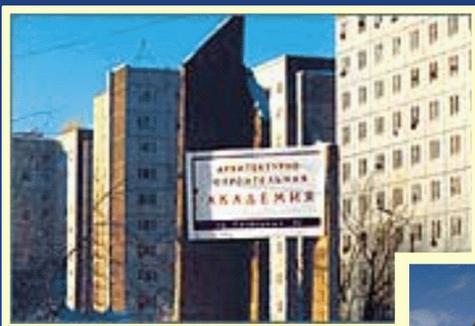


# ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования



## Сибирский федеральный университет Институт инженерной физики и радиоэлектроники



Красноярск, 2008



# Электроснабжение

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. Презентационные материалы. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: наглядное пособие / Л. С. Синенко, Е. Ю. Сизганова, Ю. П. Попов. – Электрон. дан. (16 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; 16 Мб свободного дискового пространства; привод *DVD*; операционная система *Microsoft Windows 2000 SP 4 / XP SP 2 / Vista* (32 бит); *Microsoft PowerPoint 2003* или выше.

ISBN 978-5-7638-1387-6 (комплекса)

ISBN 978-5-7638-1388-3 (пособия)

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

Номер гос. регистрации в ФГУП НТЦ «Информрегистр» 0320802705 от 20.12.2008 г. (пособия)

Настоящее издание является частью электронного учебно-методического комплекса по дисциплине «Электроснабжение», включающего учебную программу, конспект лекций, учебное пособие по курсовому проектированию, 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».

Представлена презентация (в виде слайдов) теоретического курса «Электроснабжение».

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

© Сибирский федеральный университет, 2008

Рекомендовано к изданию Инновационно-методическим управлением СФУ

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 16 Мб

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

# Оглавление

- **Раздел 1**

Тема 1.1. Электрическое хозяйство потребителей электроэнергии

Тема 1.2. Уровни (ступени) системы электроснабжения

Тема 1.3. Потребление электроэнергии и электрические нагрузки

Тема 1.4. Выбор схем, напряжений и схем присоединения промышленных предприятий к субъектам электроэнергетики

Тема 1.5. Схемы и конструктивное исполнение главных понизительных и распределительных подстанций

Тема 1.6. Схемы электроснабжения в сетях напряжением до 1 кВ переменного и до 1,5 кВ постоянного тока

Тема 1.7. Транспорт (канализация) электрической энергии

# Оглавление

- **Раздел 2**
  - Тема 2.1. Выбор сечений проводов и жил кабелей
  - Тема 2.2. Расчет токов короткого замыкания
  - Тема 2.3. Выбор аппаратов и токоведущих устройств в электрических установках
  - Тема 2.4. Шины и шинопроводы в системах электроснабжения
  - Тема 2.5. Установки наружного и внутреннего освещения
  - Тема 2.6. Защитные методы электробезопасности

# Оглавление

- Раздел 3

- Тема 3.1. Пуск и самозапуск электрических двигателей

- Тема 3.2. Качество электрической энергии

- Тема 3.3. Компенсация реактивной мощности

- Тема 3.4. Организация электропотребления

- Тема 3.5. Энергосбережение на промышленных предприятиях

- Тема 3.6. Инвестиционное проектирование объектов электрики

- Тема 3.7. Рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов

## Тема 1.1

# Электрическое хозяйство потребителей электроэнергии (2 часа)

# Научные картины мира

Первая картина	Вторая картина	Третья картина
Постулаты		
Классические (физические) К-постулаты	Вероятно–статистические В-постулаты	Ценологические (технетические) Т-постулаты
<p><b>1К.</b> Справедливы принцип относительности, принцип невозможности: в момент создания два одинаковых продукта – изделия (особи одного вида), изготовленные на одной технике, по одной технологии, из одинаковых материалов, неразличимы в пределах паспортных характеристик вида, в том числе и по экологическому воздействию (отходам)</p>	<p><b>1В.</b> Существует вероятность события как число, связанное с этим событием так, что вероятности в теоретическую модель входят в качестве свободных параметров, и можно говорить о численной практической достоверности, которая законом больших чисел и центральной предельной теоремой определяет различие или неразличимость особей (объектов) одного вида и разных</p>	<p><b>1Т.</b> Может быть предложено достаточно много систем отсчета, относительно которых два ценоза могут быть равноправны и неравноправны, а сами системы различны по объективности знания, фиксируемого документально и онтологически отражающего физическую, биологическую, технетическую, информационную, социальную реальности</p>

# Научные картины мира

Продолжение таблицы

Первая картина	Вторая картина	Третья картина
<b>Постулаты</b>		
Классические (физические) <i>K</i> -постулаты	Вероятно–статистические <i>B</i> -постулаты	Ценологические (технетические) <i>T</i> -постулаты
<b>2К.</b> Изделие – вид (действующая техника, применяемая технология, используемые материалы, выпускаемая продукция, возникающие отходы) полностью и однозначно определяется конечным набором параметров в рассматриваемый момент времени	<b>2В.</b> Параметры ряда изделия одного вида определяются законом распределения (в пределе – нормальным) так, что при состоятельной, несмещённой и эффективной оценке и принятой доверительной вероятности существуют и вычислимы математическое ожидание (среднее) и дисперсия (или среднее квадратичное отклонение – ошибка)	<b>2Т.</b> Состояние ценоза в любой фиксируемый момент времени не определимо любой наперёд заданной системой показателей тождественно точно: чем больше параметров и точнее каждый из них конвенционно определяется, тем менее точно для каждого момента времени описывается ценоз

# Научные картины мира

Продолжение таблицы

Первая картина	Вторая картина	Третья картина
<b>Постулаты</b>		
Классические (физические) <i>К</i> -постулаты	Вероятно–статистические <i>В</i> -постулаты	Ценологические (технетические) <i>Т</i> -постулаты
<b>ЗК.</b> Пространство безгранично, абсолютно, однородно и изотропно, а время выражает длительность бытия; уравнения механики Ньютона и электродинамики Максвелла - обратимы	<b>ЗВ.</b> Пространство может быть любой вычислительно-приемлемой размерности и любой геометрии, а время – лишь поставленная наблюдателем метка события, связанная или не связанная с реальным временем, но характеризующая последовательность смены состояний или длительность чего-либо	<b>ЗТ.</b> Для ценозов существует направленность развития в ограниченном неоднородном евклидовом пространстве и феноменологическом времени, концептуально исключающая обратимость, абсолютность времени и его однородность

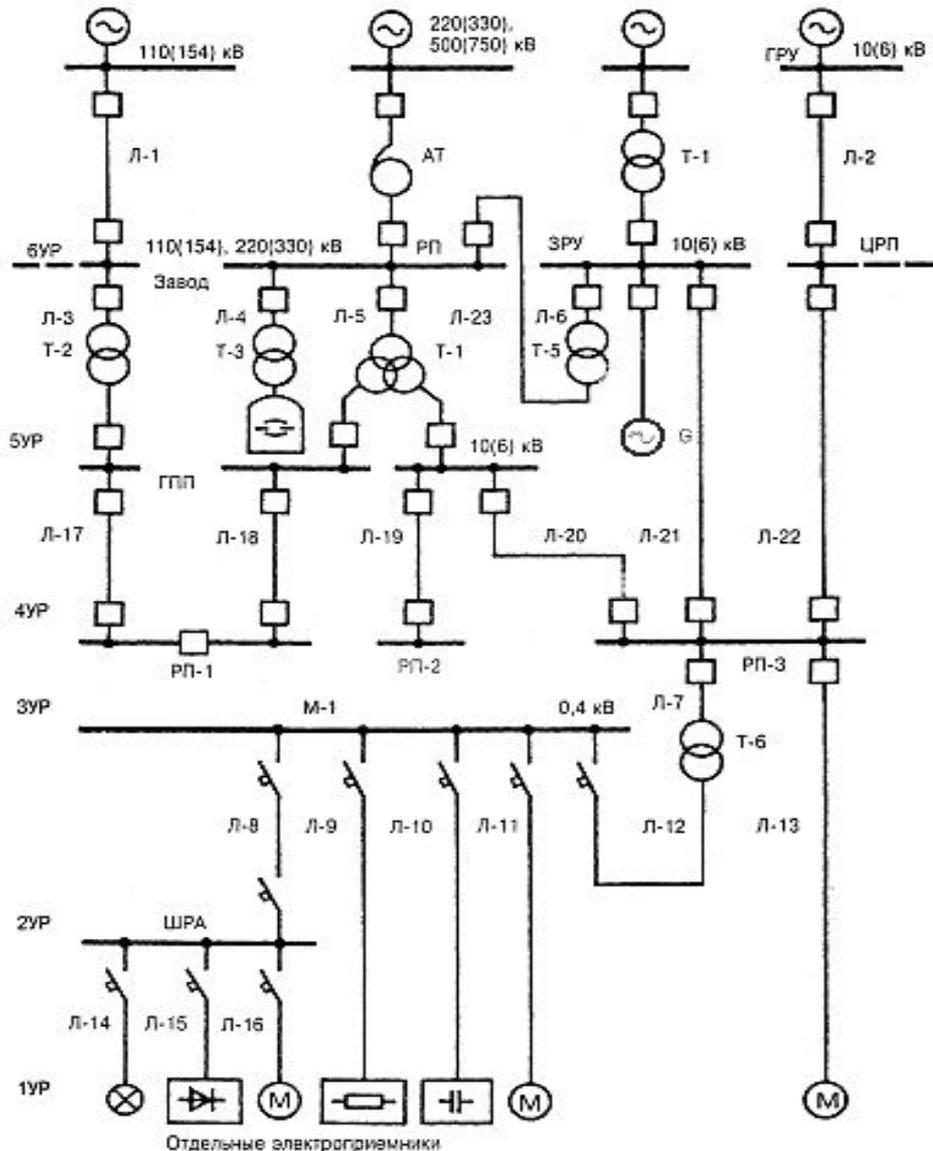
# Научные картины мира

Абстрактные (идеальные) объекты исследования и управления		
Тела (поля) и движение (траектории)	Процессы и системы	Ценозы и структуры
Узловые точки научно-технического прогресса		
НОКР и изготовление (создание) единичных техники, технологии, материала, конечной продукции, порождение выбросов (экологическое воздействие)	Инвестиционное проектирование и построение (создание) объектов отраслей экономики (производство, услуги, потребление), включая обустройство проживания на основе неприродного	Информационный отбор НИОКР и изделий, инвестиционных проектов и функционирующих ценозов на основе тотальной оценки каждого технетического, информационного, социального индивида и каждого решения как вида
Преимущественная область действия в науке и практике применения электричества и математический аппарат		
Электротехника	Электроэнергетика	Электрика
Единичные электротехнические изделия, комплексы и конечные электрические цепи; дифференциальное и интегральное исчисление, механика Ньютона и электродинамика Максвелла, принцип наименьшего действия в математической форме Лагранжа и Гамильтона	Электрические сети и системы, режимы, оценка устойчивости; теория вероятностей и математическая статистика, кибернетика, теория больших или сложных систем, системный анализ, исследование операций, технический анализ; многокритериальная оптимизация	Электрическое хозяйство, электротехническое и электроэнергетическое обеспечение с оценкой электросбережения; гиперболические $H$ -распределения, фрактальная геометрия, ценологический анализ, ограничения самоорганизации, структурно-топологическая оптимизация

## Тема 1.2

# Уровни (ступени) системы электрообеспечения (1 час)

Подстанции и ТЭЦ энергосистемы



**Первый уровень (1УР)** – отдельный электроприемник;

**второй уровень (2УР)** – щиты распределительные и распределительные пункты напряжением до 1 кВ переменного и до 1,5 кВ постоянного тока, щиты управления и щиты станций управления, шкафы силовые, вводно-распределительные устройства, установки ячейкового типа, шинные выводы, сборки, магистрали;

**третий уровень (3УР)** – щит низкого напряжения трансформаторной подстанции 10(6)/0,4 кВ или сам трансформатор;

**четвертый уровень (4УР)** – шины распределительной подстанции РП 0(6) кВ;

**пятый уровень (5УР)** – шины главной понизительной подстанции, подстанции глубокого ввода, опорной подстанции района;

**шестой уровень (6УР)** – граница раздела предприятия и энергоснабжающей организации

К **I категории** относят электроприемники, для которых характерно опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству, повреждение дорогостоящего основного оборудования, массовый брак продукции, расстройство сложного технологического процесса, нарушение функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства.

Во **II категорию** входят электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит к массовому недоотпуску продукции, массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта, нарушению нормальной деятельности значительного числа городских и сельских жителей.

