1 – шинные мосты ШМ1; 2; 2 – силовые шкафы КСО; 3 – кабельные каналы; 4 – проходные изоляторы; 5 – шинный мост ввода; 6 – защитный короб

Разработка проекта ГПП включает в себя выбор схемы и компоновку ее конкретными типовыми конструкциями КРУ. Для этих целей используют

сетку схем шкафов (табл. 5.7, табл. 5.8) и на ее основе для завода-изготовителя составляют специальный опросный лист, в котором приводят схему заполнения всех шкафов КРУ с указанием номеров схем шкафов, а также других необходимых для заказа технических и конструктивных данных.

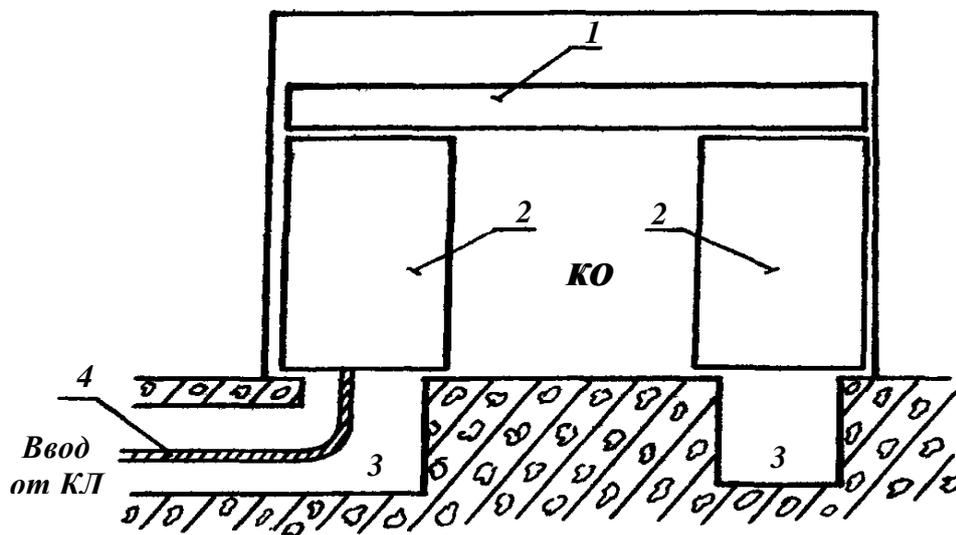


Рис. 5.12. Ввод в ЗРУ-10 кВ от КЛ, проложенных в траншее, блоке, канале, туннеле:  
КО, 1, 2, 3 – см. рис. 5.13; 4 – штаяющая КЛ

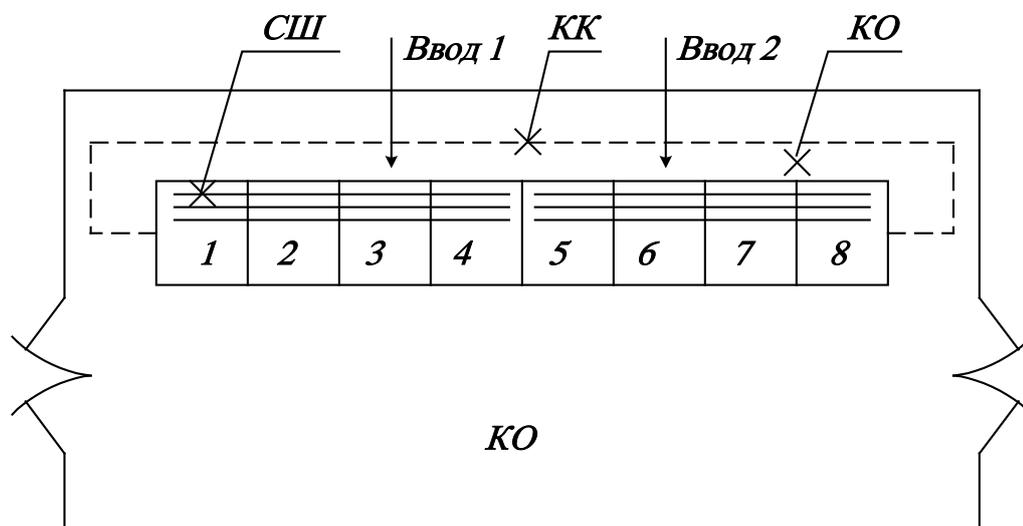


Рис. 5.13. Компоновка РП напряжением 10 кВ с однорядным размещением шкафов серии КРУ: СШ – сборные шины; КК – кабельный канал (пунктиром); КО – коридоры обслуживания; 1–8 – номера шкафов

КРУ выбирают с учетом номинальных параметров установленного электрооборудования, которые должны быть не менее расчетных значений. Одновременно следует принимать во внимание способ установки и обслуживания КРУ, а также климатические условия, в которых они будут работать. Маломощные линии предварительно группируют, а затем присоединяют к одному выключателю, что обеспечивает более рациональное использование

ячеек КРУ. Если в проекте не предусмотрено сооружение ГПП, то конструктивное выполнение ЦРП или ГРП выбирается аналогично конструктивному выполнению РУ, описанному выше.

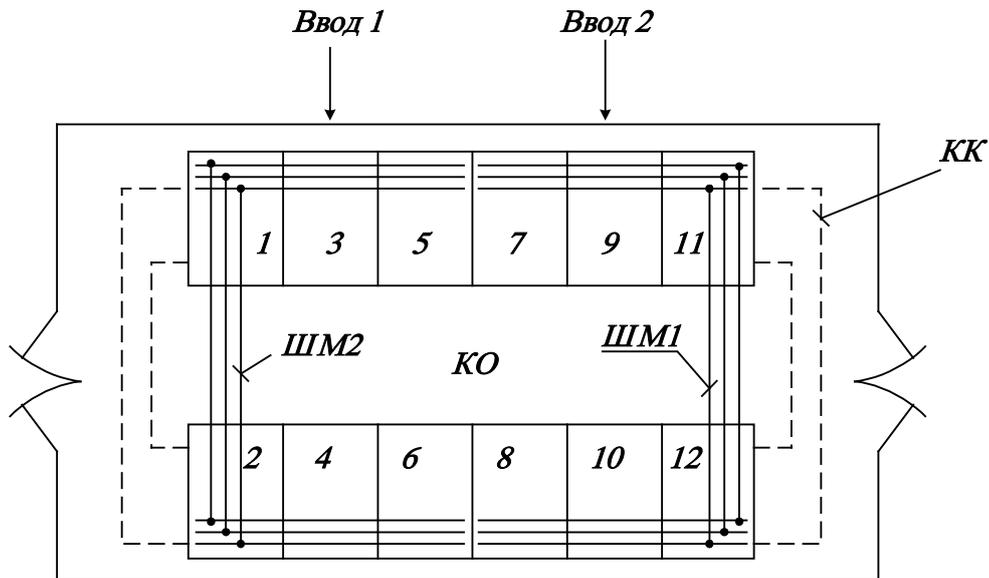


Рис. 5.14. Компоновка РП 10 кВ с двухсторонним размещением шкафов серии КСО: КК, КО, 1–12 – рис. 5.11; ШМ1,2 – шинные мосты

**Пример 5.1.** Выбрать конструкцию РУ-10 кВ промышленного предприятия, схема электроснабжения которого приведена на [рис. 5.15](#). Начертить схему заполнения секций РУ. Предприятие относится ко II категории по надежности электроснабжения.

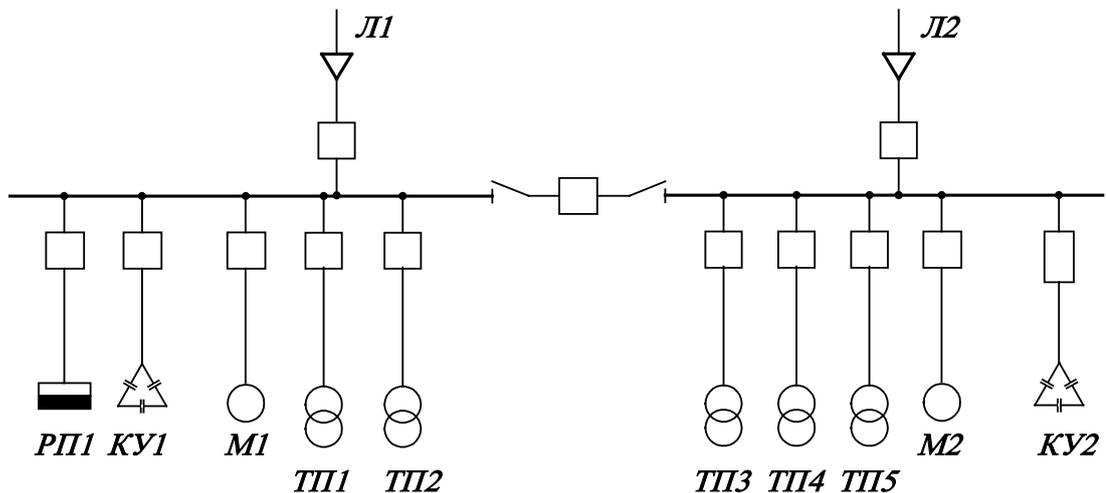


Рис. 5.15. Схема распределительного устройства 6–10 кВ

Учитывая число отходящих линий [12] и категорию надежности потребителей, принимаем к установке КРУ серии КРУ-2-10, РУ выполняем секционированным с двумя секциями шин, соединенных секционным выключателем. Схема заполнения ячеек показана в [табл. 5.9](#), номенклатурное обозначение шкафов принято в

соответствии с [табл. 5.3](#). Сечение жил кабельных линий принимаем в соответствии с нагрузкой отходящих линий.

Таблица 5.1

## Основные технические показатели КРУ-С-10

Номинальное напряжение, кВ	10
Номинальный ток, А	до 1250
Номинальный ток трансформаторов тока	до 20
Номинальный ток отключения, кА	до 20
Типы выключателей:	
вакуумные выключатели	ВВ/TEL 10-20, VAA 10-20
Трансформатор напряжения	НАМИ, ЗНОЛ
Трансформатор собственных нужд, кВА	до 40
Габаритные размеры, мм	890×1170×2500

Таблица 5.2

## Основные технические показатели КРУ серии К-104 М

Номинальное напряжение, кВ	6; 10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12
Номинальный ток главных цепей, А	400; 630; 1000; 1250; 1600
Номинальный ток отключения выключателей, кА	
вакуумных и маломасляных	20; 31,5
элегазовых	16; 20; 31,5; 50
Типы выключателей:	
маломасляные	ВКЭ
вакуумные	ВВЭ, ВБЭК, ВБЧЭ, ВБКЭ, ВВ/TEL
элегазовые	VF
Условия обслуживания	С двухсторонним обслуживанием
Габаритные размеры, мм	750×1150×2432

Таблицы 5.3

## Основные технические показатели КРУ-2-10

Номинальное напряжение, кВ	6, 10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12
Номинальный ток главных цепей, А	400, 630, 1000, 1600, 2000, 2500, 3150
Номинальный ток отклонения выключателя, кА	20
Электродинамическая стойкость, кА	52
Термическая в течение 3 с	20
Типы выключателей высокого напряжения	ВПМ-10; ВПМП-10; ВМП-10к; ВМП-10ку; ВМПЭ-10; ВМПП-10 (маломасляные горшковые); ВВПЭ-10 (вакуумный)
Типы трансформаторов тока	ТЛК-10; ТВК-10; ТЛ-10; ТОЛ 10-1-1(2); ТОЛК-6; ТОЛК-10
Типы трансформаторов напряжения	НТМИ-6(10); НАМИ-6(10); НОМ-6(10)
Габаритные размеры, мм	90×1665×2350

Таблица 5.4

## Основные технические показатели КСО-36 кВ

Номинальное напряжение, кВ	6, 10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12
Номинальный ток главных цепей, А	400, 630
Номинальные токи предохранителей, А	
для $U_n = 6$ кВ	20; 31,5; 50; 80; 100
для $U_n = 10$ кВ	20; 31,5; 40; 63
Электродинамическая стойкость, кА	30
Тип разъединителя	РВ-10
Тип выключателя нагрузки	ВНР-10
Тип трансформаторов напряжения	НОМ-6(10); НАМИ-6(10); НТМИ-6(10)
Тип трансформатора тока	ТПЛ-10
Габаритные размеры	1000×1000×2080

Таблица 5.5

## Основные технические показатели КСО-393

Номинальное напряжение, кВ	6, 10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12
Номинальный ток главных цепей, А	630
Номинальные токи предохранителей, А: для $U_n = 6$ кВ для $U_n = 10$ кВ	31,5; 50; 80; 100, 125 31,5; 40; 63; 80; 100
Номинальный ток выключателя нагрузки, А	630
Ток термической стойкости, кА	16
Тип разъединителя	РВЗ
Тип выключателей	ВНПР (выключатель нагрузки); ВВ/TEL (вакуумный)
Тип привода для выключателя нагрузки	ПР-10
Габаритные размеры, мм: камер КСО-393-15 камер КСО-393-12В, 13В, 14В остальных	500×800×1900 1600×800×2400 800×800×1900
Высота камер с устройствами релейной защиты	2700

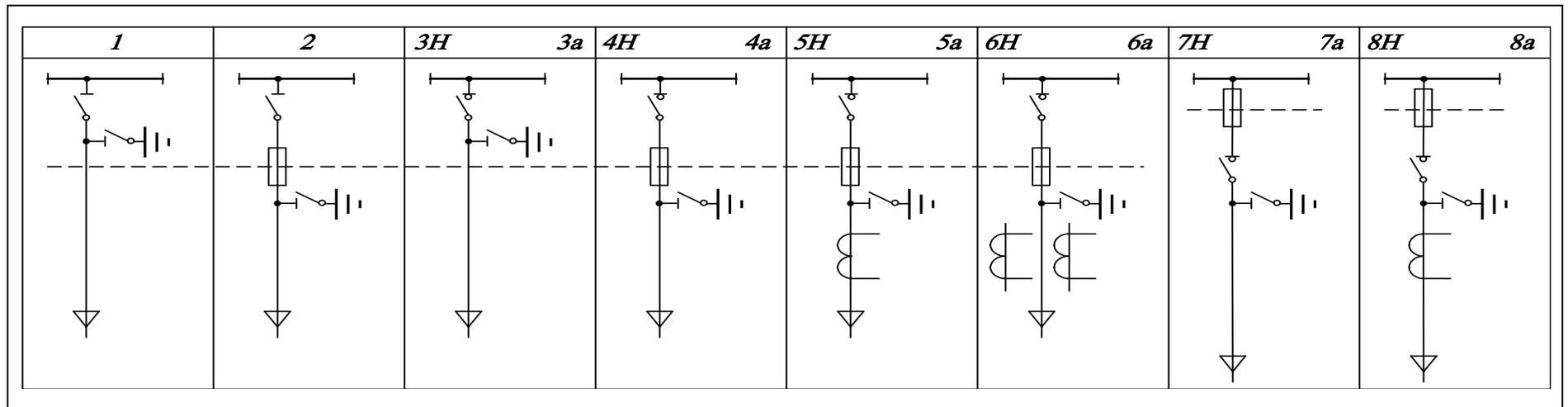
Таблица 5.6

Основные технические показатели КСО-285

Номинальное напряжение, кВ	6, 10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2; 12
Номинальный ток главных цепей, А	630; 1000
Номинальный ток отключения, КА	20
Тип выключателей: маломасляные вакуумные	ВПМП (привод ППВ-10); ВПМ-10 (привод ПЭ-11) ВВЭС, ВБТЭ, ВВ/TEL
Габаритные размеры, мм	1000×1100×2773

Таблица 5.7

Сетка схем первичных соединений камер КСО-366



Окончание табл. 5.7

<i>9Н</i>	<i>9а</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14,14 м</i>	<i>15,15 м</i>

Примечания: 1. Пунктиром показана защитная инвентарная перегородка, предназначенная для ограждения частей, остающихся под напряжением при отключенной для ремонта линии.

2. Буквы «а» и «н» у каталожного номера указывают исполнение привода выключателя автоматический; н – неавтоматический; буква «м» – наличие привода к разъединителю, установленному на шинном мосту.

3. Трансформаторы напряжения в камере № 10 НОМ-6 или НОМ-10; в камере № 11 НТМИ-6, НТМИ-10, НТМК-6 или НТМК-10.

Таблица 5.8

Сетка схем главных цепей шкафов КРУ серии КРУ2-10-20У3

<i>01, 02, 03, 13, 14</i>	<i>04, 15, 16</i>	<i>05, 06, 17, 18</i>	<i>07, 08, 19, 20</i>	<i>09</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
<i>630 A</i>	<i>630, 1000, 1600 A</i>	<i>630 A</i>	<i>630 A</i>	<i>630 A</i>	<i>630 A</i>	<i>630 A</i>
<i>12</i>	<i>21</i>	<i>24, 25</i>	<i>26, 27</i>	<i>28, 29</i>	<i>34, 35</i>	<i>36, 53, 54</i>
<i>630, 1000, 1600 A</i>	<i>630, 1000, 1600 A</i>	<i>630, 1000, 1600 A</i>	<i>630, 1000, 1600 A</i>	<i>630, 1000, 1600 A</i>	<i>630, 1000, 1600 A</i>	<i>630, 1000, 1600 A</i>
<i>201</i>	<i>202</i>	<i>203</i>	<i>204</i>	<i>205, 208, 210</i>	<i>206</i>	<i>207, 209</i>

Окончание табл. 5.8

<i>211, 213, 215</i>	<i>212, 214, 216</i>	<i>217</i>	<i>218</i>	<i>401, 402, 403, 404</i>	<i>405, 406</i>	<i>407, 408</i>
<i>630, 1000, 1600 A</i>	<i>630, 1000, 1600 A</i>	<i>630, 1000, 1600 A</i>		<i>630-1600; 3200 A</i>	<i>630-1600; 3200 A</i>	<i>630-1600; 3200 A</i>
<i>409</i>	<i>501, 502, 503</i>	<i>504</i>	<i>601</i>	<i>602</i>	<i>603</i>	<i>604</i>
<i>630</i>		<i>630, 1000, 1600 A</i>		<i>630, 1000, 1600 A</i>		<i>630, 1000, 1600 A</i>
<i>701, 702</i>	<i>703, 704</i>	<i>705, 706</i>	<i>707</i>	<i>801, 802</i>	<i>807, 808</i>	<i>809, 810</i>
				<i>400 A</i>	<i>400 A</i>	<i>400 A</i>

- Примечания: 1. Схемы № 01, 03, 05, 07, 09, 13, 15, 17, 19, 24, 28 и 34 предусматривают установку двух (а не трех) трансформаторов тока.  
 2. В шкафах по схемам № 36, 54, 209, 210, 215, 216, 402, 404, 406, 408, 503 и 604 имеется выход шин из кабельного отсека только вправо, а в шкафах по схемам № 53, 205, 207, 213, 214, 401, 403, 405, 407, 502 и 606 – только влево.  
 3. Схемы № 208, 211, 212, 501 и 506 имеют выход шин из кабельного отсека в обе стороны; в схеме № 54 с выводом вправо, нет второго комплекта трансформаторов тока.  
 4. Шкафы по схемам № 53 и 54 имеют номинальный ток 3150 А, а по схеме № 36 – 630, 1000, 1600 А.

Таблица 5.9

Сетка схем заполнения секций РУ

Порядковый номер шкафа	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18																			
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Сборные шины 10 кВ 1600 А	Резерв					Аналогично №4							Аналогично №4	Аналогично №4	Аналогично №4	Аналогично №3	Аналогично №2	Резерв		

Продолжение табл. 5.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Номинальный ток	Тип выключателя	Номенклатурное обозначение шкафа	Назначение шкафа																	
630	ВБПЭ-10	09																		
630	ВБПЭ-10	09	РП №1																	
630	ВБПЭ-10	09	Конденсаторная батарея																	
630	ВБПЭ-10	09	Двигатель №1																	
630	ВБПЭ-10	09	ТП №1																	
630	ВБПЭ-10	09	ТП №2																	
		701																		
1600		408	Для ввода																	
1600	ВБПЭ-10	25	Ввод питания																	
1000		408	Для секционного выключателя																	
1000	ВБПЭ-10	53	Секционный выключатель																	
1600		408	Для ввода																	
1600	ВБПЭ-10	25	Ввод питания																	
		701																		
630	ВБПЭ-10	09	ТП №3																	
630	ВБПЭ-10	09	ТП №4																	
630	ВБПЭ-10	09	ТП №5																	
630	ВБПЭ-10	09	Двигатель №2																	
630	ВБПЭ-10	09	Конденсаторная батарея																	
630	ВБПЭ-10	09																		

Окончание табл. 5.9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Тип измерительного трансформатора	ТЛК-10	ТЛК-10	ТЛК-10	ТЛК-10	ТЛК-10	ТЛК-10	НАМИ-10		ТЛК-10		ТЛК-10		ТЛК-10	НАМИ-10	ТЛК-10	ТЛК-10	ТЛК-10	ТЛК-10	ТЛК-10	ТЛК-10
Номинальный ток	600	600	600	600	600	600			1500		1500		1500		600	600	600	600	600	600
Число и сечение жил кабеля	3×150	3×150	3×95	3×120	3×95	3×95									3×95	3×95	3×120	3×95	3×95	3×150

## **6. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ**

### **6.1. Условия сопоставимости вариантов инвестирования**

Электроснабжение промышленных предприятий или отдельных его узлов в конкретных условиях может иметь несколько вариантов в зависимости от принятых напряжений, количества и места расположения понижающих подстанций и распределительных пунктов, мощности трансформаторов, способов передачи электроэнергии по территории предприятия и т. д. Поэтому наиболее рациональное решение выявляется сравнением возможных вариантов электроснабжения, отвечающих техническим условиям, заданным энергосистемой или электроснабжающей организацией, и равноценным по техническим показателям (качество напряжения, баланс реактивной мощности, соответствие требуемой надежности электроснабжения, уровень защиты изоляции от загрязнения, обеспечение самозапусков ответственных электродвигателей, соответствие Правилам устройства электротехнических установок и др.). При наличии необходимых статистических данных по аварийности оборудования и сетей в технико-экономических расчетах (ТЭР) следует использовать стоимостную оценку его надежности или сравниваемые варианты электроснабжения должны быть равноценными по надежности. ТЭР выполняют, выбрав компенсирующие устройства (тип, мощность, напряжение, количество, места установки), на основе расчета электрических нагрузок.

В целом, при оценке сравнительной эффективности инвестирования рассматриваемые варианты должны отвечать определенным условиям сопоставимости либо, если эти условия не соответствуют технической сути проектов, варианты инвестирования должны быть приведены в сопоставимый вид.

Основные условия сопоставимости сравниваемых вариантов:

1. Одинаковый производственный эффект (у потребителя).

При любом варианте проектного решения потребитель должен получить одно и то же количество продукции.

2. Оптимальность сравниваемых вариантов.

Сравниваемые проектные варианты должны иметь примерно одинаковый современный технический уровень.

3. Учет сопряженных затрат.

В сравниваемых вариантах инвестирования необходимо учесть не только их непосредственные капитальные (единовременные) и текущие (годовые эксплуатационные) затраты, но и другие расходы, связанные с осуществлением этих проектов.

4. Одинаковый экологический эффект.

Ни один из сравниваемых вариантов инвестирования не должен превосходить другой по объемам вредных выбросов и других отрицательных влияний на окружающую среду.

5. Стоимостная сопоставимость сравниваемых вариантов.

Технико-экономическая оценка и сравнение различных вариантов инвестирования должны производиться в сопоставимых ценах.

6. Одинаковое качество продукции (работ, услуг) в сравниваемых вариантах инвестирования.

При любых вариантах проектных решений потребитель должен получить необходимую продукцию не только в одинаковом количестве (условие 1), но и одинакового качества. Если сравнению подвергается разнокачественная продукция, необходимо в расчетах предусмотреть всю возможную компенсацию такого несоответствия.

7. Учет внеэкономических факторов.

При технико-экономических расчетах не следует подвергать стоимостным оценкам мероприятия, направленные на решение остросоциальных, насущных экологических задач, обеспечение охраны труда, здоровья и безопасности жизнедеятельности, национальной безопасности и некоторых других проблем.

## 6.2. Оценка эффективности инвестиций

Задача выбора лучшего варианта сводится к определению экономической эффективности капиталовложений, полученной за счет снижения потерь в сети при наилучших эксплуатационных показателях и высокой надежности.

**При рассмотрении двух вариантов схемы электроснабжения или конструктивного ее решения за критерий экономичности следует принять сравнительный срок окупаемости  $T_{\phi}$ :**

$$T_{\phi} = \frac{K_1 - K_2}{I_1 - I_2}, \quad (6.1)$$

где  $K_1, K_2$  – единовременные капитальные вложения (инвестиции) в сравниваемые варианты, тыс. руб;  $I_1, I_2$  – ежегодные издержки производства в сравниваемых вариантах, тыс. руб./год.

**Сравнительный срок окупаемости  $T_{\phi}$  показывает за какое время окупятся дополнительные капиталовложения в более капиталоемкий вариант инвестирования по сравнению с менее капиталоемким за счет экономии эксплуатационных расходов, которую эти дополнительные капиталовложения обеспечивают.**

Критерием для технико-экономической оценки здесь выступает нормативный срок окупаемости  $T_n$ . Если фактический срок окупаемости меньше (или равен) нормативного срока окупаемости  $T_{\phi} \leq T_n$ , то проходит более ка-

питалоемкий вариант; если больше – следует отдать предпочтение варианту с меньшими капиталовложениями.

В некоторых случаях удобнее вычислять отношение экономии годовых издержек к дополнительным капиталовложениям. Такой показатель называется коэффициентом экономической эффективности (фактическим –  $E_{\phi}$ ) и по определению он является величиной, обратной сравнительному сроку окупаемости:

$$E_{\phi} = \frac{I_2 - I_1}{K_1 - K_2} = \frac{\Delta I}{\Delta K} \geq E_n. \quad (6.2)$$

Коэффициент экономической эффективности показывает величину экономии эксплуатационных расходов (издержек производства), которую даст каждый дополнительный рубль инвестируемых средств.

Как и срок окупаемости, коэффициент экономической эффективности для принятия решения о выгодности или нецелесообразности вложений капитала должен сравниваться с нормативной величиной – нормативным коэффициентом экономической эффективности  $E_n$ .

В качестве нормативного коэффициента экономической эффективности можно использовать среднюю величину доходности капитала в соответствующий период времени – средний дивиденд по акциям и ценным бумагам, средний банковский процент (по депозитам или по кредитам) –  $p$ . Отсюда может быть определена для каждого периода времени разная величина

$$E_n = p, \quad (6.3)$$

**а нормативный сравнительный срок окупаемости (лет)**

$$T_n = \frac{1}{E_n} = \frac{1}{p}. \quad (6.4)$$

В условиях современной рыночной экономики для оценок на предпроектной или проектной стадиях исследований рекомендуется принимать величину  $T_n$  обратной современному банковскому проценту по кредитам или проценту средней доходности по ценным бумагам.

Когда число вариантов больше двух, целесообразен другой критерий экономичности – минимум приведенных затрат, тыс. руб./год:

$$Z = E_K \cdot K + I, \quad (6.5)$$

где  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

**Капитальные вложения определяются по всем элементам электро-снабжения, входящим в изменяющиеся части сравниваемых вариантов, в**

действующих (или базовых) ценах с учетом стоимости монтажа и строительной части.