К **III категории** относят все остальные электроприемники, не подходящие под определения I и II категорий

## Тема 1.3

# Потребление электроэнергии и электрические нагрузки (2 часа)

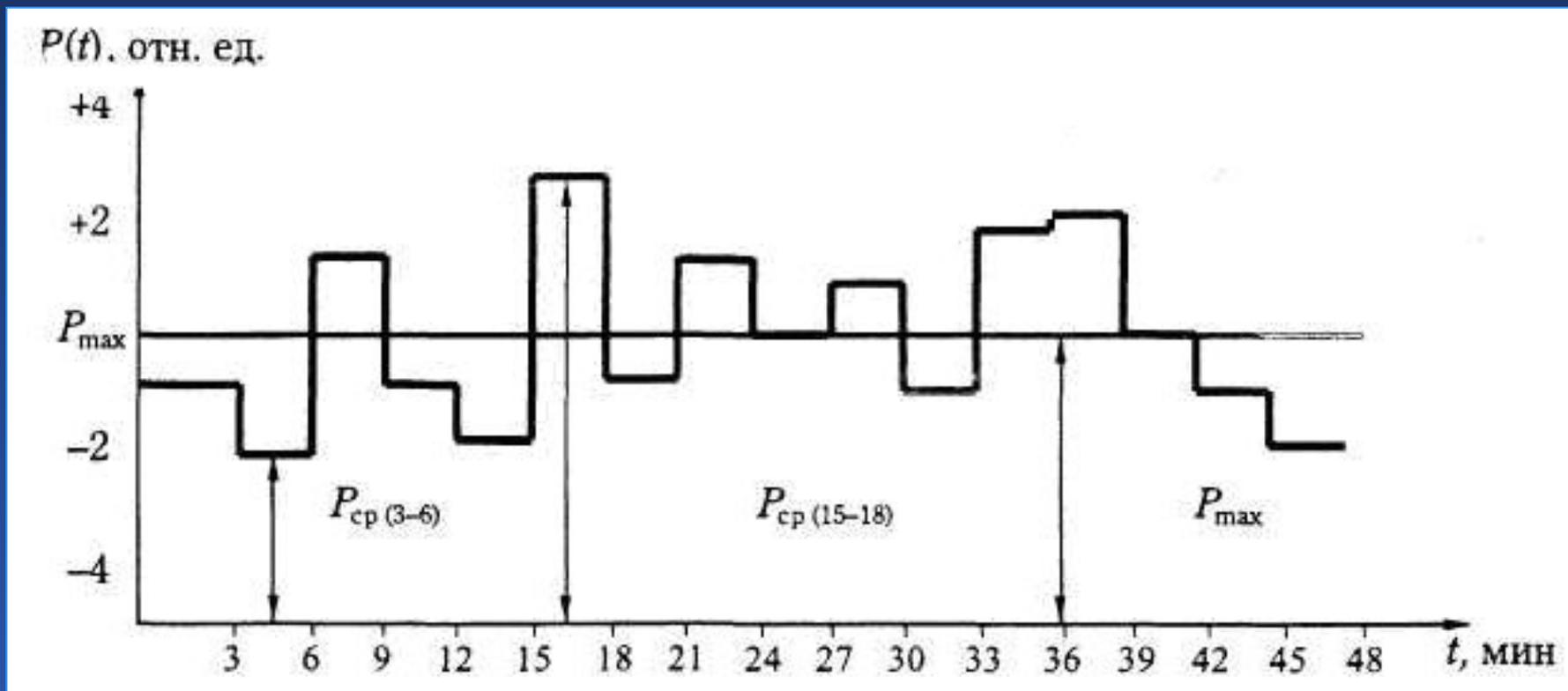
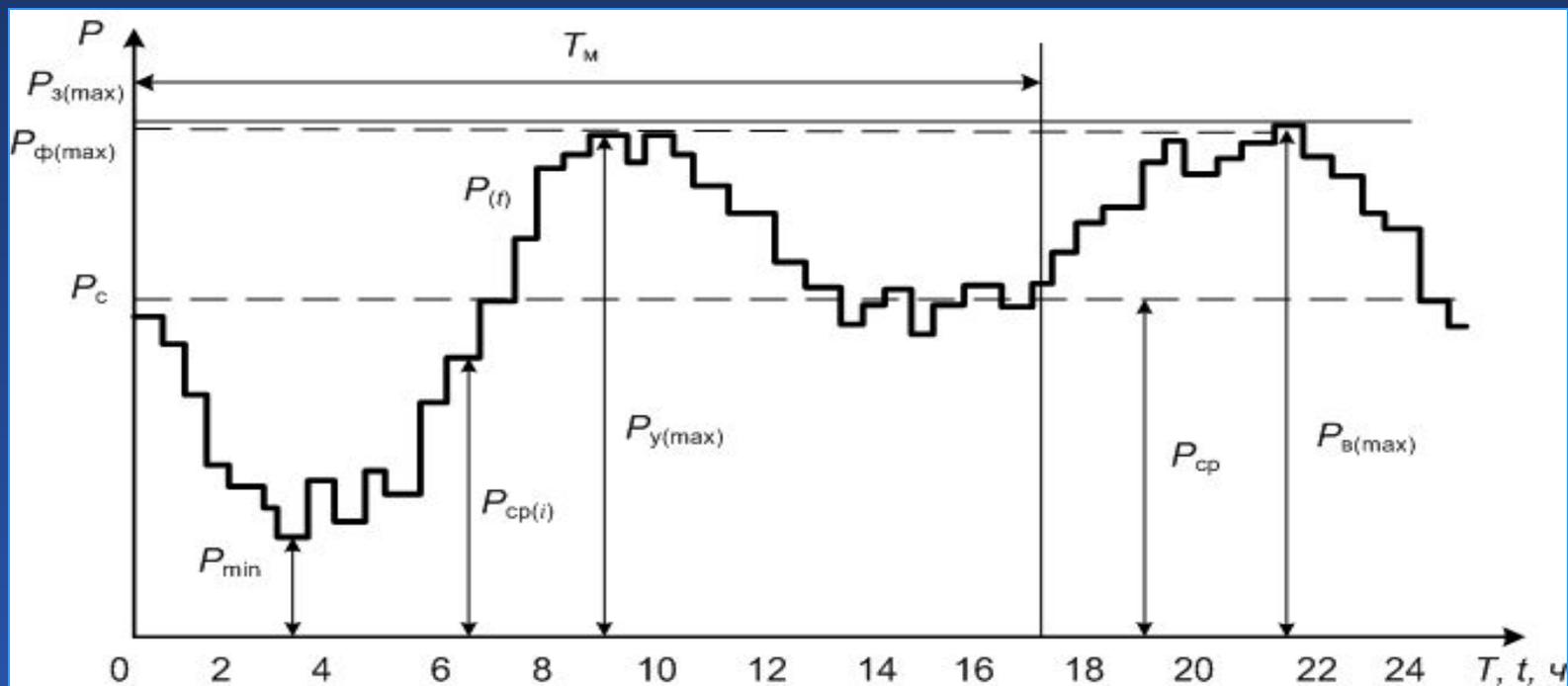


График нагрузки  $P = f(t)$  с интервалом осреднения  $\Delta t = 3$  мин:

$P_{\text{ср}(3-6)}$ ,  $P_{\text{ср}(15-18)}$  – усредненные (средние) нагрузки за интервал  $\Delta t = 3-6$  мин и 15–18 мин;

$P_{\text{max}}$  - максимальная нагрузка (усредненная за  $\Delta t = 30$  мин) за первые 30 мин графика

# Суточный $P(t)$ график электрических нагрузок



$P_{c(i)}$  – одно из получасовых усреднений;

$P_{\phi(\max)}$  – максимальная фактическая получасовая нагрузка за сутки;

$P_{\text{в}(\max)}$  – максимальная нагрузка в вечерние часы прохождения максимума в энергосистеме;

$P_{\text{в}(\max)}$  – максимальная нагрузка в утренний максимум;

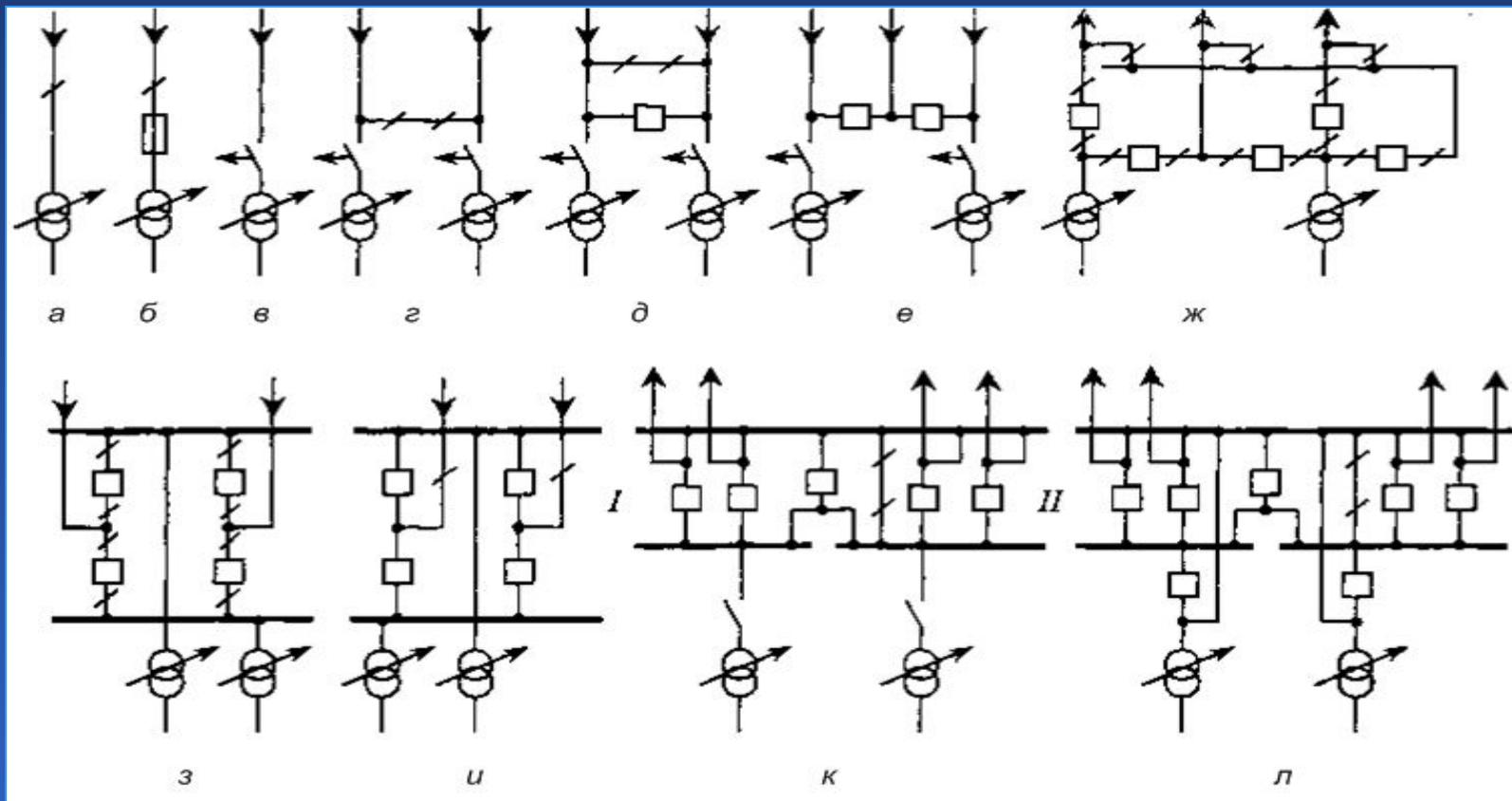
$P_{\min}$  – минимальная нагрузка;  $P_{\text{ср}}$  – среднесуточная нагрузка;