При сравнении вариантов электроснабжения с разным количеством подстанций глубокого ввода или различными способами передачи электроэнергии по территории промышленных предприятий следует учитывать площадь, занимаемую электротехническими сооружениями или коммуникациями, если их размещение на генеральном плане проектируемого предприятия требует расширения коммуникационных коридоров между цехами, удлинения коммуникационных связей, а значит, соответствующего удорожания вариантов.

Так, например, варианты с воздушной линией электропередачи 110 кВ и с кабельной линией того же напряжения существенно различаются по ширине занимаемой полосы. Те же различия будут иметь место в случае сооружения магистрального токопровода 6–10 кВ или кабельных линий в туннелях (если воздушные линии и токопроводы не размещаются в пределах принятых разрывов между цехами).

Удорожание связей (линии, токопроводы) учитывается прибавлением к стоимости каждого варианта величины соответствующего удорожания, условно называемого «стоимостью территории»,

$$k_{\text{тер}} = k_{\text{уд.тер}} \cdot b \cdot l, \quad (6.6)$$

где  $k_{\text{уд.тер}}$  – условная стоимость  $1 \text{ м}^2$  территории, тыс. руб./ $\text{м}^2$ ;  $b$  – ширина полосы на территории предприятия, на которую увеличивается расстояние между производственными сооружениями для размещения электротехнических установок и коммуникаций, м;  $l$  – длина сооружения или коммуникации, м.

Ежегодные издержки производства определяются по соответствующим значениям амортизационных отчислений  $I_a$ , стоимости потерь электроэнергии  $I_э$  и расходов по ремонту и эксплуатации  $I_r$ :

$$I = I_a + I_э + I_r. \quad (6.7)$$

Амортизационные отчисления находят по нормам амортизации  $p_a$  в долях единицы от капиталовложений:

$$I_a = p_a \cdot K. \quad (6.8)$$

Норма амортизации  $p_a$  определяется с учетом срока полезного использования  $T_{\text{пн}}$  объекта (см. табл. 6.1)

$$p_a = \frac{1}{T_{\text{пн}}}. \quad (6.9)$$

Таблица 6.1

## Срок полезного использования основных средств

Наименование основных средств	Срок полезного использования
Трансформаторы электрические силовые малой мощности	Свыше 3 лет до 5 лет включительно
Линия электропередачи воздушная (на опорах из не-пропитанной древесины)	Свыше 7 лет до 10 лет включительно
Аппаратура электрическая низковольтная (до 1000 В) (выключатели, контакторы, рубильники, реле управления и защиты, пускатели, коммутаторы, усилители магнитные, дроссели управления, панели распределительные, щитки осветительные, устройства катодной защиты)	Свыше 7 лет до 10 лет включительно
Линия электропередачи воздушная (на металлических опорах)	Свыше 10 лет до 15 лет
Аппаратура электрическая высоковольтная (более 1000 В) (выключатели, контакторы, разъединители, трансформаторы напряжения, реле, предохранители, токопроводы, преобразователи тиристорные, приборы полупроводниковые силовые, теплоотводы и охладители)	Свыше 10 лет до 15 лет включительно
Трансформаторы электрические, преобразователи электрические, преобразователи статические и индукторы	Свыше 15 лет до 20 лет включительно
Линия электропередачи воздушная (на железобетонных опорах)	Свыше 15 лет до 20 лет включительно
Выключатели, контакторы и реверсоны переменного тока высокого напряжения, разъединители, короткозамыкатели, отделители, заземлители переменного тока высокого напряжения, трансформаторы напряжения высоковольтные	Свыше 15 лет до 20 лет включительно
Провода и кабели силовые	Свыше 20 лет до 25 лет включительно
Компенсаторы реактивной мощности	Свыше 25 лет до 30 лет включительно
Электродвигатели и компенсаторы синхронные	Свыше 25 лет до 30 лет включительно
Кабели силовые на напряжение 1кВ и выше с медной жилой в свинцовой или стальной оболочке	Свыше 30 лет

Стоимость потерь электроэнергии:

$$I_3 = m\Delta p_{н\max} + m_0\Delta p_0, \quad (6.10)$$

где  $m$  – стоимость 1 кВт максимальных нагрузочных потерь, руб./кВт·год;  $m_0$  – стоимость 1 кВт потерь холостого хода (хх) руб./кВт·год;  $\Delta p_{н\ max}$  – максимальные нагрузочные потери активной мощности, МВт;  $\Delta p_0$  – потери хх, МВт.

Стоимость 1 кВт потерь рассчитывается для каждой энергосистемы на основании действующих тарифов в зависимости от времени использования, максимума потерь в год  $\tau_{\max}$ , ч/год, времени включения  $T_B$  в год и коэффициента мощности нагрузки:

$$m = (\alpha / T_{\max} + \beta \cdot 10^{-3}) \cdot \tau_{\max}; \quad (6.11)$$

$$m_0 = (\alpha / T_{\max} + \beta \cdot 10^{-3}) \cdot T, \quad (6.12)$$

где  $\alpha$  – тариф за потребленную мощность, руб./кВт;  $\beta$  – тариф за потребленную электроэнергию, руб./кВт·ч.

Время использования максимума потерь зависит от  $T_{\max}$  и  $\cos\phi$  нагрузки. Его приближенное значение

$$\tau_{\max} = (0,124 + \frac{T_{\max}}{10000})^2 \cdot 8760. \quad (6.13)$$

Время использования максимума активной нагрузки в год  $T_{\max}$  и время включения  $T_B$  для промышленных предприятий ориентировочно определяют в зависимости от сменности: при работе в одну смену  $T_{\max} = 1500$ – $2000$ , в две –  $2500$ – $4000$  и в три –  $4500$ – $6000$ , непрерывно –  $6500$ – $8000$  ч/год; соответственно  $T_B = 2000$ ,  $4000$ ,  $8000$  и  $8700$  ч/год.

**Стоимость годовых потерь электроэнергии можно рассчитать и другим способом:**

$$I_s = \bar{I}_s \cdot \Delta W, \quad (6.14)$$

где  $I_s$  – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии;  $\Delta W$  – годовые потери активной энергии.

Если предприятие рассчитывается за потребленную энергию и мощность по двухставочному тарифу, стоимость 1кВтн электроэнергии определяется по формуле

$$\bar{I}_s = \alpha / T_{\max} + \beta, \quad (6.15)$$

где  $\alpha$  – тариф за каждый киловатт максимума активной нагрузки, руб./ кВт;  $\beta$  – тариф за каждый кВтч потребленной электроэнергии, учтенный счетчик и

ком, руб./кВтч;  $T_{\max}$  – число часов использования максимума активной нагрузки.

Годовые потери активной электроэнергии

$$\Delta W_{\text{П}} = \Delta P \cdot T_{\max}, \quad (6.16)$$

где  $\Delta P$  – среднегодовые потери мощности.

Среднегодовые потери активной мощности для различных элементов системы электроснабжения находят по формулам:

а) для линий электропередач (ЛЭП)

$$\Delta P = 3RI^2 = R \cdot \frac{S^2}{U^2}, \quad (6.17)$$

б) для трансформаторов

$$\Delta P = \Delta P_{0\text{н}} + \Delta P \cdot \frac{S^2}{S_{\text{н}}^2}, \quad (6.18)$$

в) для реакторов

$$\Delta P = \Delta P_{\text{н}} \cdot \frac{I^2}{I_{\text{н.р}}^2}, \quad (6.19)$$

где  $R$  – сопротивление одной фазы ЛЭП, ком;  $I$  – среднегодовой ток, А;  $U$  – напряжение ЛЭП, кВ;  $I_{\text{н.р}}$  – номинальный ток реактора, а;  $S_{\text{н}}$  – номинальная мощность трансформатора, кВ·А;  $\Delta P$  и  $\Delta P_{\text{н}}$  – активные потери мощности холостого хода и нагрузочные при номинальном режиме, кВт.

Среднегодовая полная нагрузка:

$$S = S_{\text{м}} \cdot \frac{T_{\text{макс}} \cdot \cos \varphi}{T_{\text{в}} \cdot \cos \varphi}, \quad (6.20)$$

где  $S_{\text{м}}$  – максимальная (расчетная) нагрузка, кВ·А;  $\cos \varphi_{\text{м}}$  и  $\cos \varphi$  – коэффициенты мощности в момент максимума нагрузки и средневзвешенный за год:

$$\cos \varphi_{\text{м}} = \frac{P_{\text{н}}}{S_{\text{н}}}; \quad \cos \varphi = \frac{W}{\sqrt{W^2 + V^2}} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}, \quad (6.21)$$

здесь  $W$  и  $V$  – годовые расходы активной и реактивной энергии, определяемые по счетчикам (для действующих предприятий) или по формулам:

$$W = P_{\text{м}} \cdot T_{\text{макс}}; \quad V = Q_{\text{м}} \cdot T_{\text{макс.р}} \quad (6.22)$$

здесь  $P_M$  и  $Q_M$  – максимальные значения активных и реактивных нагрузок;  $T_{\max}$  и  $T_{\max.p}$  – годовые числа часов использования максимумов активных и реактивных нагрузок;  $P$  и  $Q$  – среднегодовые значения активной и реактивной нагрузок:

$$P = P_M \cdot T_{\max} / T_B; \quad Q = Q_M \cdot T_{\max} / T_B. \quad (6.23)$$

Во многих случаях  $\cos \varphi_M$  мало отличается от  $\cos \varphi$ , и тогда допустимо следующее равенство:

$$S \approx S_H \cdot T_{\max} / T_B. \quad (6.24)$$

Расходы по эксплуатации определяются по нормативным отчислениям  $p_{э.р}$  в долях единицы от капиталовложений:

$$I_T = p_{э.р} \cdot K. \quad (6.25)$$

В целом формулу (6.5) можно представить как

$$Z = pK + I_T, \quad (6.26)$$

где  $p = E_H + p_6 + p_{э.р}$  – доля отчислений от капитальных вложений.

Рекомендуемые нормы отчислений на эксплуатацию и ремонт приведены в [табл. 6.2](#).

Таблица 6.2

## Затраты на ремонт и эксплуатацию

Наименование основных средств	Нормы отчислений от капитальных вложений, %		
	на ремонт	на эксплуатацию	всего
1	2	3	4
Воздушные линии электропередачи: на металлических и железобетонных опорах:			
до 20 кВ	0,6	2,0	2,6
35кВ и выше	0,4	0,4	0,8
на деревянных опорах из пропитанной древесины и непропитанной лиственницы:			
до 20 кВ	1,7	2,0	3,7
35–220 кВ	1,6	0,5	2,1
на деревянных опорах из непропи- танной древесины до 20 кВ	2,0	2,0	4,0
Силовое электротехническое оборудование и распределительные устройства:			
до 150 кВ	2,9	3,0	5,9
220 кВ и выше	2,9	2,0	4,9
Кабельные линии со свинцовой оболочкой до 10 кВ:			
проложенные в земле и помещениях	0,3	2,0	2,3
проложенные под водой	0,6	2,0	2,6
Кабельные линии с алюминиевой оболоч- кой до 10 кВ:			
проложенные в земле	0,3	2,0	2,3
проложенные в помещениях	0,3	2,0	2,3
Кабельные линии 10 кВ с пластмассовой изо- ляцией, проложенные в земле или помещениях	0,3	2,0	2,3
Кабельные линии 20–35 кВ со свинцовой оболочкой:			
проложенные в земле и помещениях	0,4	2,0	2,4
проложенные под водой	0,8	2,0	2,8
Кабельные линии 110–220 кВ:			
проложенные в земле и помещениях	0,5	2,0	2,5
проложенные под водой	1,0	2,0	3,0
Электродвигатели мощностью:	3,1	–	–
до 100 кВт	2,8	–	–
более 100 кВт			

Окончание табл. 6.2

1	2	3	4
Выпрямители селеновые и кремниевые	3,6	–	–
Аккумуляторы:			
стационарные кислотные	3,2	–	–
стационарные щелочные	–	–	–
переносные кислотные	–	–	–

Наиболее экономичным вариантом электроснабжения является вариант, отвечающий техническим требованиям, наименьшим приведенным затратам. Если приведенные затраты отличаются на 510 % (возможная точность расчетов), предпочтение следует отдать варианту с меньшими капиталовложениями и лучшими качественными показателями. Вариантом системы электроснабжения, обладающим более высокими показателями, можно считать тот, у которого выше номинальные напряжения сети, меньше потери напряжения в сети, меньше колебания напряжения и частоты в сети, вызываемые работой установок с резкопеременной нагрузкой, более благоприятные условия для монтажа, что особенно важно при реконструкции действующих предприятий; лучше условия эксплуатации, возможно расширение установки без значительных переустройств, что имеет важное значение при современных темпах развития производства.

Заканчивают расчеты определением экономического эффекта. Экономический эффект выявляется при сопоставлении экономии эксплуатационных расходов и приведенных капиталовложений, за счет которых может быть получена эта экономия:

$$\mathcal{E} = \Delta Z = Z_1 - Z_2 = (I_1 + E K_1) - (I_2 + E K_2) = (I_1 - I_2) - E (K_2 - K_1), \quad (6.27)$$

$$\mathcal{E} = \Delta I - E_n \Delta K. \quad (6.28)$$

Если экономия больше приведенных капитальных затрат, эффект положительный, капиталовложения оправданы; если меньше – эффект отрицательный (убыток), инвестирование нецелесообразно.

### 6.3. Учет изменения во времени приведенных затрат

При технико-экономическом сравнении вариантов систем электроснабжения, отличающихся капитальными затратами и эксплуатационными расходами, следует учитывать, что для получения одного и того же результата капиталовложения могут производиться по разным вариантам в различные сроки. Так, например, на подстанциях промышленных предприятий трансформаторы устанавливаются по очередям, что обеспечивает их более полную загрузку. Кабели можно прокладывать не все сразу, а по мере увеличения на-

грузок. Если же вместо кабеля применен токопровод, то все затраты по его сооружению являются единовременными (к моменту ввода его в эксплуатацию), а нагрузка затем растет в течение длительного периода, до достижения проектной мощности. Если капитальные затраты, необходимые для осуществления сравниваемых вариантов, производятся в различные сроки, то затраты для каждого из них следует привести к одному календарному сроку (как правило, к моменту ввода объекта в эксплуатацию).

При оценках экономической эффективности инвестиций, растянутых во времени, по показателю приведенных затрат также необходимо учесть фактор времени, т. е. требуется рассчитать ущерб от замораживания капитала; оценить возможную доходность денежных средств, ежегодно расходуемых на эксплуатацию (издержек производства), если бы их сумма была бы положена в банк или пошла бы на приобретение ценных бумаг.

В общем виде такой расчет возможен по формуле

$$Z_{\Sigma} = \sum Z_t (1 + p)^{T-t} \quad (6.29)$$

где  $Z$  – приведенные затраты за год  $t$ ;  $Z_{\Sigma}$  – приведенные затраты за весь период  $T$ .

Однако поскольку в их составе содержатся разнокачественные деньги – единовременно вкладываемые (капиталовложения) и ежегодно расходуемые (издержки), которые следует учитывать соответственно по кредитным и по депозитным банковским ставкам, то банковский процент  $p$  для них будет разным: по кредитам  $p_k$  и по депозитам  $p_d$ .

Тогда

$$Z_{\Sigma} = \sum [I_t (1 + p_d)^{T-1} + E_n K t (1 + p_k)^{T-1}] \quad (6.30)$$

Экономический смысл этого выражения состоит в следующем: для учета разновременности инвестирования приведенные затраты, поскольку в них присутствуют ежегодные расходы по эксплуатации, рекомендуется вычислять исходя из того, что суммы текущих годовых затрат могли быть положены в банк под процент  $p_d$ , а ежегодные инвестиции – под  $p_k$  (или учитываться по этой же ставке как заемные средства).

## 6.4. Учет реактивной мощности

Если сравниваемые варианты отличаются значением естественного коэффициента мощности, то в формулу (6.1) следует ввести приведенные затраты  $Z_k$  на компенсацию реактивной мощности (до нормируемого значения):

$$Z = E_n K + I + Z_k \quad Z = E_n K + I + Z_k \quad (6.31)$$

$$Z = E_n K + I + Z_k \quad (6.32)$$

где  $Q_k^B, Q_k^H$  – суммарные мощности конденсаторных батарей выше и до 1000 В, требуемые по расчетам;  $Z_{y.k}^B, Z_{y.k}^H$  – удельные затраты на компенсацию мощности 1 квар., руб. / (квар.·год) в сетях выше и до 1000 В соответственно;

$$Z_{y.k}^B = p \cdot K_{y.k}^B + m \cdot \Delta P_{y.k}^B \quad Z_{y.k}^H = p \cdot K_{y.k}^H + m \cdot \Delta P_{y.k}^H, \quad (6.33)$$

где  $K_{y.k}^B, K_{y.k}^H$  – стоимость 1 квар конденсаторной установки выше и до 1000 В соответственно, руб/квар;  $P_{y.k}^B, P_{y.k}^H$  – потери активной мощности на 1 квар реактивной мощности конденсаторной установки выше и до 1000 В соответственно, кВт / квар.

В тех случаях, когда не требуется компенсации реактивной мощности, учет реактивных нагрузок в сравниваемых вариантах не производится.

### 6.5. Техничко-экономическое сравнение схем электроснабжения с разной степенью надежности

Варианты схем электроснабжения могут различаться надежностью, под которой понимается способность к бесперебойному обеспечению потребителей электроэнергией заданного качества и количества. В этом случае возникает необходимость оценивать эффективность капитальных затрат с учетом величины ущерба  $Y$ , возникающего при перерывах электроснабжения или глубоких понижениях напряжения (частоты).

При выборе варианта электроснабжения или его отдельных элементов, имеющих неодинаковую надежность, приведенные затраты определяют по выражению:

$$Z = E_n K + I_n + Y. \quad (6.34)$$

Такая оценка не применяется к вариантам схем электроснабжения потребителей особой категории, перерыв в электроснабжении которых недопустим из-за их важности или возможных катастрофических последствий, угрозы жизни людей и т. д.

Все расчеты сводим в [табл. 6.3](#).

Таблица 6.3

Итоговая таблица экономического сравнения вариантов

Наименование показателей	Вариант		
	I	II	III
Капитальные вложения $K$ , тыс. руб.			
Ежегодные отчисления на амортизацию, ремонт и обслуживание $(p_a + p_0 + p_p) K$ , тыс. руб.			
Потери энергии $\Delta \mathcal{E}$ , тыс. кВт·ч/год			
Стоимость годовых потерь электроэнергии $I$ , тыс. руб.			
Ущерб $U$ , тыс. руб.			
Ежегодные издержки производства, тыс. руб. (суммарные) $I = p \cdot K + I_3 + U$			
Приведенные затраты, тыс. руб. $Z = E_n \cdot K + I + U$			
Экономический эффект $\mathcal{E}$ , тыс. руб.			

**Пример 6.1.** Произвести сравнение вариантов схем внешнего электроснабжения завода по технико-экономическим показателям завода, на котором преобладают потребители I и II категорий по надежности электроснабжения.

Исходные данные (см. пример 2.3).

Расчетная активная и полная нагрузки завода, отнесенные к шинам ВН ГПП равны соответственно  $P_p = 17274$  кВт,  $S_p = 18846$  кВ·А. Число часов использования максимальной нагрузки  $T_{\max} = 4960$ . Стоимости 1 кВт·ч электроэнергии  $\overline{I}_3$  для потребителей с  $U = 35$  кВ и  $U = 110$  кВ соответственно равны  $I_3 = 0,53$  руб.,  $I_3 = 0,486$  руб. Коэффициент эффективности капиталовложений  $E_n = 0,14$ .

Питание завода осуществляется от подстанции энергосистемы, на которой установлены два трехобмоточных трансформатора с номинальной мощностью 40 МВ·А каждый с напряжениями 110/35/10 кВ. Расстояние от подстанции до завода  $l = 12,5$  км. Номинальная мощность системы  $S_c = 800$  МВА, сопротивление системы  $x_c = 0,8$ .

Расчет выполняем в ценах 2004 года.

Так как на проектируемом заводе преобладают нагрузки I и II категорий, то для внешнего электроснабжения предусматриваем две питающих линии. В случае сооружения ГПП предусматриваем установку двух трансформаторов связи с энергосистемой.

Определим рациональное напряжение питающих линий по формуле (4.6)

$$U_{\text{рац}} = 4,34 \sqrt{l + 16P} = 4,34 \sqrt{12,5 + 16 \cdot 17,3} = 73,7 \text{ кВ.}$$

Выбираем два ближайших по шкале номинальных значения напряжений – 35 и 110 кВ, далее рассчитываем два варианта схемы внешнего электроснабжения.

троснабжения с разным напряжением питающих линий. Питающие линии выполняются воздушными, так как завод находится от источника питания на значительном расстоянии.

Определяем номинальную мощность, кВ·А, трансформаторов по условию (4.3)

$$S_{\text{нт}} \geq \frac{S_p}{2 \cdot 0,7} = \frac{18846}{2 \cdot 0,7} = 13461 .$$

Принимаем к установке два трансформатора с номинальной мощностью 16000 кВ·А каждый. Загрузка трансформаторов: в нормальном режиме

$$K_3 = \frac{S_p}{2S_{\text{нт}}} = \frac{18846}{2 \cdot 16000} = 0,6 ;$$

в послеаварийном режиме (один трансформатор отключен)

$$K_{\text{зав}} = \frac{S_p}{S_{\text{нт}}} = \frac{18846}{16000} = 1,2 .$$

Варианты схем внешнего электроснабжения завода приведены на рис. 6.1, рис. 6.2. Далее рассчитываем каждый из принятых вариантов.

### Вариант 1

#### 1. Линии.

Питающие линии выполняем проводом марки АС. Расчетный ток линии, А,

$$I_p = \frac{S_p}{n\sqrt{3}U_n} = \frac{18846}{2\sqrt{3} \cdot 35} = 156 .$$

Максимальный рабочий ток в послеаварийном режиме, А,

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_n} = \frac{18846}{\sqrt{3} \cdot 35} = 312 .$$

Выбираем сечение линии, мм<sup>2</sup>, по условию (4.1):

$$S_3 = \frac{I_p}{j_3} = \frac{156}{1,4} = 111 ,$$

где  $j_{\text{эк}}$  принята из [табл. 4.1](#) для алюминиевых проводов при числе использования максимума нагрузки  $T_{\text{max}} = 3000\text{--}5000$  ч.

Принимаем ближайшее стандартное сечение  $S_{\text{ст}} = 120 \text{ мм}^2$ , провод марки АС-120 с  $I_{\text{доп}} = 390 \text{ А}$ .

## 2. Выключатели.

Предварительно выбираем головные выключатели ( $Q_1$  и  $Q_2$ ) и выключатели, установленные на ГПП ( $Q_3$  и  $Q_4$ ) по номинальным данным ( $U_{\text{нв}} \geq U_{\text{н}}$ ,  $I_{\text{нв}} \geq I_{\text{max p}}$ ,  $S_{\text{откл в}} \geq S_{\text{откл р}}$  или  $I_{\text{откл в}} \geq I_{\text{откл р}}$ ). Известно, что  $U_{\text{н}} = 35 \text{ кВ}$ ,  $I_{\text{max p}} = 312 \text{ А}$ .

Для определения мощности, отключаемой выключателями,  $Q_1$  и  $Q_2$  намечаем расчетную точку короткого замыкания (КЗ)  $K-1$ , а для определения мощности, отключаемой выключателями  $Q_3$  и  $Q_4$  – точку КЗ  $K-2$  (рис. 6.1, рис. 6.2).

Согласно исходной схеме питания составляем схему замещения для расчета трехфазного КЗ в точках  $K1$ ,  $K2$  (рис. 6.3) и определяем параметры схемы замещения в относительных единицах. Все сопротивления приводим к базисной мощности  $S_6 = S_c = 600 \text{ МВ}\cdot\text{А}$ .

Сопротивление системы в относительных базисных единицах определяется в следующей последовательности.

Для трехобмоточного трансформатора типа ТДТН-40000/110 наружной установки с регулированием напряжения под нагрузкой напряжение КЗ между обмотками в процентах при номинальных ступенях напряжения составляют:

ВН-СН	ВН-НН	СН-НН
10,5 %	17,5 %	6,5 %

Определяем напряжение КЗ каждой обмотки, %,

$$U_{\text{к}}^{\text{В}} = 0,5(U_{\text{к}}^{\text{BC}} + U_{\text{к}}^{\text{ВН}} - U_{\text{к}}^{\text{СН}}) = 0,5(10,5 + 17,5 - 6,5) = 10,75,$$

$$U_{\text{к}}^{\text{С}} = 0,5(U_{\text{к}}^{\text{СН}} + U_{\text{к}}^{\text{BC}} - U_{\text{к}}^{\text{ВН}}) = 0,5(6,5 + 10,5 - 17,5) = 0,$$

$$U_{\text{к}}^{\text{Н}} = 0,5(U_{\text{к}}^{\text{ВН}} + U_{\text{к}}^{\text{СН}} - U_{\text{к}}^{\text{BC}}) = 0,5(17,5 + 6,5 - 10,5) = 6,75.$$

Сопротивления обмоток трансформатора в относительных базисных единицах равны:

$$x_{\text{т}}^{\text{В}} = \frac{U_{\text{к}}^{\text{В}}\%}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{нт}}} = \frac{10,75}{100} \cdot \frac{600}{40} = 1,61, \quad x_{\text{т}}^{\text{С}} = \frac{U_{\text{к}}^{\text{С}}\%}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{нт}}} = 0,$$

$$x_{\text{т}}^{\text{Н}} = \frac{U_{\text{к}}^{\text{Н}}\%}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{нт}}} = \frac{6,75}{100} \cdot \frac{600}{40} = 1,01.$$

Схема замещения трехобмоточного трансформатора с указанием величин ее элементов показана на рис. 6.4.

Сопротивление обмоток ВН и СН трехобмоточного трансформатора в относительных базовых единицах

$$x_{\tau} = x_{\tau}^B + x_{\tau}^C = 1,61 + 0 = 1,61.$$

Сопротивление от источника питания до точки КЗ К1 в относительных базисных единицах составит

$$x_{\Sigma 1c} = x_{\tau} + x = 0,8 + 1,61 = 2,41.$$

Мощность, отключаемая выключателями  $Q_1$  и  $Q_2$ , МВ·А,

$$S_{\max p1} = \frac{S_c}{x_{\Sigma 1c}} = \frac{600}{2,41} = 249.$$

Ток, отключаемый выключателями  $Q_1$  и  $Q_2$ , кА,

$$I_{\text{откл } p1} = \frac{S_{\text{откл } p1}}{\sqrt{3}U_H} = \frac{249}{\sqrt{3} \cdot 35} = 4,11.$$

Выбираем выключатель типа ВБЭК-35 с номинальными данными  $U_{\text{нв}} = 35$  кВ,  $I_{\text{нв}} = 630$  А,  $I_{\text{откл в}} = 10$  кА, что соответствует расчетным условиям.