$P_{3(\max)}$  – заявленный максимум нагрузки, равный расчетному  $P_p$

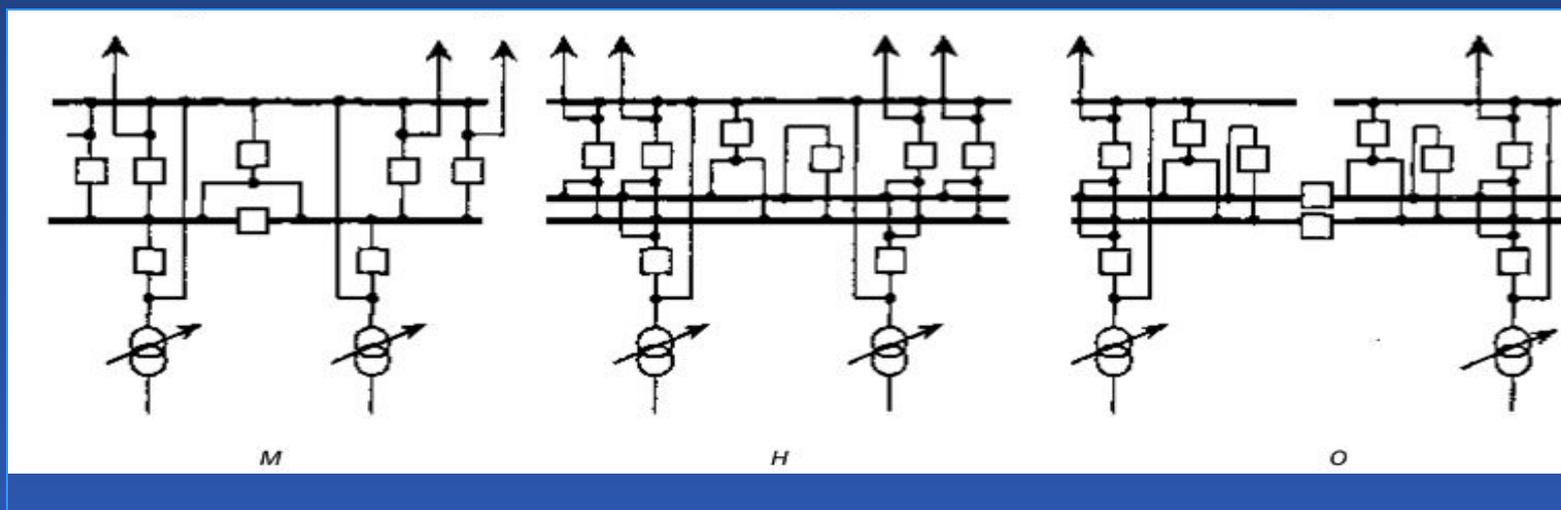
## Тема 1.4

# Выбор схем напряжений и схем присоединения промышленных предприятий к субъектам электроэнергетики (2 часа)

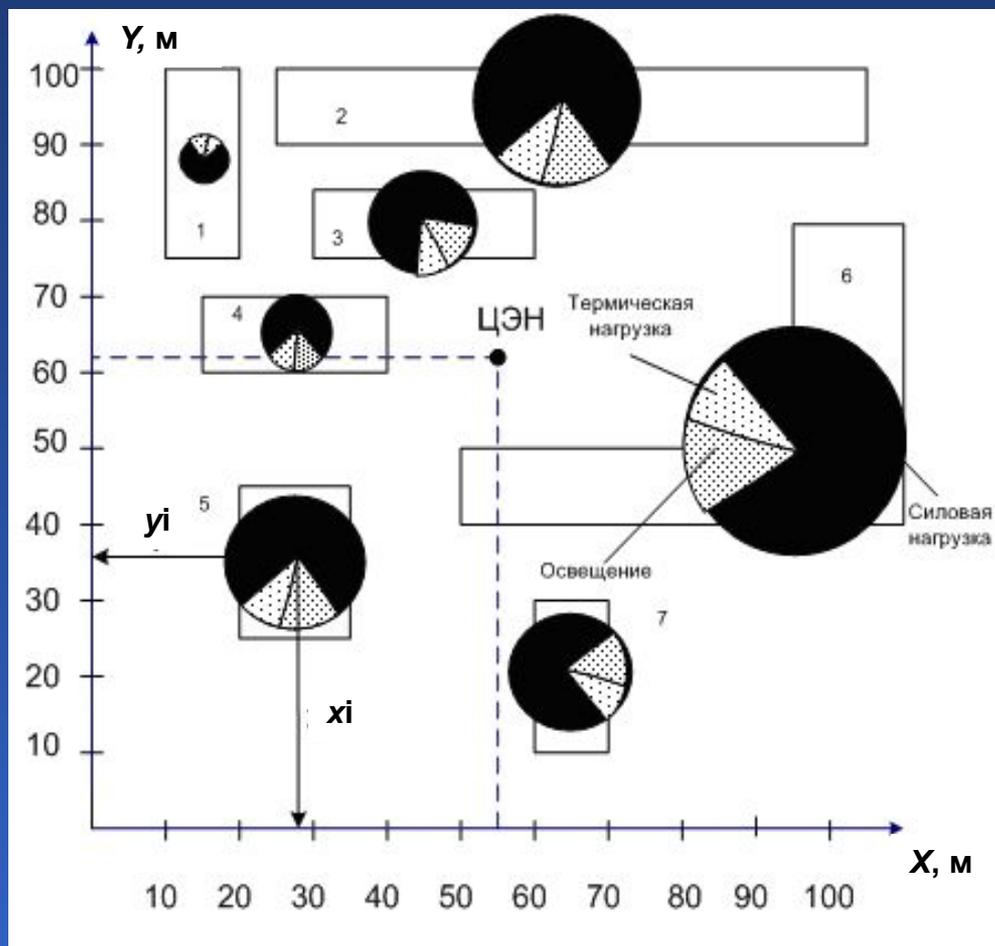
# Типовые схемы соединений для РУ 6-750 кВ понижающих подстанций энергосистем



# Типовые схемы соединений для РУ 6-750 кВ понижающих подстанций энергосистем



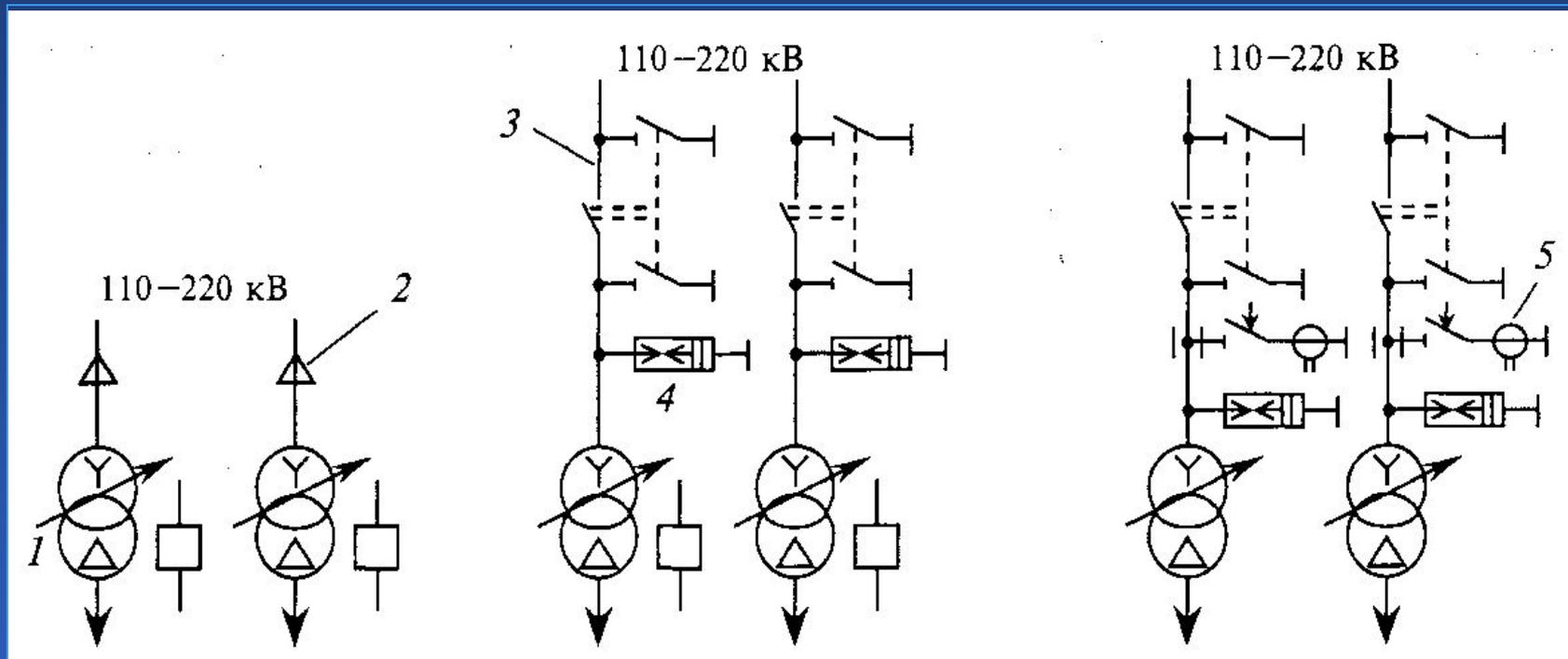
# Схема плана промышленного предприятия и картограмма нагрузок по цехам