Сопротивление питающей линии в относительных базовых единицах

$$x_{\text{л}} = x_0 l \frac{S_6}{U_H^2} = 0,4 \cdot 11,5 \cdot \frac{600}{35^2} = 2,45,$$

где  $x_0 = 0,4$  Ом/км – реактивное сопротивление 1 км линии.

Сопротивление от источника питания до точки КЗ К2 в относительных базисных единицах составит:

$$x_{\Sigma 2c} = x_{\tau} + x_{\text{л}} + x = 0,8 + 1,61 + 2,45 = 4,86.$$

Мощность, отключаемая выключателями  $Q_3$  и  $Q_4$ , МВ·А,

$$S_{\max p2} = \frac{S_c}{x_{\Sigma 2c}} = \frac{600}{4,86} = 123.$$

Ток, отключаемый выключателями  $Q_3$  и  $Q_4$ , кА,

$$I_{\text{откл р2}} = \frac{S_{\text{откл р2}}}{\sqrt{3}U_{\text{н}}} = \frac{123}{\sqrt{3} \cdot 35} = 2,03.$$

Выбираем выключатель типа ВБЭК-35 с номинальными данными  $U_{\text{нв}} = 35$  кВ,  $I_{\text{нв}} = 630$  А,  $I_{\text{откл в}} = 10$  кА, что соответствует расчетным условиям.

### 3. Трансформаторы силовые.

Для питания завода на ГПП устанавливаем два трансформатора ТД-16000/35.

Технические данные трансформатора: номинальная мощность  $S_{\text{нт}} = 16000$  МВ·А; ток холостого хода  $I_{\text{хх}} = 0,6$  %; напряжение короткого замыкания  $u_{\text{кз}} = 8$  %; потери мощности холостого хода при номинальном напряжении  $\Delta P_{\text{хх}} = 21$  кВт; потери мощности короткого замыкания при номинальном напряжении  $\Delta P_{\text{кз}} = 90$  кВт.

### 4. Капитальные затраты.

*Капитальные затраты на линии.* При определении капитальных затрат используем укрупненные показатели стоимости электрооборудования [3] с учетом коэффициента удорожания на 2004 год.

Стоимость двух камер отходящих линий с выключателями ВМК-35 ( $Q_1$  и  $Q_2$ ), устанавливаемыми в открытом распределительном устройстве (ОРУ) 35 кВ, тыс. руб.,

$$K_{\text{в}} = 2 \cdot 465 = 930.$$

Стоимость сооружения воздушной линии 35 кВ на не унифицированных одноцепных железобетонных опорах, тыс. руб.,

$$K_{\text{л}} = 12,5 \cdot 335 = 4187,5.$$

Суммарные капитальные затраты на сооружение линий, тыс. руб.,

$$K_{\Sigma \text{л}} = K_{\text{л}} + K_{\text{в}} = 4187,5 + 930 = 5117,5.$$

*Капитальные затраты на сооружение ГПП.* Стоимость двух трансформаторов ТД-16000/35 при наружной установке, тыс. руб.,

$$K_{\text{т}} = 2 \cdot 1350 = 2700.$$

Стоимость двух камер с выключателями ВМК-35 ( $Q_3$  и  $Q_4$ ), тыс. руб.,

$$K_{\text{л}} = 12,5 \cdot 335 = 4187,5.$$

Суммарные капитальные затраты на сооружение ГПП, тыс. руб.,

$$K_{\Sigma \text{ГПП}} = K_{\text{т}} + K_{\text{в}} = 2700 + 930 = 3630.$$

Суммарные капитальные затраты по I варианту, тыс. руб.,

$$K_{\Sigma} = K_{\Sigma л} + K_{\Sigma ГПП} = 5117,5 + 3630 = 8747,5.$$

5. Ежегодные издержки.

Суммарные ежегодные издержки определяются из условия (6.7):

$$I_{\Sigma} = I_{a\Sigma} + I_{m\Sigma} + I_{\varepsilon\Sigma}.$$

*Амортизационные отчисления*

$$I_{a\Sigma} = I_{ал} + I_{ав} + I_{ав} + I_{ат},$$

где  $I_{ал}$ ,  $I_{ав}$ ,  $I_{ат}$  – амортизационные отчисления соответственно по линиям, выключателям и трансформаторам находятся по формуле (6.8). Норма амортизационных отчислений  $P_a$  определяется по условию (6.9) и табл. 6.1.

$$I_{a\Sigma} = 0,066 \cdot 4187,5 + 0,066 \cdot 930 + 0,066 \cdot 930 + 0,05 \cdot 2700 + 534,135$$

*Расходы на ремонт и обслуживание.*

$$I_{т\Sigma} = I_{тл} + I_{тв} + I_{тв} + I_{тт},$$

где  $I_{тл}$ ,  $I_{тв}$ ,  $I_{тт}$  – расходы на эксплуатацию и ремонт соответственно по линиям, выключателям и трансформаторам находятся по формуле (6.25).

Норма отчислений на ремонт и эксплуатацию  $P_{эр}$  определяется по табл. 6.2.

$$I_{т\Sigma} = 0,08 \cdot 4187,5 + 0,059 \cdot 930 + 0,059 \cdot 930 + 0,059 \cdot 2700 = 302,54$$

*Стоимость потерь электроэнергии.* Годовые потери активной мощности в линиях, кВт,

$$\Delta P_{л} = R \frac{S_p^2}{U^2} = \frac{r_0 l}{n_{ц}} \cdot \frac{S_p^2}{U^2} \cdot 10^3,$$

где  $r_0$  – удельное сопротивление проводов, Ом/км;  $l$  – длина линии, км;  $n_{ц}$  – количество цепей;  $S_p$  – расчетная мощность, МВ·А;

$$\Delta P_{л} = \frac{0,246 \cdot 12,5}{2} = \frac{18,846^2}{35^2} = 446$$

Годовые потери энергии в линиях

$$\Delta W_P = \Delta \tau_{\max},$$

где  $\tau_{\max}$  – время использования максимума потерь, ч.

По формуле (6.13) находим

$$\tau_{\max} = \left(0,124 + \frac{4960}{10000}\right) \cdot 8760 = 5936.$$

Годовые потери электроэнергии в трансформаторах равны, кВт·ч/год,

$$\Delta W_T = n \Delta P_{xx} + \frac{1}{n} \Delta P_{кз} \left(\frac{S_p}{S_{HT}}\right)^2 \tau_{\max},$$

где  $n$  – число трансформаторов;  $\Delta P_{xx}$  – потери холостого хода, кВт;  $\Delta P_{кз}$  – потери короткого замыкания, кВт;  $S_p$  – расчетная мощность, кВА;  $S_{HT}$  – номинальная мощность трансформатора, кВ·А;  $T_B$  – годовое число часов работы трансформатора, ч;

$$\Delta W_T = 2 \cdot 21 \cdot 8760 + \frac{1}{2} 90 \cdot \left(\frac{18846}{16000}\right)^2 \cdot 5396 = 704813.$$

Стоимость годовых потерь в линиях и трансформаторах, тыс. руб./год:

$$I_{\Sigma} = \overline{I}_\Sigma \cdot \Delta W_\Sigma = \overline{I}_\Sigma (\Delta W_L + \Delta W_T) = 0,53(2406616 + 704813) = 1649,057.$$

Суммарные ежегодные издержки, тыс. руб./год:

$$I_\Sigma = 534,135 + 302,540 + 1649,057 = 2485,732.$$

Приведенные затраты по I варианту, тыс. руб. /год:

$$Z_{\Sigma I} = E K_\Sigma + I_\Sigma = 0,14 \cdot 8747,500 + 2485,732 = 3710,382.$$

Аналогично рассчитываем приведенные затраты по II варианту  $Z_{\Sigma II}$ .  
 Результаты расчетов приведены в [табл. 6.4](#).

Таблица 6.4

Итоговая таблица экономического сравнения вариантов

Наименование показателя	Варианты	
	I	II
Капитальные затраты $K$ , тыс. руб.	8747,5	16985,5
Ежегодные отчисления на амортизацию, ремонт и обслуживание, тыс. руб.	836,675	2215,575
Потери энергии, $\Delta W$ , тыс. кВт·ч/год	3111,429	1189,216
Стоимость годовых потерь электроэнергии, $I_э$ , тыс. руб.	1649,057	577,959
Приведенные затраты, $Z$ , тыс. руб./год	3710,382	5151,504

По результатам технико-экономического сравнения вариантов наиболее экономичным оказался вариант I.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Повышение эффективности работы любого предприятия возможно за счет научно-технического прогресса.

В области электроснабжения потребителей тока необходимо повышение уровня проектно-конструкторских разработок, внедрение и рациональная эксплуатация высоконадежного современного оборудования, снижение расхода электроэнергии при ее передаче, распределении и потреблении, повышение качества электроэнергии.

Развитие и усложнение систем электроснабжения, возрастающие требования к их надежности и экономичности, широкое внедрение автоматизированных систем учета, контроля и управления распределением и потреблением электроэнергии требуют подготовки высококвалифицированных инженеров-электриков.

При написании пособия авторы использовали учебно-методическую литературу, изданную в разное время в НЭТИ (Е. З. Манусов), МЭИ (А. А. Федоров, Б. И. Кудрин), которая, к сожалению, в настоящее время являются почти библиографической редкостью и практически недоступна для студентов электроэнергетических специальностей.

При проектировании систем электроснабжения учитывается взаимное влияние многих факторов: выбор силовых трансформаторов, компенсация реактивной мощности и т. д., качество электроэнергии, надежность и экономичность работы системы электроснабжения. Из многообразия возможных технических решений должны быть получены оптимальные или близкие к ним, что можно сделать только в процессе творческой работы.

Авторы надеются, что данное пособие поможет развить творческие способности будущих инженеров-электриков.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Системы электроснабжения: сб. заданий по курсовому проектированию / Л. С. Синенко, Ю. П. Попов, Е. Ю. Сизганова, А. Ю. Южанников. – Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2003. – 84 с.
2. Стандарт предприятия. Общие требования к оформлению текстовых и графических студенческих работ. Текстовые материалы и иллюстрации. СТП КГТУ 01-02. – Красноярск, 2001.
3. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: в 2 т. / ред. А. А. Федоров. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – Т. 1. – 568 с. : ил.
4. Федоров, А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий : учеб. для вузов / А. А. Федоров, В. В. Каменева. – М. : Высш. шк., 1984. – 567 с. : ил.
5. Федоров, А. А. Методические указания по курсовому проектированию. Внутривзаводское электроснабжение / А. А. Федоров, А. Г. Никульченко. – М. : МЭИ, 1976. – 120 с.
6. Справочник по проектированию электроснабжения / Ю. Г. Барыбин. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 200 с.
7. Неклепаев, Б. Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования / Б. Н. Неклепаев, И. П. Крючков. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 608 с. : ил.
8. Федоров, А. А. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий / А. А. Федоров, Л. Е. Старкова. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 368 с. : ил.
9. Правила устройств электроустановок. – 7-е изд. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 1999. – 656 с.
10. Стрельников, Н. А. Электроснабжение промышленных предприятий : учеб. пособие. Ч. 1 / Н. А. Стрельников. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1998. – 74 с. : ил.
11. Костюченко, Л. П. Проектирование систем сельского электроснабжения : учеб. пособие / Л. П. Костюченко; Краснояр. гос. ун-т. – Красноярск, 1999. – 144 с.
12. Ермилов, А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А. А. Ермилов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 208 с. : ил.
13. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 3350 кВ. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. – 89 с.
14. СТО 4.2-07 – 2008. Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной и научной деятельности [текст] / разработ. Т. В. Сильченко, Л. В. Белошапко, В. К. Младенцева, М. И. Губанова. – Введ. впервые 09.12.2008. – Красноярск: ИПК СФУ, 2008. – 47 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### Назначение и общая характеристика табличного процессора

Microsoft Excel – табличный процессор, программа для создания и обработки электронных таблиц. Microsoft Excel позволяет работать с таблицами в двух режимах: *обычный* – наиболее удобный для выполнения большинства операций; *разметка страниц* – удобен для окончательного форматирования таблицы перед распечаткой. Границы между страницами в этом режиме отображаются синими пунктирными линиями. Границы таблицы – сплошной синей линией, перетягивая которую, можно изменять размеры таблицы.

Как и все программы, работающие под управлением Windows, Excel имеет оконный интерфейс ([рис. П1](#)).