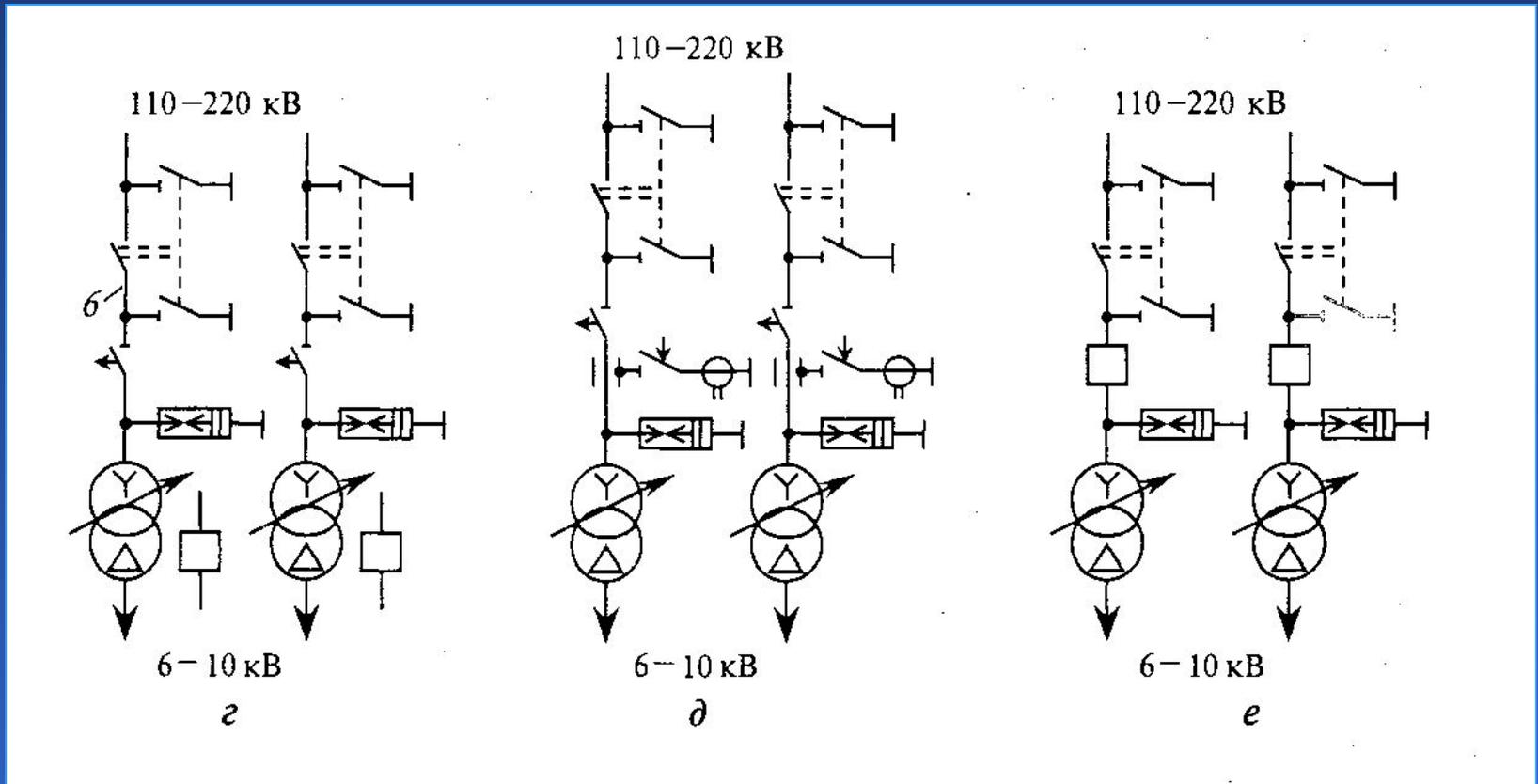
## Тема 1.5

# Схемы и конструктивное исполнение главных понизительных и распределительных подстанций (2 часа)

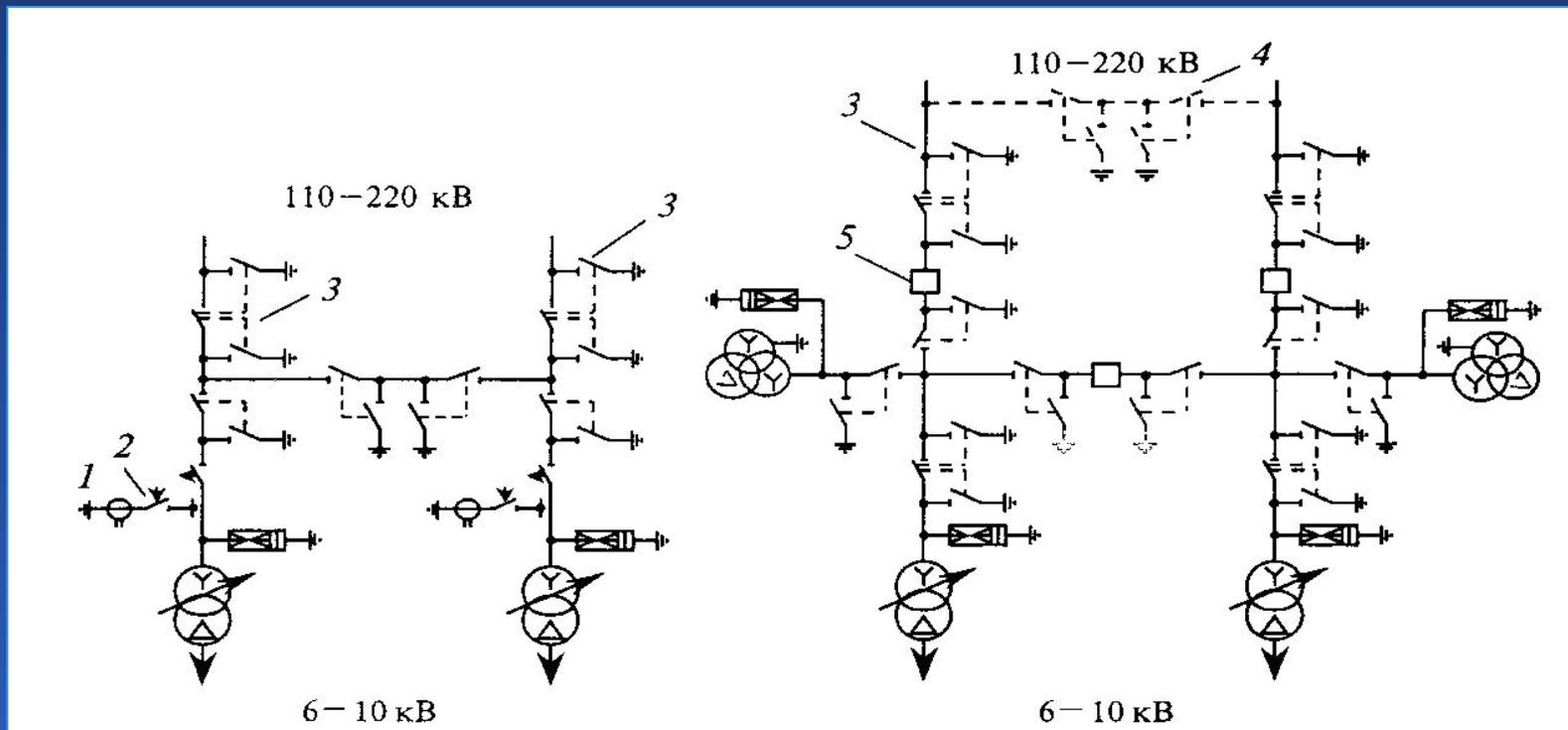
# Безмостиковые схемы блочных ГПП



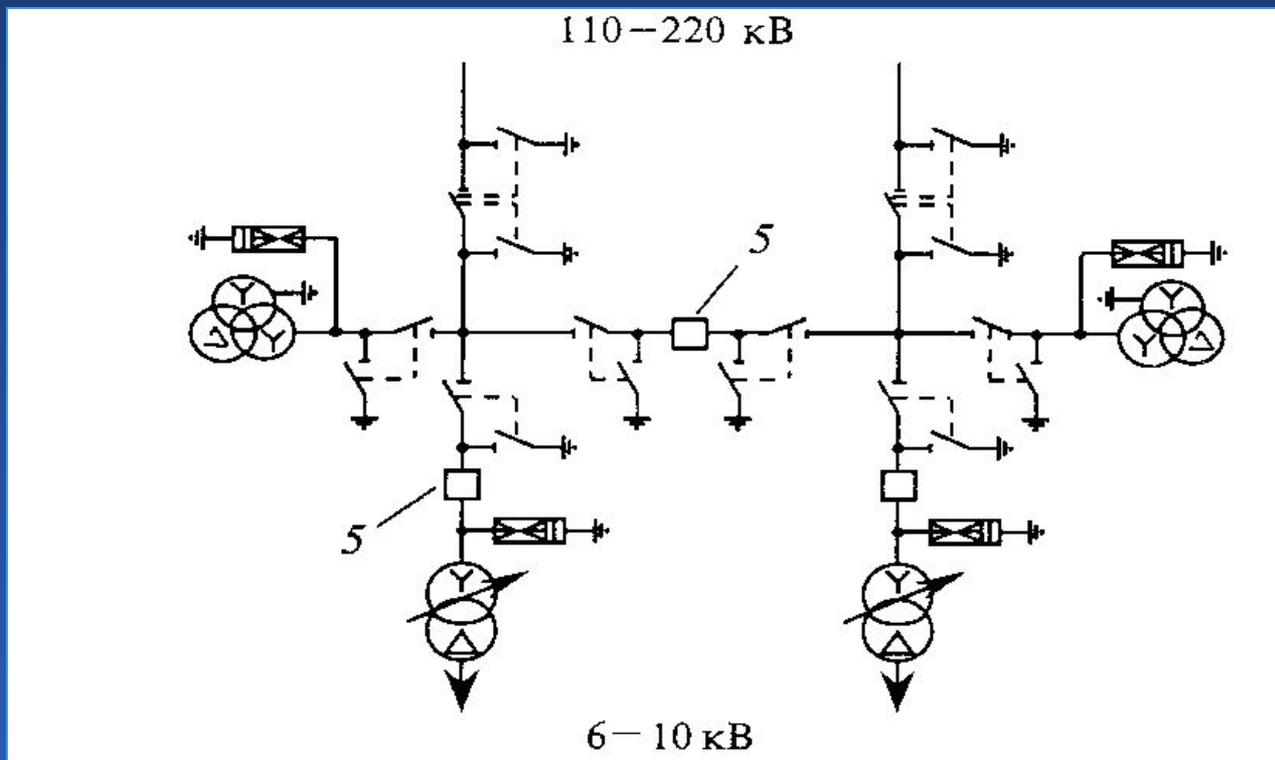
# Безмостиковые схемы блочных ГПП



# Схемы подстанций с перемычками (мостиками) между питающими линиями



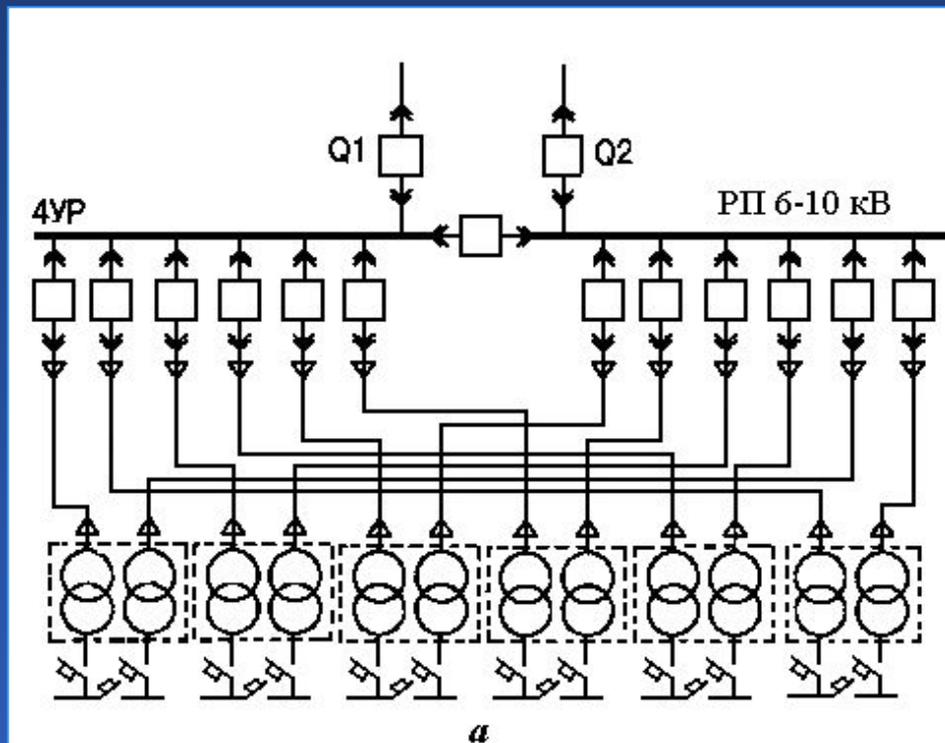
# Схемы подстанций с перемычками (мостиками) между питающими линиями



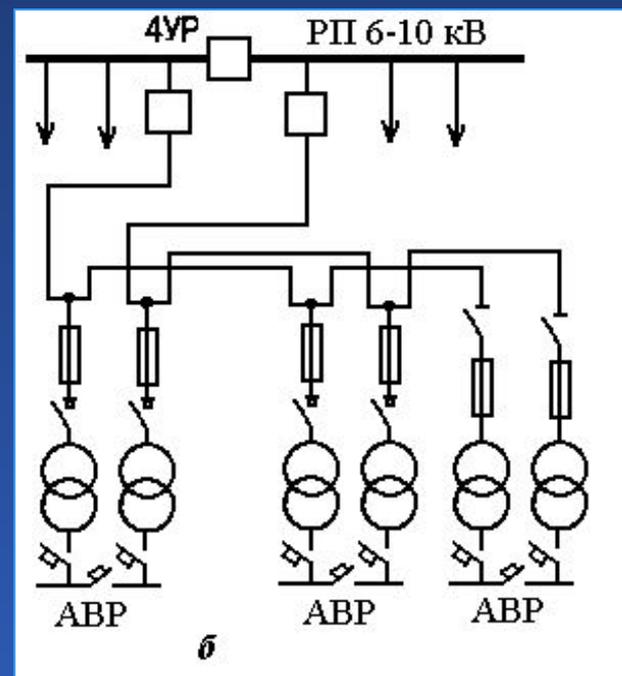
## Тема 1.6

# Схемы электроснабжения в сетях напряжением до 1 кВ переменного и до 1,5 кВ постоянного тока (2 часа)

# Схемы питания трансформаторов ЗУР



**а** – радиальная



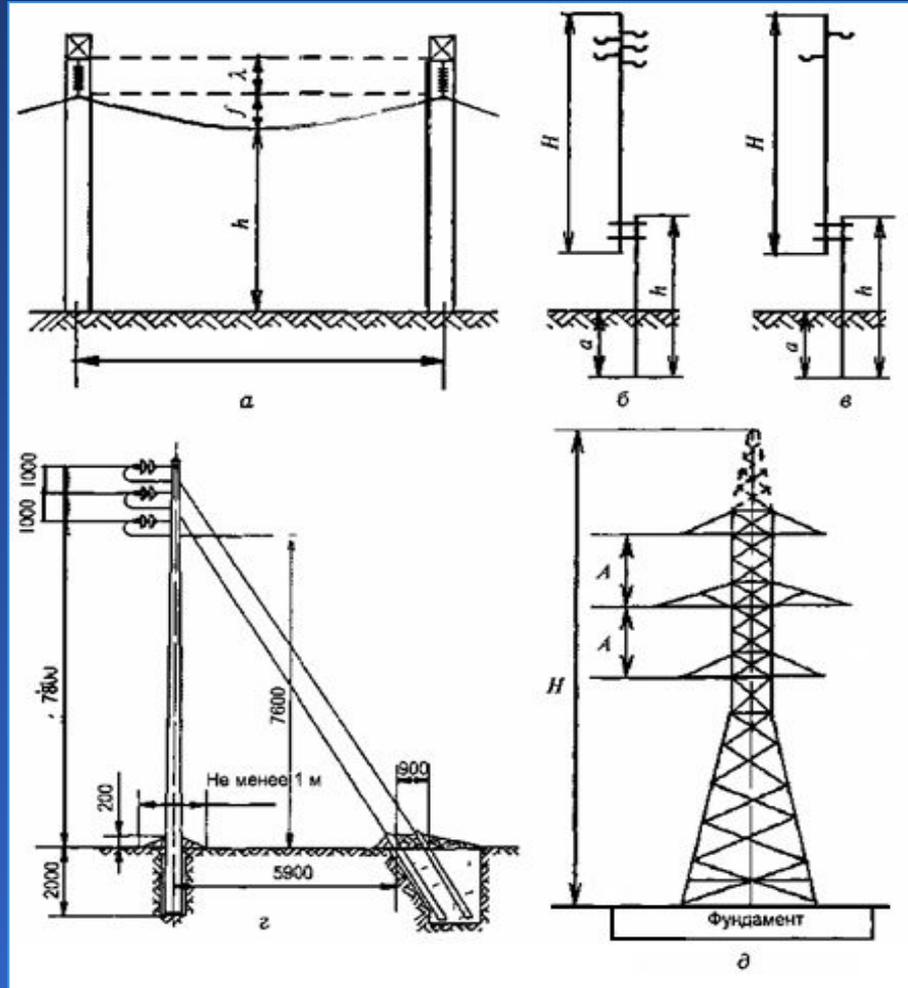
**б** – магистральная



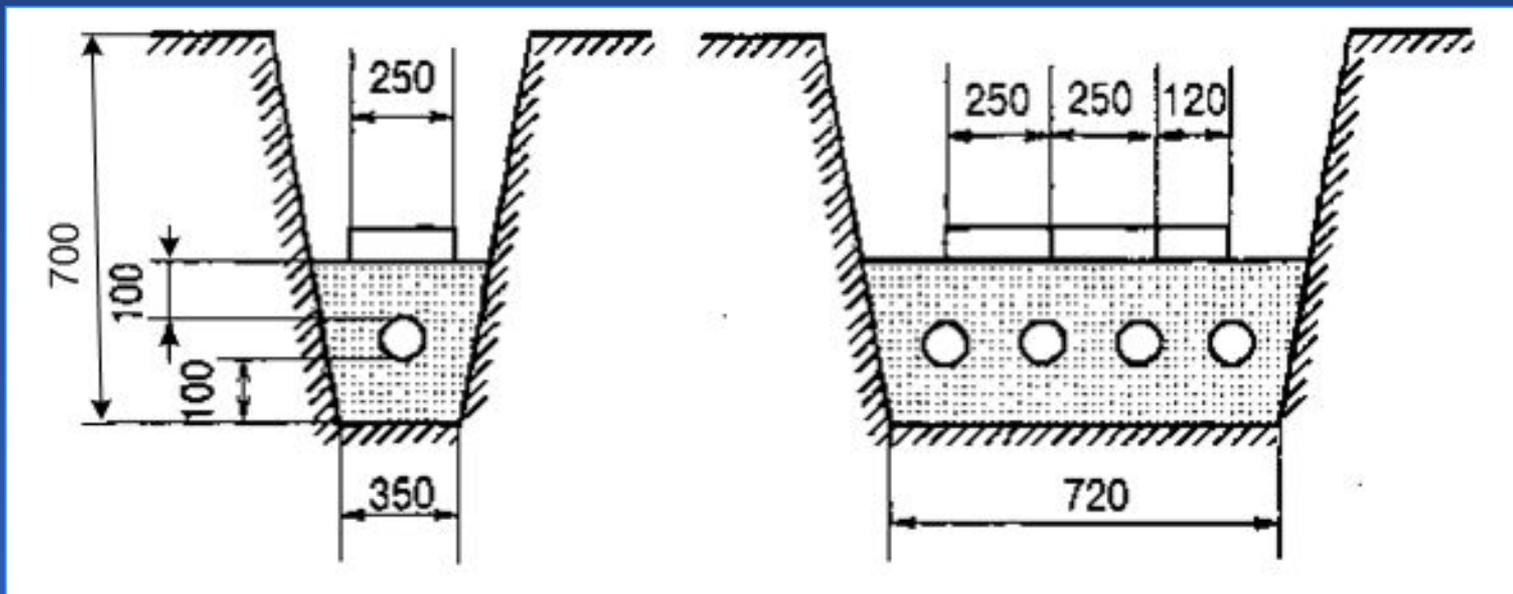
## Тема 1.7

# Транспорт(канализация) электрической энергии (2 часа)

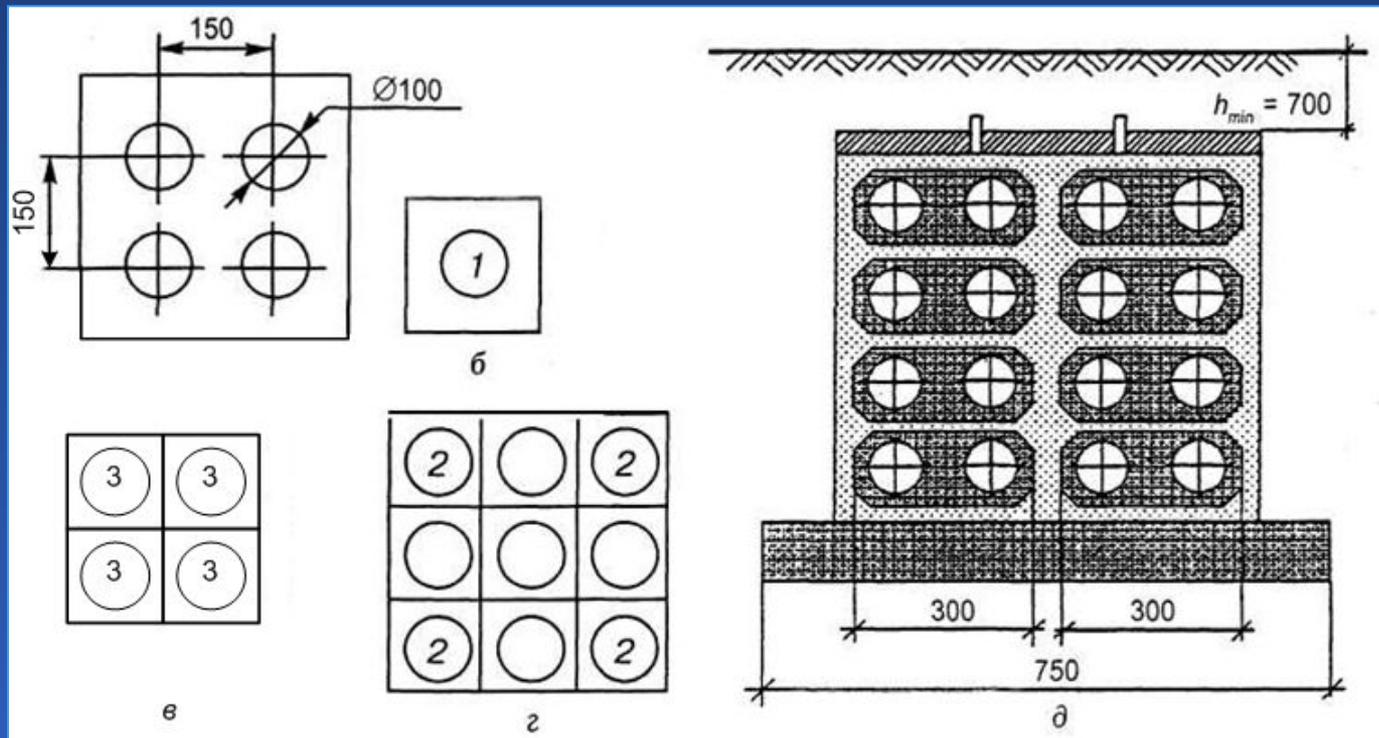
# Схема воздушной линии электропередач и опоры



# Кабельные траншеи и расположение в них кабелей



# Группы и номера каналов блоков



## Тема 2.1

# Выбор сечений проводов и жил кабелей (2 часа)

# Варианты схем внешнего электроснабжения

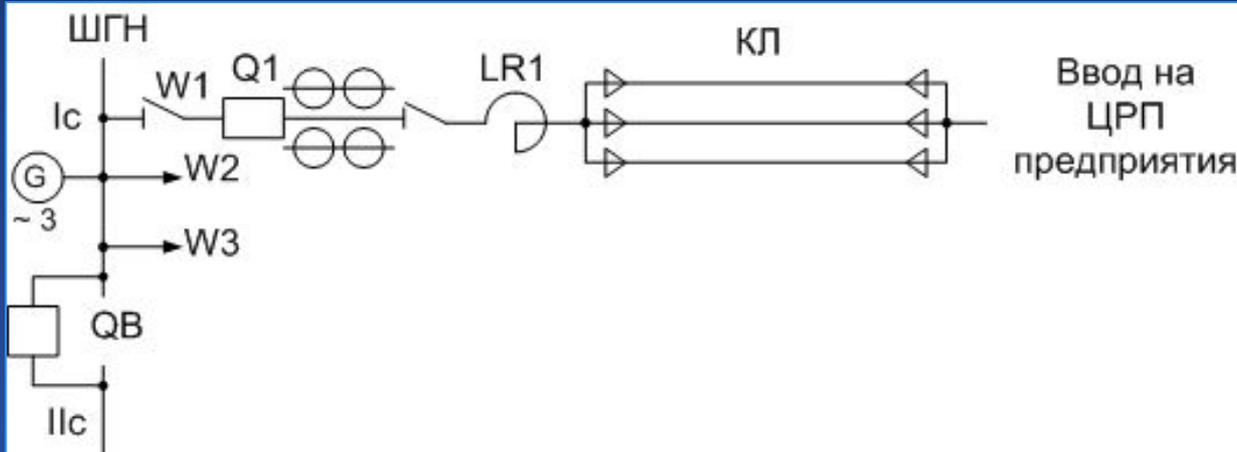


Схема внешнего электроснабжения при получении электроэнергии от шин генераторного напряжения

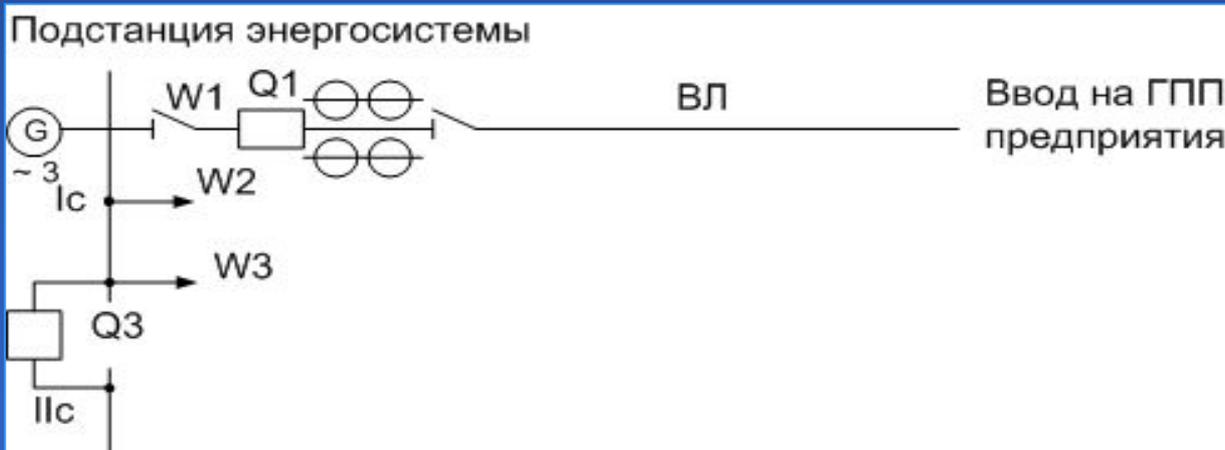


Схема внешнего электроснабжения при получении электроэнергии от подстанции энергосистемы

# 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);

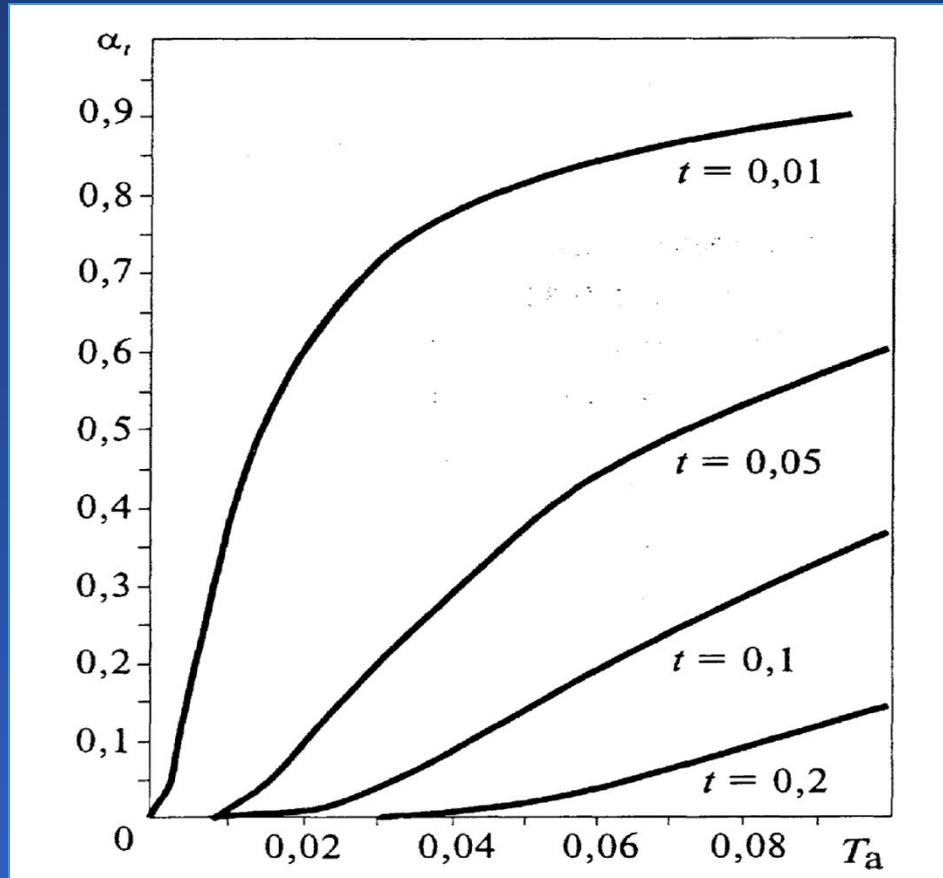
**г** – продольная герметизация водоблокирующими лентами;