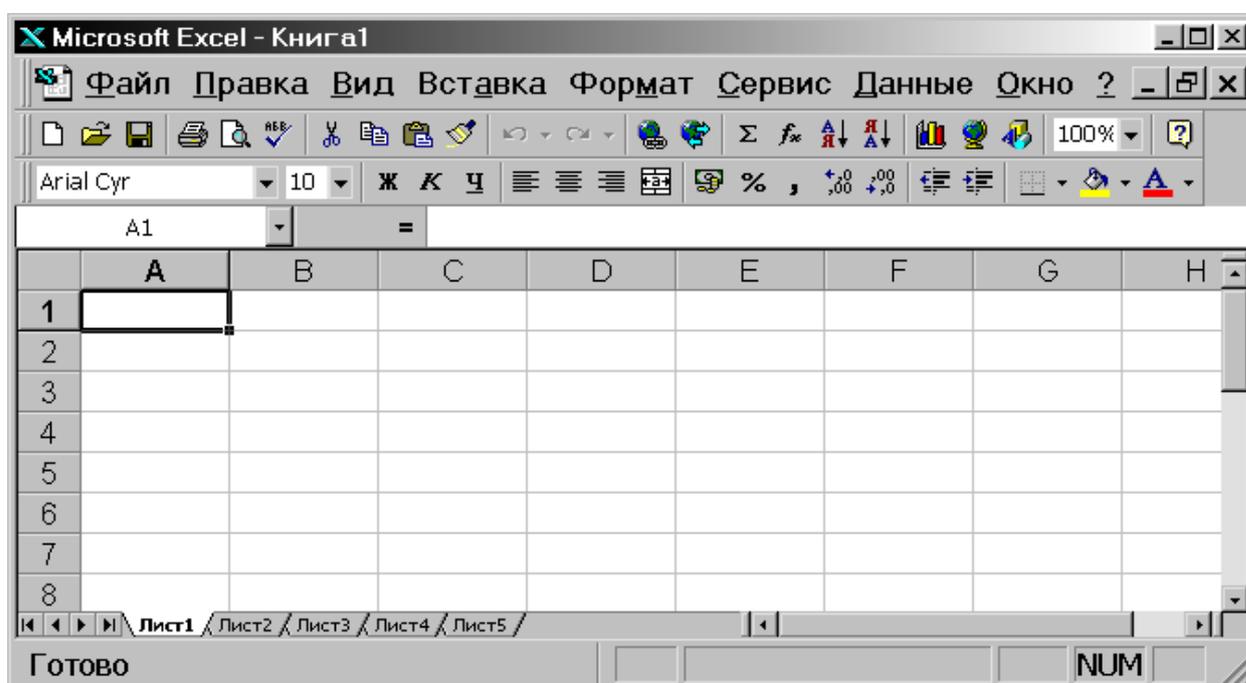


Рис. П1. Окно Microsoft Excel

В заголовке окна показано имя программы и имя рабочего файла. В терминах Excel файл называется рабочей книгой, которая может состоять из несольких листов – электронных таблиц, имена которых (*Лист 1, Лист 2, ...*) выведены на ярлыках в нижней части окна рабочей книги ([рис. П1](#)). Щелкая по ярлыкам, можно переходить от листа к листу внутри рабочей книги. Для прокручивания ярлыков используются кнопки слева от горизонтальной координатной линейки:

-  – переход к ярлыку первого листа;
-  – переход к ярлыку предыдущего листа;
-  – переход к ярлыку следующего листа;
-  – переход к ярлыку последнего листа.

Непосредственно под строкой заголовка находится главное меню, каждый из пунктов которого содержит набор команд, становящихся доступными после их выбора.

Ниже, под строкой меню, расположены две (стандартная и форматирования) или больше панели инструментов. Их количество и состав можно задавать с помощью меню *Вид. Кнопки (пиктограммы) на панелях инструментов дублируют операции, доступные и в обычных меню.*

Под панелями инструментов находится строка формул, а в нижней части окна – строка состояния.

Большую часть экрана занимает рабочий лист, то есть непосредственно электронная таблица, двумерный массив, состоящий из 256 столбцов и 65536 строк. Столбцы именуется латинскими буквами, а строки – цифрами. Каждая ячейка таблицы имеет адрес, который состоит из имени строки и имени столбца. Например, если ячейка находится в столбце F и строке 7, то она имеет адрес F7.

**Выделение элементов таблицы.** Одна из ячеек таблицы всегда является активной. Активная ячейка выделяется рамкой. Чтобы сделать ячейку активной, необходимо клавишами управления курсором подвести рамку к этой ячейке или щелкнуть в ней мышью.

Для выделения нескольких смежных ячеек необходимо установить указатель мыши в одну из ячеек, нажать левую кнопку мыши и, не отпуская ее, растянуть выделение на всю область. Для выделения нескольких несмежных групп ячеек следует выделить одну группу, нажать клавишу *Ctrl* и, не отпуская ее, выделить другие ячейки.

Чтобы выделить целый столбец или строку таблицы, необходимо щелкнуть мышью на его имени. Для выделения нескольких столбцов или строк следует щелкнуть на имени первого столбца или строки и растянуть выделение на всю область.

Для выделения нескольких листов необходимо нажать клавишу *Ctrl* и, не отпуская ее, щелкать на ярлыках листов.

**Заполнение ячеек.** Для ввода данных в ячейку необходимо сделать ее активной и ввести данные с клавиатуры. Данные появятся в ячейке и в строке редактирования (рис. П2). Для завершения ввода следует нажать *Enter* или одну из клавиш управления курсором. Процесс ввода данных закончится, и активной станет соседняя ячейка.



Рис. П2. Строка редактирования

Чтобы отредактировать данные в ячейке, необходимо:  
 сделать ячейку активной и нажать клавишу *F2* или дважды щелкнуть в ячейке мышью;  
 в ячейке появится текстовый курсор, который можно передвигать клавишами управления курсором;  
 отредактировать данные;  
 выйти из режима редактирования клавишей *Enter*.

**Внимание!** Перед выполнением любой команды Microsoft Excel следует завершить работу с ячейкой, т. е. выйти из режима ввода или редактирования.

**Отмена операций.** Для отмены последней операции над данными необходимо в меню *Правка* выбрать команду *Отменить ...* или щелкнуть кнопку . Если щелкнуть на стрелке  рядом с этой кнопкой, то откроется список операций, выполненных в текущем сеансе. Щелкнув на имени одной операции, можно отменить ее и все операции, выполненные после нее.

Чтобы вернуть последнюю отмененную операцию, следует в меню *Правка* выбрать команду *Повторить ...* или щелкнуть кнопку . Для просмотра списка отмененных операций следует щелкнуть на стрелке  рядом с этой кнопкой.

**Создание рабочей книги.** Для создания новой рабочей книги следует в меню *Файл* выбрать команду *Создать*. В открывшемся диалоговом окне (рис. П4) выбрать вкладку, а затем шаблон, на основе которого будет создана рабочая книга, после чего щелкнуть кнопку *ОК*. Обычные рабочие книги создаются на основе шаблона *Книга*. Для создания рабочей книги на основе шаблона *Книга* можно щелкнуть кнопку .

**Открытие рабочей книги.** Для открытия существующей рабочей книги необходимо в меню *Файл* выбрать команду *Открыть* или щелкнуть кнопку , после чего откроется диалоговое окно *Открытие документа*. В поле списка *Папка* следует выбрать диск, на котором находится нужная рабочая книга. В списке, расположенном ниже, выбрать (двойным щелчком) папку с книгой и саму книгу.

По умолчанию в списке выводятся только файлы с книгами Microsoft Excel, которые имеют расширение *xls* и значки на рис. П5. Для вывода других типов файлов или всех файлов необходимо выбрать соответствующий тип в поле списка *Тип файлов*.

**Сохранение рабочей книги.** Для сохранения рабочей книги необходимо вызвать команду *Сохранить* меню *Файл* или щелкнуть кнопку . При первом сохранении появляется диалоговое окно *Сохранение документа*. В поле списка *Папка* следует выбрать диск, а в списке, расположенном ниже – папку, в которой необходимо сохранить книгу. В поле списка *Тип файла* – формат, в котором будет сохранена книга. В поле *Имя файла* ввести имя книги и щелкнуть кнопку *Сохранить*.

При повторном сохранении книга автоматически сохраняется в том же

файле. Чтобы сохранить книгу под другим именем или в другой папке, следует в меню *Файл* выбрать команду *Сохранить как*, после чего появится окно *Сохранение документа*.

**Закрытие рабочей книги.** Для закрытия рабочей книги необходимо выбрать в меню *Файл* команду *Закрыть* или щелкнуть кнопку **X** окна книги.

**Завершение работы с Microsoft Excel.** Для завершения работы с Microsoft Excel необходимо закрыть окно программы.

## Работа с формулами

**Основные сведения.** Вычисления в таблицах выполняются с помощью формул. Формула может состоять из математических операторов, значений, ссылок на ячейку и имени функций. Результатом выполнения формулы есть некоторое новое значение, содержащееся в ячейке, где находится формула. Формула начинается со знака равенства " $=$ ". В формуле могут использоваться арифметические операторы  $+$ ,  $-$ ,  $*$ ,  $/$ . Порядок вычислений определяется обычными математическими законами.

Примеры формул:  $=(A4+B8)*C6$ ,  $=F7*C14+B12$ .

**Константы** – текстовые или числовые значения, которые вводятся в ячейку и не могут изменяться во время вычислений.

**Ссылка на ячейку или группу ячеек** – способ, которым указывается конкретная ячейка или несколько ячеек. Ссылка на отдельную ячейку – ее координаты. Значение пустой ячейки равно нулю.

Ссылки на ячейки бывают двух типов:

**относительные** – когда ячейки обозначаются относительным смещением от ячейки с формулой (например, F7);

**абсолютные** – когда ячейки обозначаются координатами ячеек в сочетании со знаком  $\$$  (например,  $\$F\$7$ ).

Комбинация предыдущих типов (например, F\$7).

При копировании формул относительные ссылки изменяются на размер перемещения.

Для обращения к группе ячеек используются специальные символы:

**:** (двоеточие) – формирует обращение к блоку ячеек. Через двоеточие указывается левая верхняя и правая нижняя ячейки блока. Например, C4:D6 – обращение к ячейкам C4, C5, C6, D4, D5, D6.

**;** (точка с запятой) – обозначает объединение ячеек. Например, D2:D4;D6:D8 – обращение к ячейкам D2, D3, D4, D6, D7, D8.

Для ввода формулы в ячейку следует ввести знак " $=$ " и формулу для вычисления. После нажатия клавиши *Enter* в ячейке появится результат вычисления. При выделении ячейки, содержащей формулу, формула появляется в строке редактирования.

**Функции.** Функциями в Microsoft Excel называют объединения нескольких вычислительных операций для решения определенной задачи. Функции в Microsoft Excel представляют собой формулы, которые имеют

один или несколько аргументов. В качестве аргументов указываются числовые значения или адреса ячеек.

Например:

=СУММ(A5:A9) – сумма ячеек A5, A6, A7, A8, A9;

=СРЗНАЧ(G4:G6) – среднее значение ячеек G4, G5, G6.

Функции могут входить одна в другую, например:

=СУММ(F1:F20)ОКРУГЛ(СРЗНАЧ(H4:H8);2);

Для введения функции в ячейку необходимо:

выделить ячейку для формулы;

вызывать *Мастер функций* с помощью команды *Функция* меню *Вставка* или кнопки ;

в диалоговом окне *Мастер функций* (рис. ПЗ), выбрать тип функции в поле *Категория*, затем функцию в списке *Функция*;

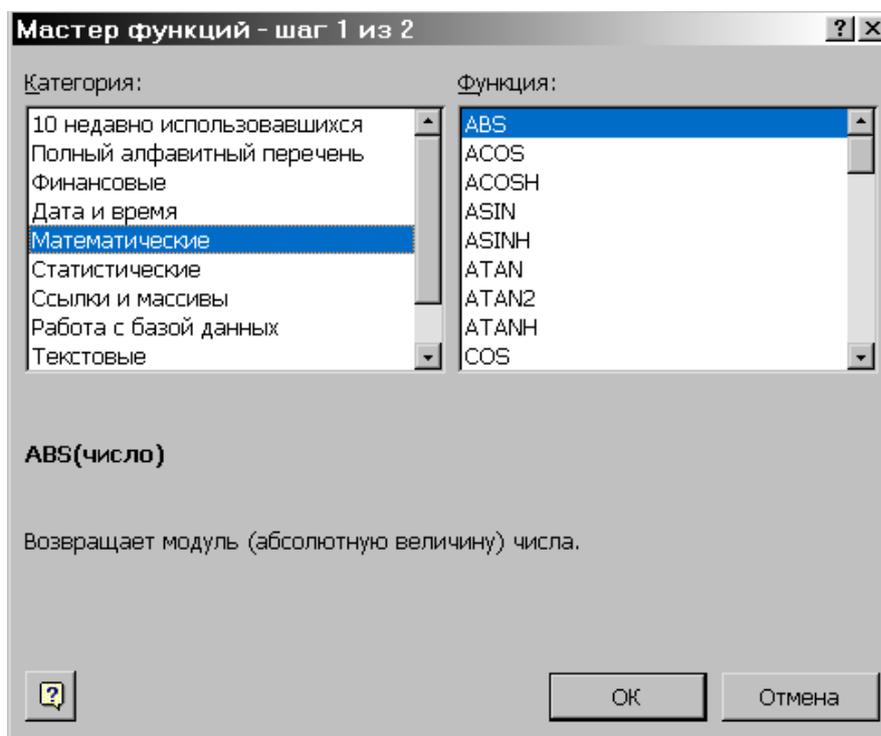


Рис. ПЗ. Окно *Мастер функций*

щелкнуть кнопку *OK*;

в полях *Число1*, *Число2* и др. следующего окна ввести аргументы функции (числовые значения или ссылки на ячейки);

чтобы указать аргументы, можно щелкнуть кнопку , находящуюся справа от поля, и выделить мышью ячейки, содержащие аргументы функции.

Для выхода из этого режима следует щелкнуть кнопку , которая находится под строкой формул;

щелкнуть *OK*.

Вставить в ячейку функцию суммы *СУММ* можно с помощью кнопки .

**Массивы формул.** Массивы формул удобно использовать для введения однотипных формул и обработки данных в виде таблиц. Например, для вычисления модуля от чисел, размещенных в ячейках B1, C1, D1, E1, вместо ввода формул в каждую ячейку можно ввести одну формулу – массив для

всех ячеек. Microsoft Excel добавляет вокруг массива формул фигурные скобки { }, по которым его можно отличить.

Для создания массива формул необходимо:

выделить ячейки, в которых должен находиться массив формул (рис. П4);  
ввести формулу обычным способом, указав в качестве аргументов группу ячеек-аргументов;

в последнем окне вместо кнопки *OK* нажать комбинацию клавиш *Ctrl+Shift+Enter*.

Для редактирования массива формул необходимо:

выделить ячейки, в которых находится массив;  
щелкнуть мышью внутри строки редактирования и отредактировать формулу;

нажать комбинацию клавиш *Ctrl+Shift+Enter*.