**2г** – двойная герметизация (водоблокирующими лентами и алюмополиэтиленовой лентой)

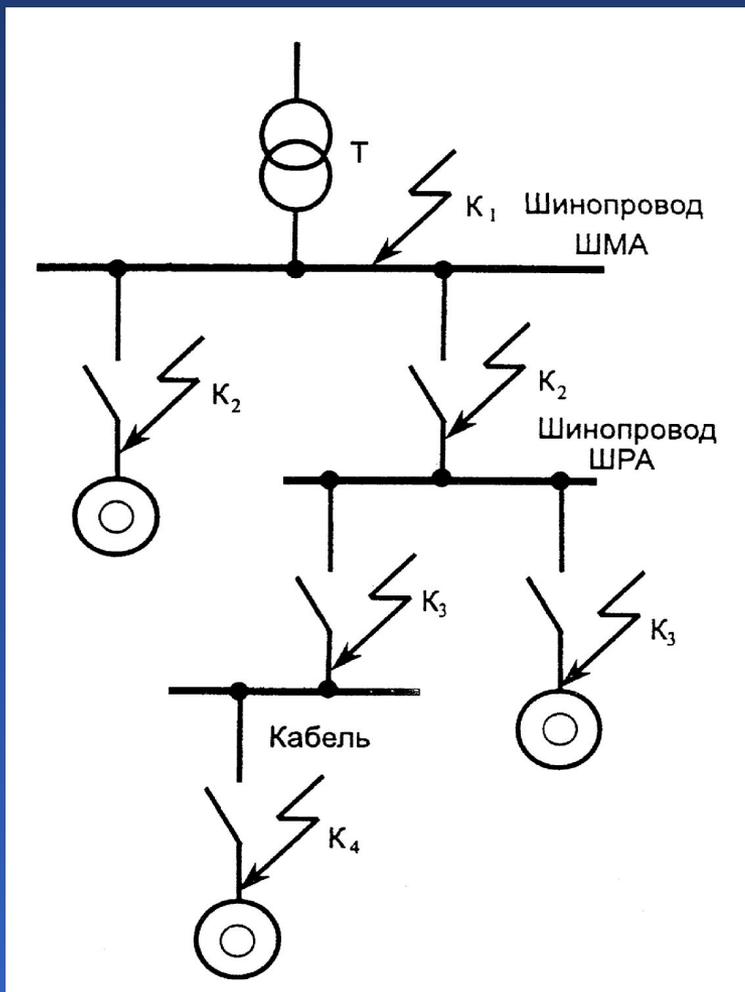
## Тема 2.2

# Расчет токов короткого замыкания (2 часа)

# Кривые для определения коэффициента затухания периодической слагающей тока КЗ



# Характерная схема цеховой электрической сети для расчета токов КЗ



Мощность трансформатора, кВА		1000	1600	2500
$R_{\text{ис}}$ , мОм, для точек*:				
$K_1$		6,41	6,81	15,42
$K_2$		4,01	2,72	1,86
		<u>5,92</u>	<u>3,81</u>	<u>3,01</u>
$K_3$		18,38	12,01	6,92
		<u>22,31</u>	<u>15,95</u>	<u>9,26</u>
$K_4$		7,09	4,51	3,62
		<u>7,79</u>	<u>5,27</u>	<u>4,59</u>

\* В числителе значения при магистральной схеме, в знаменателе — при радиальной.

## Тема 2.3

# Выбор аппаратов и токоведущих устройств в электрических установках (2 часа)

# Условия выбора разъединителей (отделителей и короткозамыкателей)

Расчетный параметр цепи	Каталожные данные разъединителя	Условие выбора
$U_{уст}$ $I_{раб(max)}$ $i_y$ $B_k$	$U_{ном}$ $I_{ном}$ $I_{m \text{ дин}}$ $I_m; t_m$	$U_{уст} \leq U_{ном}$ $I_{раб(max)} \leq I_{ном}$ $i_y \leq I_{m \text{ дин}}$ $B_k \leq B_k$
Примечание. $I_{m \text{ дин}}$ — амплитудное значение предельного сквозного тока короткого замыкания		

# Условия выбора предохранителей выше 1 кВ

Расчетный параметр защищаемой цепи	Номинальные параметры предохранителя	Условие выбора
$U_{уст}$ $I_{раб(max)}$ $I_{п0}$	$U_{ном}$ $I_{ном}$ $I_{откл н}$	$U_{уст} < U_{ном}$ $I_{раб(max)} < I_{ном}$ $I_{п0} < I_{откл н}$

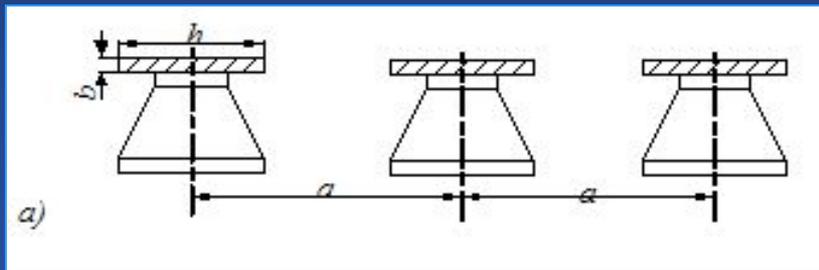
# Условия выбора трансформатора тока

Расчетный параметр цепи	Каталожные данные трансформатора тока	Условие выбора
$U_{уст}$	$U_{ном}$	$U_{уст} \leq U_{ном}$
$I_{раб(max)}$	$I_{ном}$	$I_{раб(max)} \leq I_{ном}$
$i_y$	$I_{т дин}$ или $K_{дин}$	$i_y \leq I_{т дин}$ или $i_y \leq K_{дин}$
$B_k$	$I_T; t_T$ или $K_T; I_{1 ном}$	$B_k \leq B_k$ или $B_k \leq (K_T I_{1 ном})^2 t$
$Z_2$	$Z_{2 ном}$	$Z_2 \leq Z_{2 ном}$

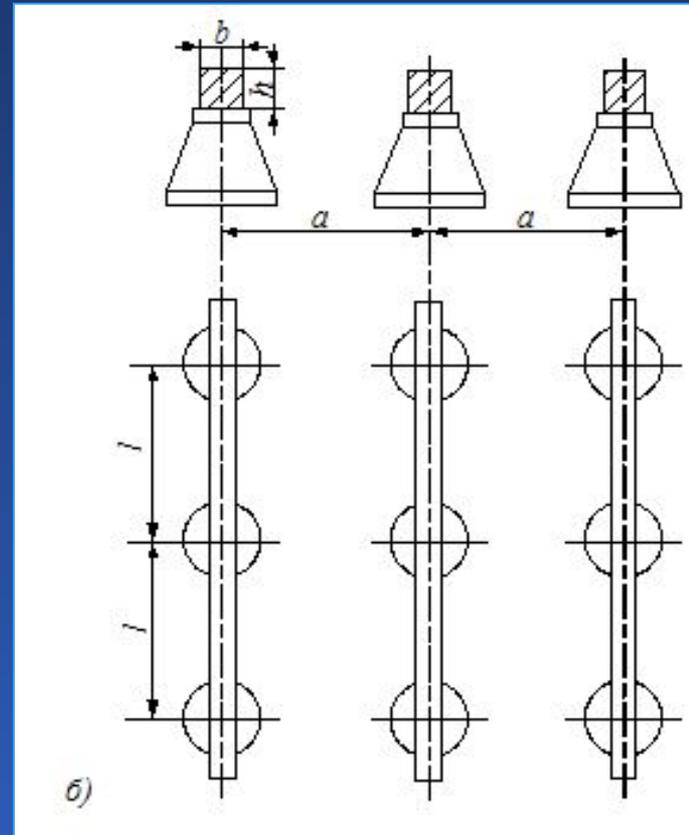
## Тема 2.4

# Шины и шинопроводы в системах электроснабжения (2 часа)

# Расположение шин на изоляторах

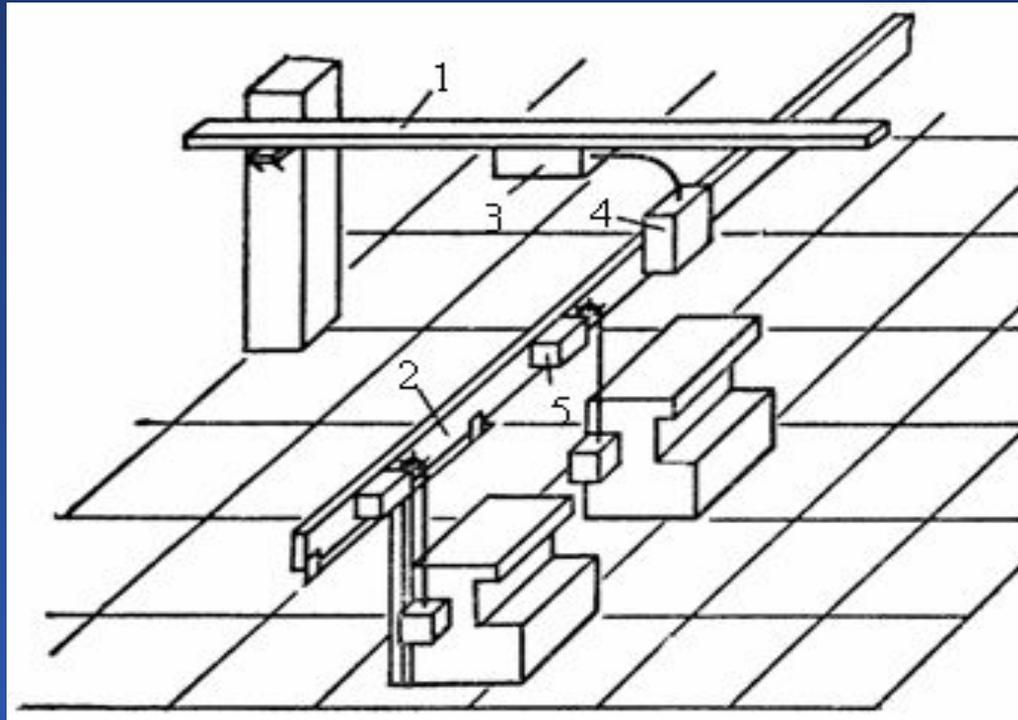


**a** – плашмя



**б** – на ребро

# Схемы цеховой сети, выполненной комплектными шинопроводами

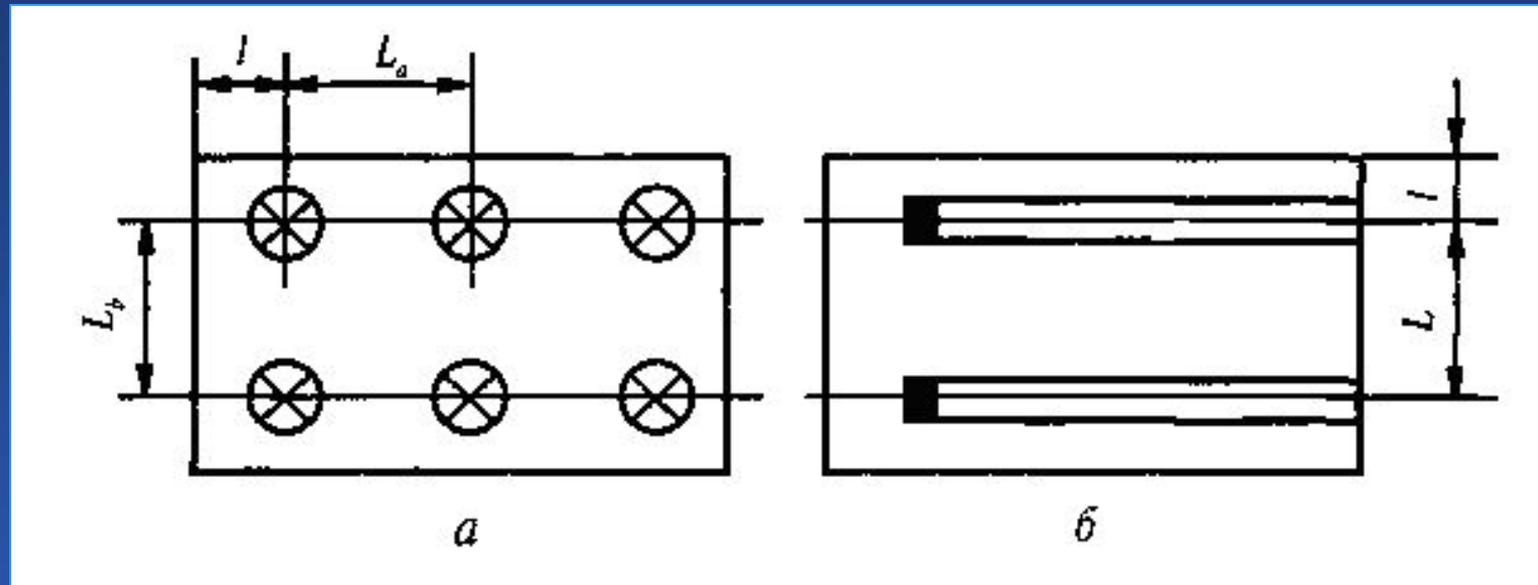


- 1 – магистральный шинопровод; 2 – распределительный шинопровод;  
3 – ответвительная секция магистрального шинопровода;  
4 – вводная коробка; 5 – ответвительная коробка

## Тема 2.5

# Установки наружного и внутреннего освещения (2 часа)

# Схемы размещения светильников

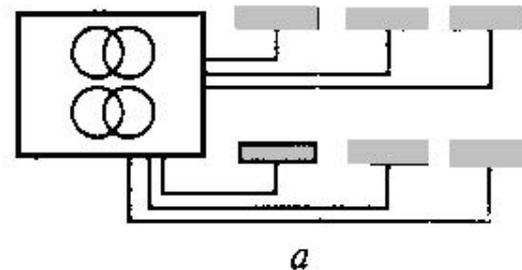


**a** – накаливания

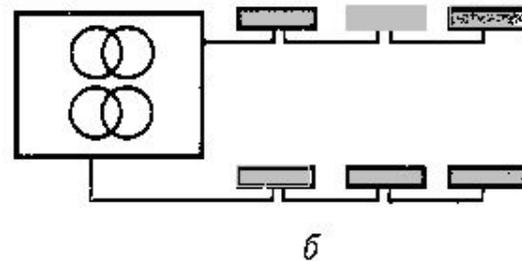
**б** – люминисцентные

# Разновидности схем питающих осветительных сетей

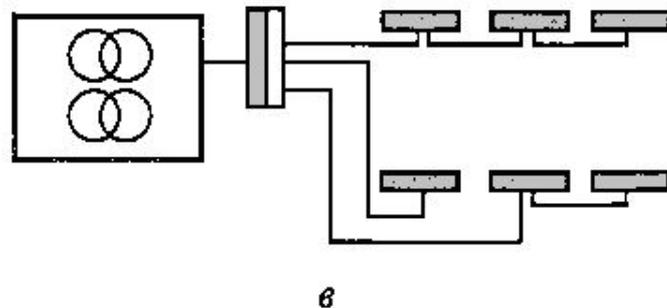
**a** – радиальная



**б** – магистральная



**в** – радиально-магистральная

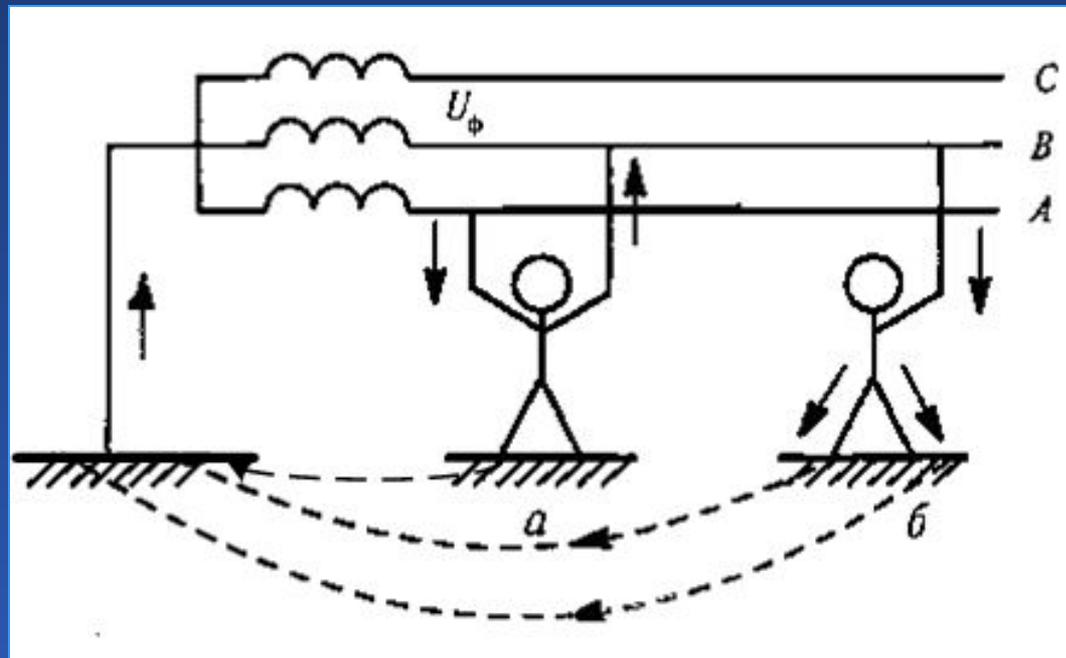


## Тема 2.6

# Защитные методы электробезопасности.

Режим нейтрали источников  
и приемников электроэнергии,  
заземляющие устройства  
(2 часа)

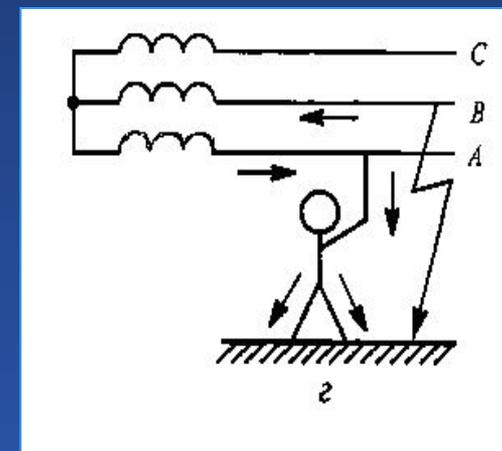
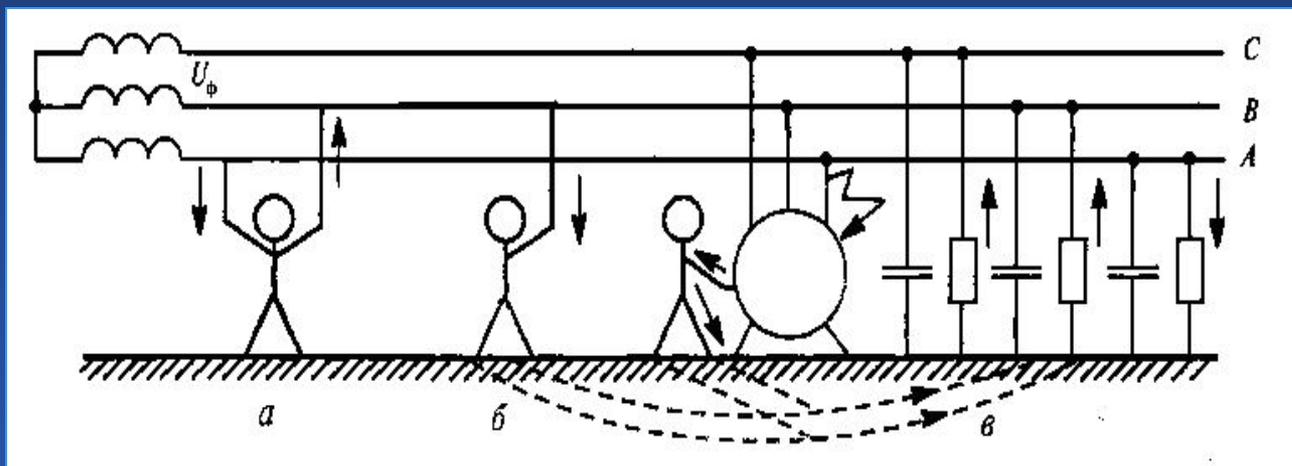
# Прикосновение к сети с заземленной нейтралью



**a** – двухполюсное

**б** – однополюсное

# Прикосновение в сети с изолированной нейтралью

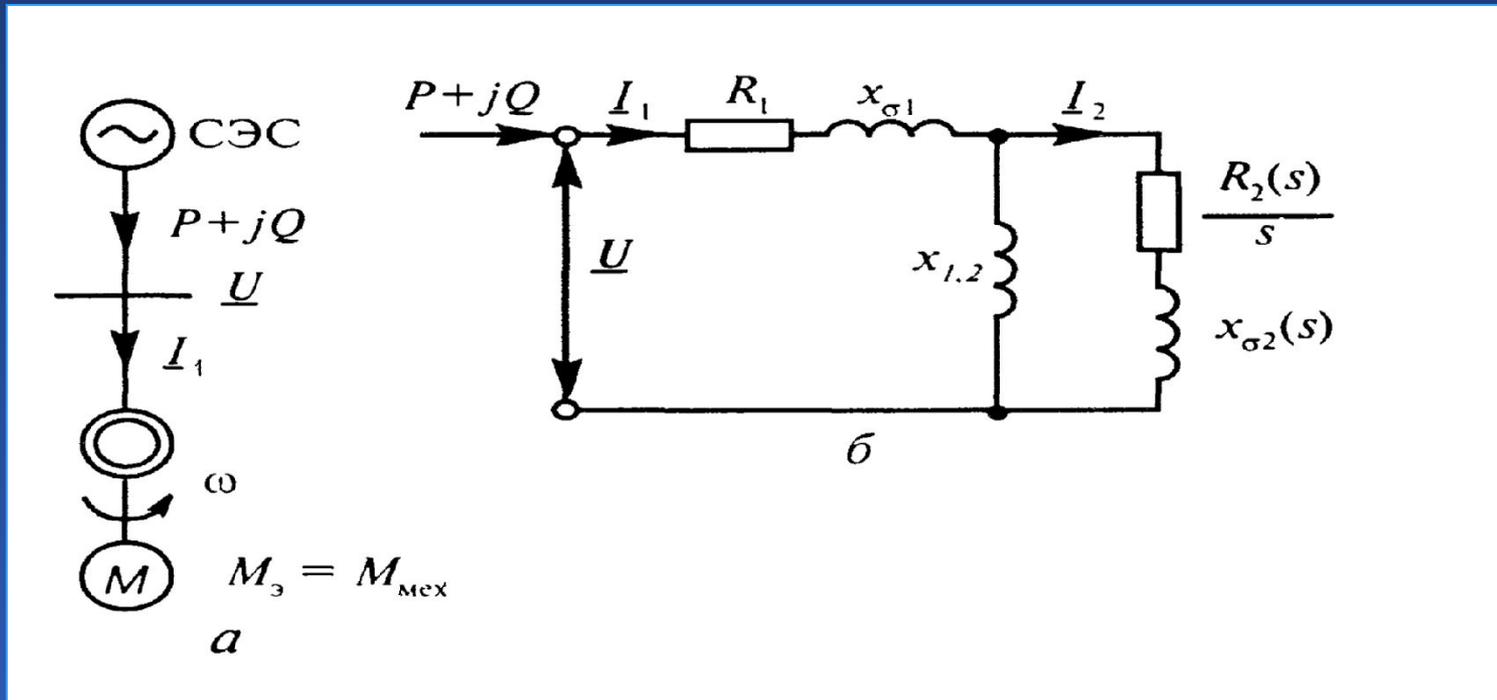


- а** – двухполюсное; **б** – однополюсное при несовершенной изоляции;  
**в** – однополюсное при пробое фазы на корпус; **г** – однополюсное при одновременном замыкании на землю одной из двух фаз

## Тема 3.1

# Пуск и самозапуск электрических двигателей (1,5 часа)

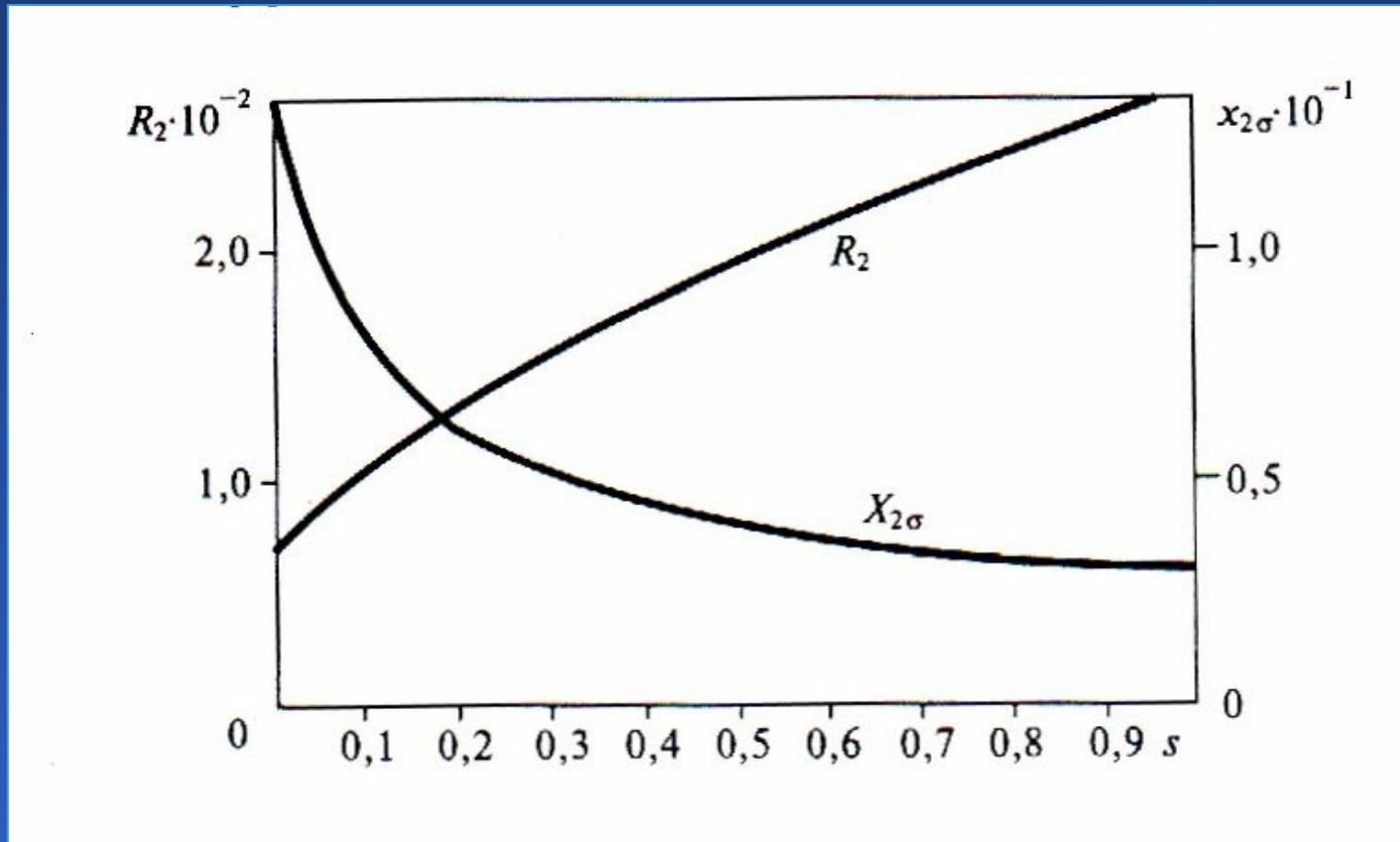
# Пуск и самозапуск электрических двигателей