E2		={ABS(B1:E1)}			
	A	B	C	D	E
1	число	-45,85	3,45	-12,4	-112,5
2	модуль	45,85	3,45	12,4	112,5

Рис. П4. Выделение ячеек

**Сообщения об ошибках.** Если формула в ячейке не может быть правильно вычислена, Microsoft Excel выводит в ячейку сообщение об ошибке. Если формула содержит ссылку на ячейку, которая содержит значения ошибки, то вместо этой формулы также будет выводиться сообщение об ошибке. Значение сообщений об ошибках следующее:

- ####** – ширина ячейки не позволяет отобразить число в заданном формате;
- #ИМЯ?** – Microsoft Excel не смог распознать имя, использованное в формуле;
- #ДЕЛ/0!** – в формуле делается попытка деления на нуль;
- #ЧИСЛО!** – нарушены правила задания операторов, принятые в математике;
- #Н/Д** – такое сообщение может появиться, если в качестве аргумента задана ссылка на пустую ячейку;
- #ПУСТО!** – неверно указано пересечение двух областей, которые не имеют общих ячеек;
- #ССЫЛКА!** – в формуле задана ссылка на несуществующую ячейку;
- #ЗНАЧ!** – использован недопустимый тип аргумента.

## Операции с элементами таблицы

**Вставка элементов таблицы.** Для вставки ячеек следует выделить ячейки, на месте которых будут вставлены новые, и вызвать команду *Ячейки* из меню *Вставка*. В появившемся диалоговом окне (рис. П5) выбрать тип вставляемого элемента. Щелкнуть *OK*.

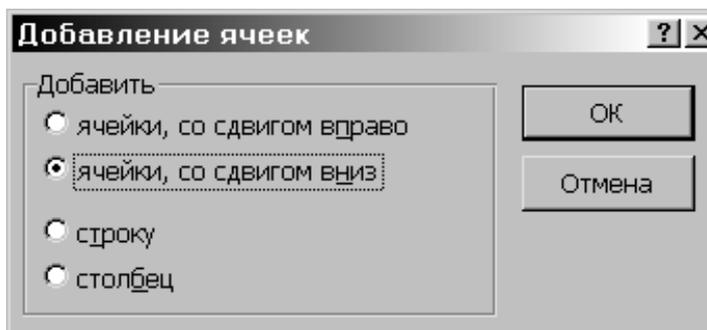


Рис. П5. Окно *Добавление ячеек*

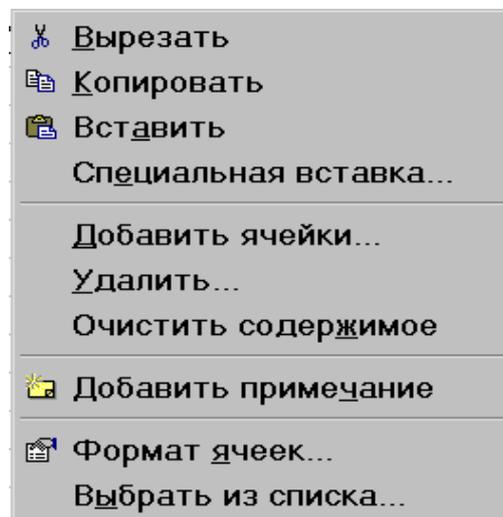


Рис. П6. Контекстное меню

Для вставки строк или столбцов необходимо выделить строки или столбцы, на месте которых будут вставлены новые, затем выбрать *Вставка* → *Строки* (*Столбцы*).

Щелчок правой клавишей мыши на любом объекте таблицы вызывает контекстное меню, содержащее команды для обработки данного объекта (рис. П6).

**Удаление элементов таблицы.** Для удаления элементов таблицы следует выделить их и в меню *Правка* выбрать команду *Удалить*. Столбцы и строки удаляются без запросов, а при удалении ячеек появляется диалоговое окно, в котором необходимо выбрать вариант удаления элемента.

**Удаление содержимого элементов таблицы.** Для удаления содержимого ячеек без удаления их самих следует выделить группу ячеек, которые необходимо очистить, затем выбрать:

- Очистить *Правка* → Все (очистить все) → *OK*.
- Форматы (формат ячеек по умолчанию).
- Содержимое (очистка только содержимого ячеек).
- Примечание (очистка ячеек от примечаний).

Для удаления только содержимого ячеек также можно выделить их и нажать клавишу *Delete*.

**Копирование и перемещение данных.** Для перемещения и копирования содержимого ячеек используется буфер промежуточного хранения информации (*Clipboard*), позволяющий перемещать данные как в пределах таблицы, так и в другие Windows-программы.

Для копирования содержимого ячеек необходимо:

1. Выделить ячейки, содержимое которых следует скопировать, затем выбрать *Правка* → *Копировать* (или щелкнуть кнопку , вокруг группы ячеек появится пунктирная линия, указывающая, что фрагмент помещен в буфер).

2. Выделить ячейки, в которые следует вставить данные, затем выбрать *Правка* → *Вставить* (или щелкнуть кнопку ). Фрагмент из буфера копируется в указанное место.

При копировании ячеек, содержащих формулы с относительными ссылками, координаты ячеек аргументов изменяются автоматически. Например, при копировании формулы =A1+A2 из ячейки A3 в ячейку B3 ее содержимое изменится на =B1+B2. Эта формула, как и ранее, вычисляет сумму двух ячеек слева от ячейки с формулой. При копировании ячеек, содержащих формулы с абсолютными ссылками, адреса ячеек-аргументов не изменяются.

Для перемещения содержимого ячеек необходимо:

1. Выделить ячейки, содержимое которых необходимо переместить, затем выбрать *Правка* → *Вырезать* (или щелкнуть кнопку ).

2. Выделить левую верхнюю ячейку области, в которую необходимо вставить фрагмент, затем выбрать *Правка* → *Вставить* (или щелкнуть кнопку ). Фрагмент из буфера будет вставлен в указанное место.

При перемещении ячеек, содержащих формулы, координаты ячеек аргументов не изменяются. Например, при перемещении формулы =A1+A2 из ячейки A3 в ячейку B3 формула останется =A1+A2.

**Операции с листами рабочих книг.** Для переименования листа необходимо выполнить двойной щелчок на его ярлыке и ввести новое имя. Его длина не должна превышать 31 символ и не может содержать следующие символы: \, /, ?, \*, :, [ , ] , ).

Для копирования или перемещения листов рабочей книги необходимо:

открыть рабочую книгу-источник, листы которой необходимо скопировать, и рабочую книгу-приемник;

выбрать лист, который нужно скопировать;

выбрать команду *Переместить/скопировать лист* меню *Правка*;

в поле *В книгу* ([рис. П1.](#)) следует выбрать рабочую книгу-приемник (для того, чтобы переместить листы в середине рабочей книги, необходимо выбрать имя текущей рабочей книги);

в поле *Перед листом* следует выбрать лист, перед которым необходимо вставить перемещаемый лист;

для копирования листа необходимо установить флажок *Создавать копию*;

щелкнуть кнопку *ОК*.

Нажатие правой клавишей мыши на ярлыке листа вызывает контекстное меню для листа ([рис. П8](#)).

Для перемещения листа в пределах одной рабочей книги можно перетянуть его ярлык на ярлык того листа, перед которым его необходимо вставить. Если при этом нажимать клавишу *Ctrl*, то лист будет скопирован.

Для удаления листа необходимо сделать его активным и в меню *Правка* выбрать команду *Удалить лист*.

Для вставки листа следует сделать активным лист, на месте которого будет вставлен новый, и выбрать команду *Лист* меню *Вставка*.

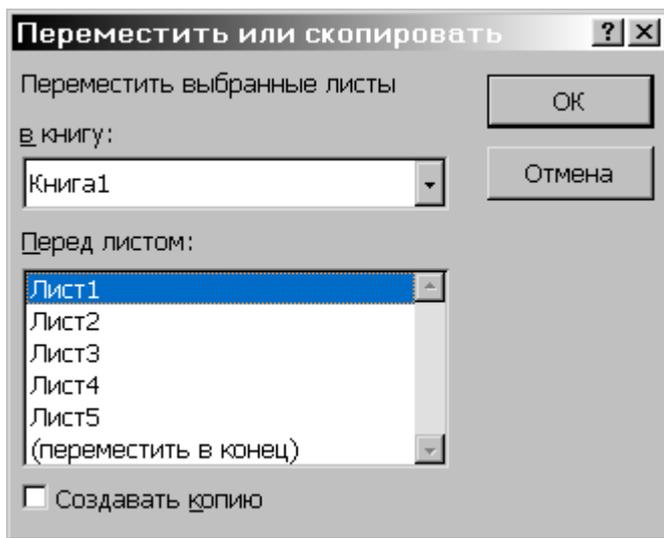


Рис. П7. Окно Переместить или скопировать

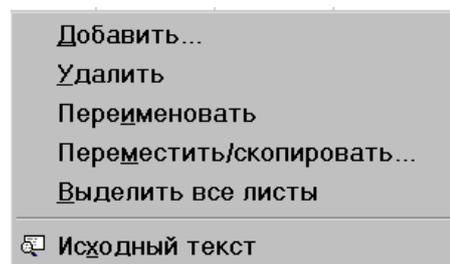


Рис. П8. Контекстное меню для листа

## Формат данных

**Изменение размеров строк и столбцов.** По умолчанию ячейки имеют стандартную ширину и высоту. Высота строки определяется размером шрифта. Для изменения высоты строки или ширины столбца можно перетянуть границу заголовка до необходимого значения (на границе заголовка указатель мыши примет вид двунаправленной стрелки), [рис. П9](#). Для изменения размеров сразу нескольких столбцов или строк следует их выделить и перетянуть границу заголовка одного из выделенных элементов. Если на границе заголовков столбцов дважды щелкнуть мышью, то ширина столбца установится по ширине ячейки с самым длинным содержимым.

Команда *Автоподбор ширины (высоты)* в меню *Формат* пункт *Столбец (Строка)* устанавливает ширину столбца (высоту строки) по ширине (высоте) ячейки с самым длинным содержимым. Команда *Стандартная ширина (высота)* предлагает изменить стандартную ширину (высоту) для столбцов (строк) рабочего листа.

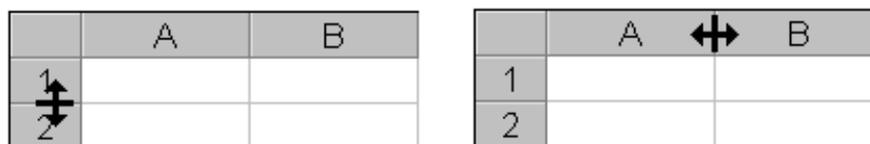


Рис. П9. Изменение размеров ячейки

Чтобы спрятать строки или столбцы необходимо:  
 выделить строки или столбцы, которые следует спрятать;  
 выбрать в меню *Формат* команду *Строка* или команду *Столбец* соответственно, затем выбрать команду *Скрыть*.

Чтобы спрятать строку, можно перетянуть нижнюю границу заголовка строки за верхнюю границу. Чтобы спрятать столбец, можно перетянуть правую границу заголовка столбца за левую. Утолщенная рамка строки или столбца, а также пропущенная буква столбца или пропущенный номер строки указывают на наличие скрытых строк или столбцов.

Чтобы показать строки или столбцы, необходимо:  
 выделить строки или столбцы с обеих сторон скрытой строки или столбца;

в меню *Формат* выбрать команду *Строка* или *Столбец*, затем выбрать команду *Отобразить*.

Чтобы показать строку, можно установить указатель мыши сразу под утолщенной границей заголовка строки (указатель мыши примет вид ) и перетянуть ее вниз. Чтобы показать столбец, следует установить указатель мыши вплотную справа от утолщенной границы заголовка столбца (указатель мыши будет иметь вид ) и перетянуть ее вправо.

**Формат чисел.** Каждое число в таблице можно представить в разных форматах (с различным количеством десятичных позиций, незначащих нулей и пр.). Для изменения формата содержимого ячейки необходимо выделить ячейки → *Формат* → *Ячейки* (откроется диалоговое окно *Формат ячеек* (рис. А9) → вкладка *Число* → в списке *Числовые форматы* выбрать тип формата содержимого ячейки (поле *Образец* будет отображать пример содержимого ячейки в выбранном формате) → *ОК*.

## Оформление таблиц

Таблицы в Microsoft Excel можно обрaмить рамкой и заполнить различными цветами. Для обрaмления необходимо:

выделить ячейки, которые необходимо обрaмить, → в меню *Формат*, выбрать команду *Ячейки* →, выбрать вкладку *Граница* (рис. П10) →, в поле *Тип линии* выбрать тип линии рамки →, в списке *Цвет* – цвет линии → для обрaмления выделенных ячеек извне следует щелкнуть кнопку *Внешние* →, для обрaмления внутренних границ ячеек следует щелкнуть кнопку *Внутренние* →, для снятия обрaмления выделенных ячеек следует щелкнуть кнопку *Нет* →, с помощью группы кнопок *Отдельные* можно устанавливать и убирать отдельные линии. Это также можно делать щелчком мыши в образце обрaмления, представленного в окне, → щелкнуть *OK*.

Создавать рамки можно также с помощью скрытого списка *Границы*



выделить ячейки, которые необходимо обрaмить;  
щелкнуть на стрелке рядом с кнопкой *Границы*;  
выбрать тип обрaмления в палитре рамок.

Выбранный тип обрaмления можно применить и для других ячеек, выделив эти ячейки и щелкнув на кнопке *Границы*. Для удобства использования палитру рамок можно вытянуть за заголовок с панели инструментов.

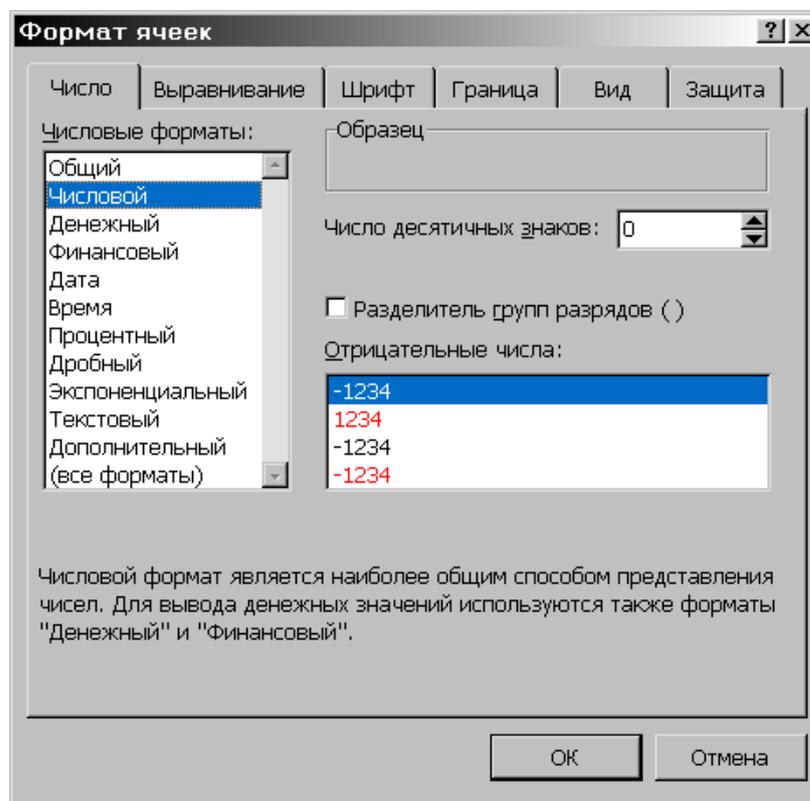


Рис. П10. Окно *Формат ячеек (число)*

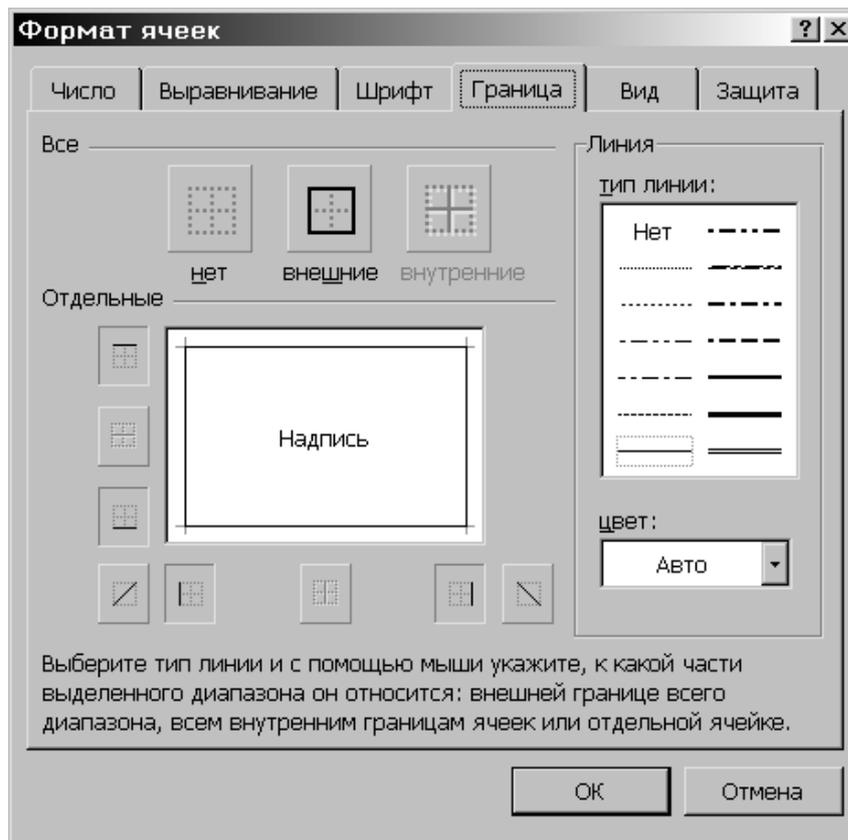


Рис. П11. Окно *Формат ячеек (граница)*

### Работа с окнами

**Фиксация подокон.** Иногда необходимо зафиксировать одну часть таблицы. Например, зафиксировать заголовок таблицы, чтобы он всегда присутствовал на экране. Для фиксации только вертикальных или только горизонтальных заголовков следует:

- выделить строку ниже заголовков, чтобы зафиксировать горизонтальные заголовки;

- выделить столбец справа от заголовков, чтобы зафиксировать вертикальные заголовки;

- в меню *Окно* выбрать команду *Закрепить области*.

Для фиксации и вертикальных, и горизонтальных заголовков необходимо:

- выделить ячейку, по которой следует зафиксировать заголовки (все строки выше выделенной ячейки и все столбцы слева от выделенной ячейки будут зафиксированы);

- в меню *Окно* выбрать команду *Закрепить области*.

Если разделить окно до фиксации подокон, они зафиксируются по их текущему месту, а не по активной ячейке.

Отменяется фиксация окон и подокон командой *Снять закрепление областей* меню *Окно*.

## Печать таблиц

Перед распечаткой таблиц необходимо установить параметры страницы с помощью команды *Параметры страницы* меню *Файл*. Во вкладке *Страница* (рис. П12) устанавливается ориентация и размер листа бумаги, масштаб изображения и качество печати.

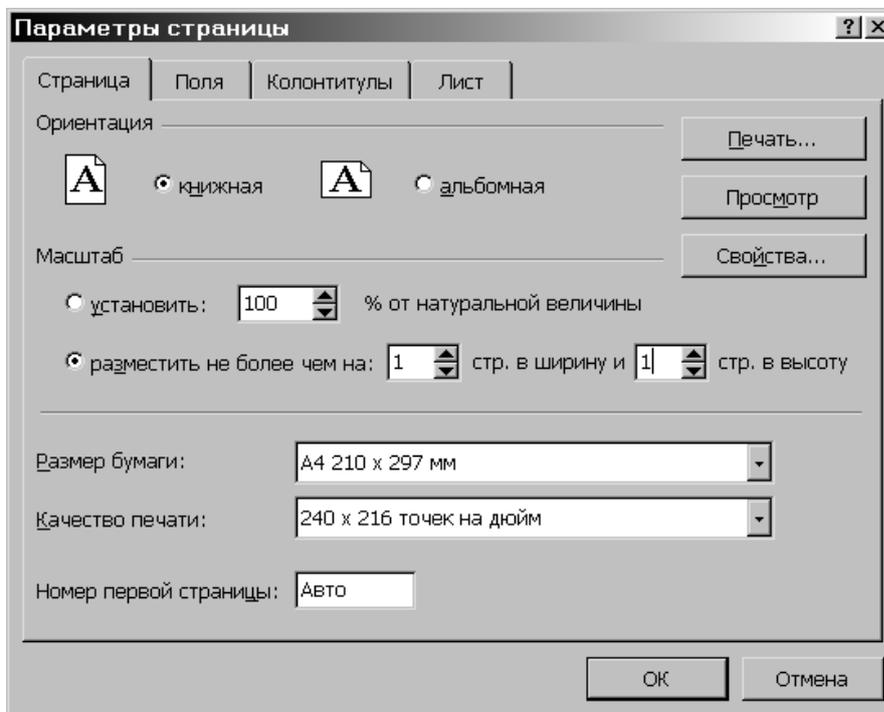


Рис. П12. Окно *Параметры страницы* (страница)

В рамке *Ориентация* устанавливается ориентация листа: книжная – вертикальное расположение листа бумаги; альбомная – горизонтальное расположение.

Если включен переключатель *Установить*, то таблица будет распечатана в масштабе, указанном в поле справа (без изменения размера листа на экране).

Если включить переключатель *Разместить не более чем на*, то таблица или выделенная область будет уменьшена настолько, чтобы разместиться на количестве страниц, указанном в полях *стр. в ширину* и *стр. в высоту*.

В поле *Размер бумаги* выбирается формат листа бумаги, а в поле *Качество печати* – разрешающая способность принтера.

Для установления полей страницы следует выбрать вкладку *Поля* и в полях верхнее, нижнее, левое и правое ввести значения полей. В полях верхнего колонтитула и нижнего колонтитула выбирается расстояние от верхнего края листа до верхнего колонтитула и нижнего края листа до нижнего колонтитула соответственно.

Для ввода колонтитулов используется вкладка *Колонтитулы*. Содержимое колонтитулов или выбирается в полях списка *верхний колонтитул* и *нижний колонтитул*, или вводится после нажатия кнопок *Создать верхний колонтитул* и *Создать нижний колонтитул*.

После установления всех параметров в окне *Параметры страницы* необходимо щелкнуть кнопку *ОК*.

Для просмотра таблицы перед печатью используется команда *Предварительный просмотр* меню *Файл* или кнопка . В этом режиме, чтобы увеличить изображение, следует привести указатель мыши, который примет вид лупы, на интересующий фрагмент и щелкнуть кнопку мыши. Следующий щелчок кнопки мыши отдаляет изображение. Выйти из режима предварительного просмотра можно с помощью кнопки *Закреть* или клавиши *Esc*.

Для распечатки таблицы необходимо в меню *Файл* выбрать команду *Печать*. В диалоговом окне *Печать* (рис. П13) в поле списка *Имя* следует выбрать принтер, если возможно печатать на нескольких принтерах.

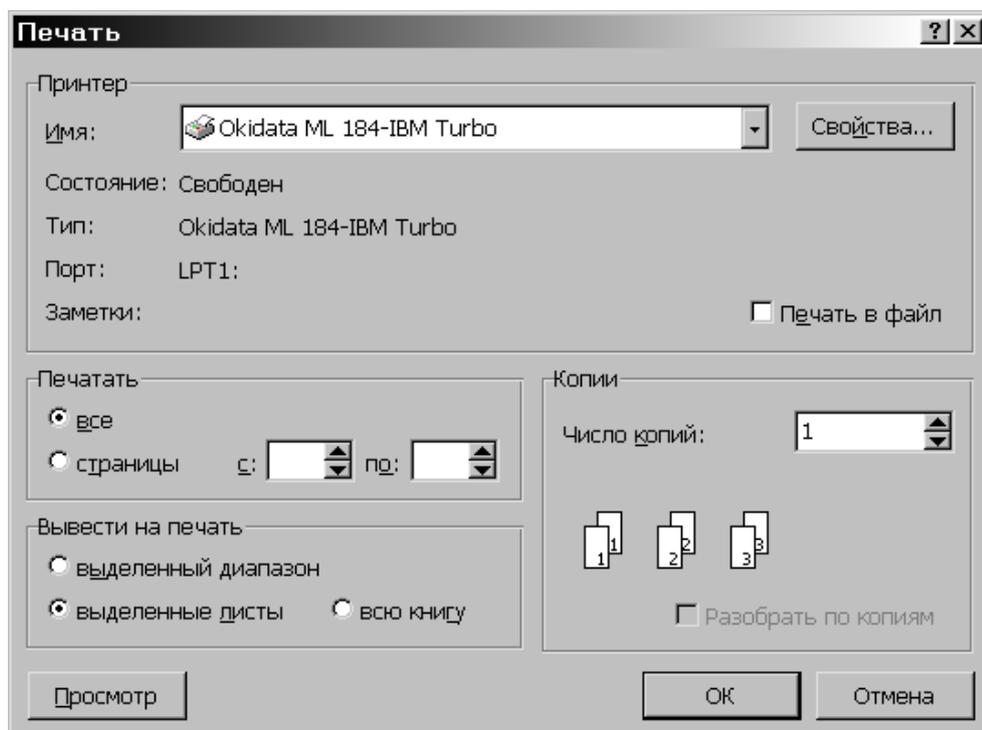


Рис. П13. Окно *Печать*

В рамке *Печатать* диалогового окна *Печать* указываются страницы, которые будут напечатаны:

*все* – все страницы;

*страницы* – только страницы, указанные в полях *с* и *по*.

В рамке *Вывести на печать* выбирается объект печати:

*выделенный диапазон* – печатать только выделенную область;

*выделенные листы* – печатать выделенные листы (для выделения двух и больше листов необходимо щелкать мышью на их ярлыки при нажатой клавише *Ctrl*);

*всю книгу* – распечатка всей рабочей книги.

В поле *Число копий* указывается количество копий. Чтобы распечатать целиком первую копию, затем вторую и т. д., следует включить флажок *разобрать по копиям*.

Чтобы напечатать одну копию активных листов, достаточно щелкнуть кнопку .

### Пример расчета

Исходные данные ( $P_H$ ,  $K_C$ ,  $\cos\phi$ ,  $F$ ,  $P_{уд.0}$ ) для расчета электрических нагрузок заносятся в электронную таблицу на лист 1 (как указано на [рис. П1](#)); для расчета центра электрических нагрузок – на лист 2 той же книги (как указано на [рис. П2](#)). При этом следует различать текстовые и числовые значения. Все используемые числовые значения (числа) необходимо вводить в отдельные ячейки электронной таблицы для того, чтобы в дальнейшем эти значения могли участвовать в расчетах. По известным формулам расчета подсчитываем искомые величины для каждого объекта проектируемого предприятия.

Студентам необходимо все расчеты производить в электронной таблице с помощью формул, которые вводятся в соответствующие ячейки и при необходимости ссылаются на ячейки с исходными данными. Производимый подсчет облегчается тем, что используемые для расчета формулы вводятся с клавиатуры только в одну из строк таблицы ([рис. П1](#)). Затем следует произвести копирование используемых формул в блок ячеек. После чего вся таблица заполнится результатами расчетов.