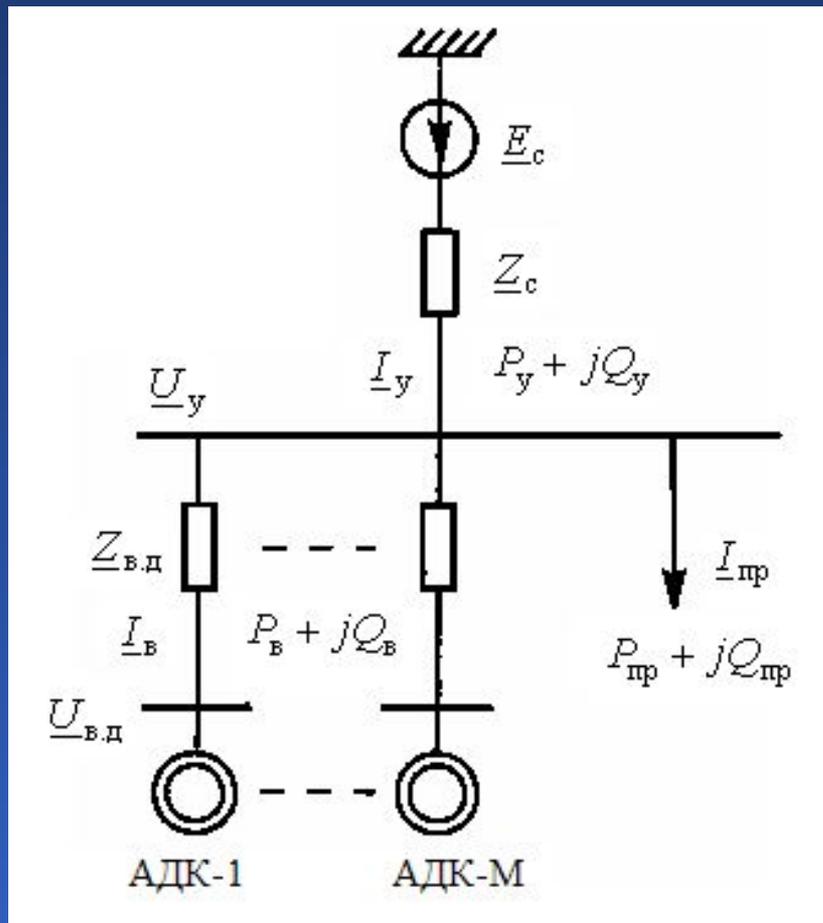
**а** – схема подключения АД

**б** – схема замещения АД

# Зависимость параметров обмотки ротора АД (А-13-62-10) от скольжения



# Расчетная схема узла промышленной комплексной нагрузки с АД



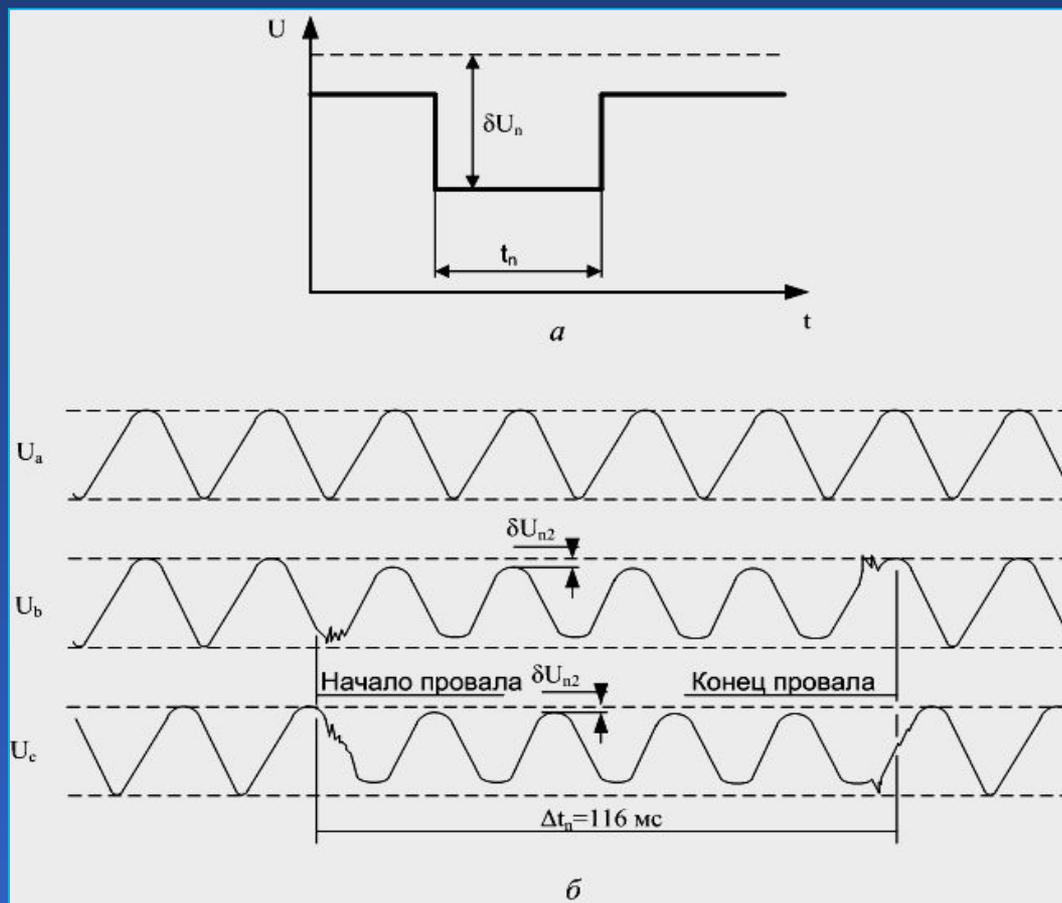
## Тема 3.2

# Качество электрической энергии (2 часа)

# Установленные ГОСТ 13109–97 нормы ПКЭ

Показатели КЭ, единицы измерения	Нормы КЭ	
	Нормально допустимые	Предельно допустимые
Установившееся отклонение напряжения $\delta U_y$ , %	$\pm 5$	$\pm 10$
Размах изменения напряжения $\delta U_t$ , %	–	См. табл. 15.2
Доза фликера, отн. ед. кратковременная $P_{st}$ длительная $P_{lt}$	– –	1,38; 1,0 1,0; 0,74
Коэффициент искажения синусоидальности кривой междуфазного (фазного) напряжения $K_u$	См. табл. 15.3	
Коэффициент п-й гармонической составляющей напряжения $K_U(n)$ , %	См. табл. 15.4	
Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности $K_2U$ , %	2	4
Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности $K_0U$ , %	2	4
Отклонения частоты $\Delta f$ , Гц	$\pm 0,2$	$\pm 0,4$
Длительность провала напряжения $\Delta t_n$ , с	–	30
Импульсное напряжение $U_{имп}$ , кВ	–	–
Коэффициент временного перенапряжения $K_{перU}$ , отн. ед.	–	–

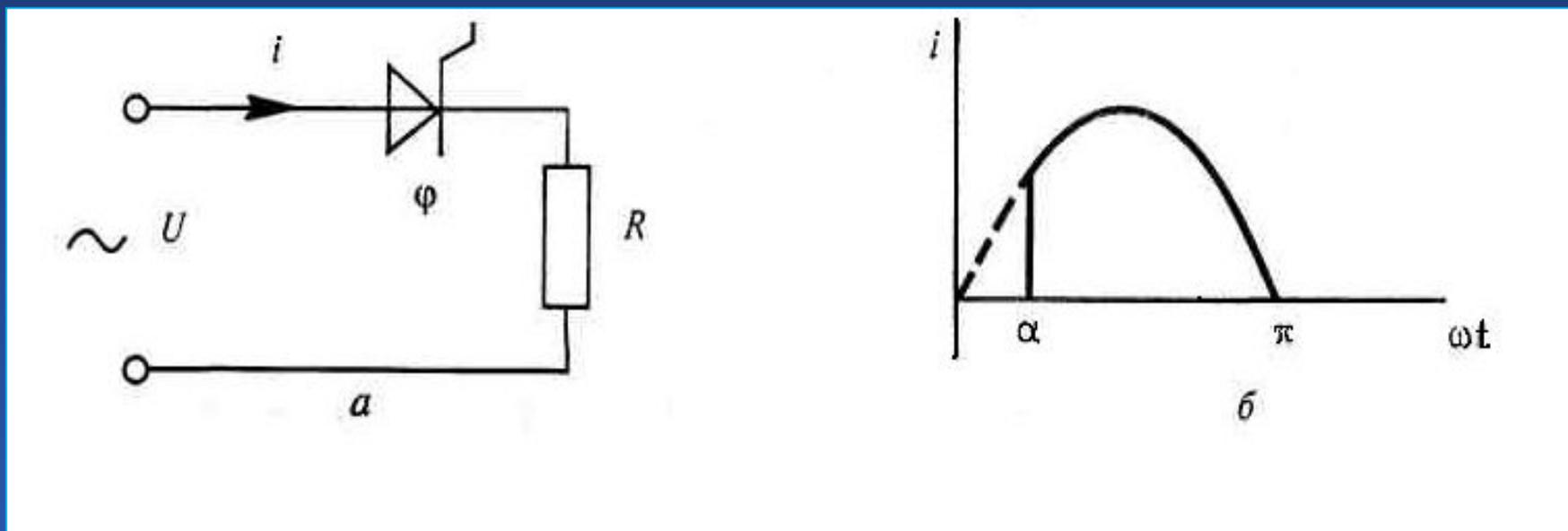
Провал напряжения (а) и осциллограмма провала напряжения с переходом напряжения на новый уровень и возвращением на предшествующий или близкий к нему уровень скачком с высокочастотными составляющими (б)



## Тема 3.3

# Компенсация реактивной мощности

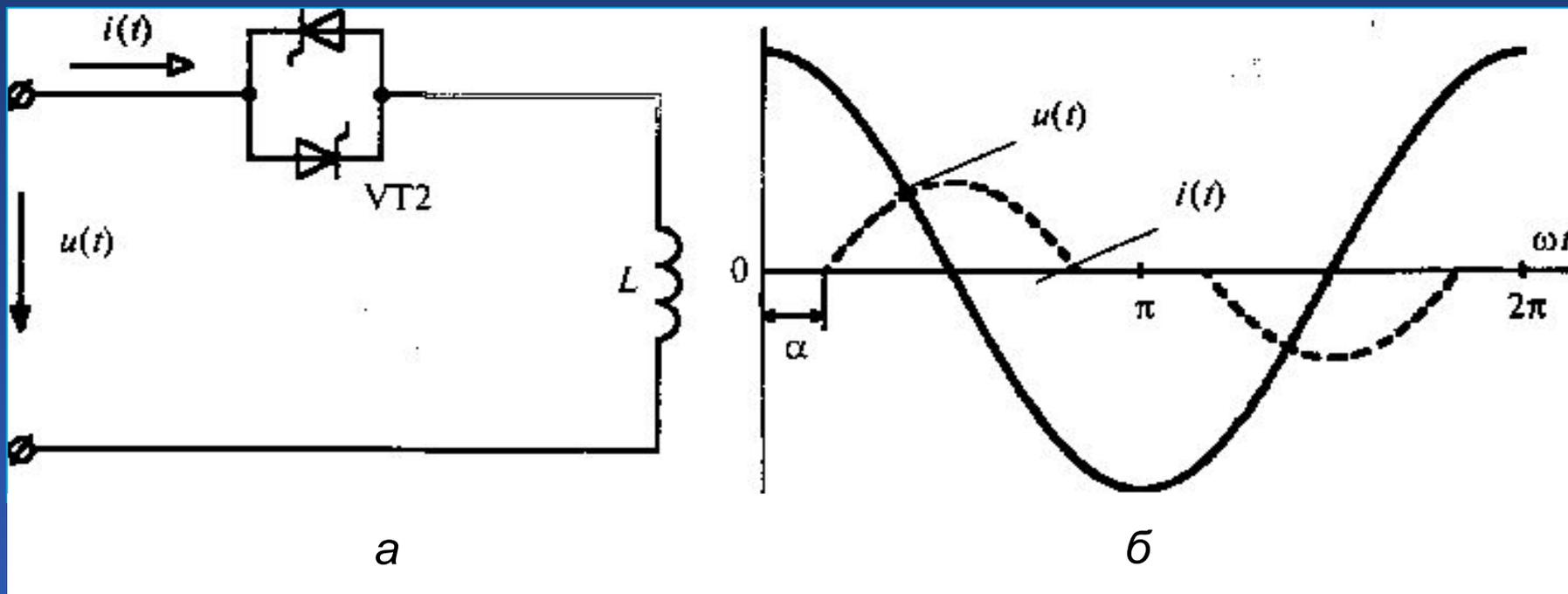
# Компенсация реактивной мощности



**a** – схема одного или двух полупериодных выпрямителей, работающих на активную нагрузку

**б** – сдвиг первой гармоники при  $\alpha = 0$

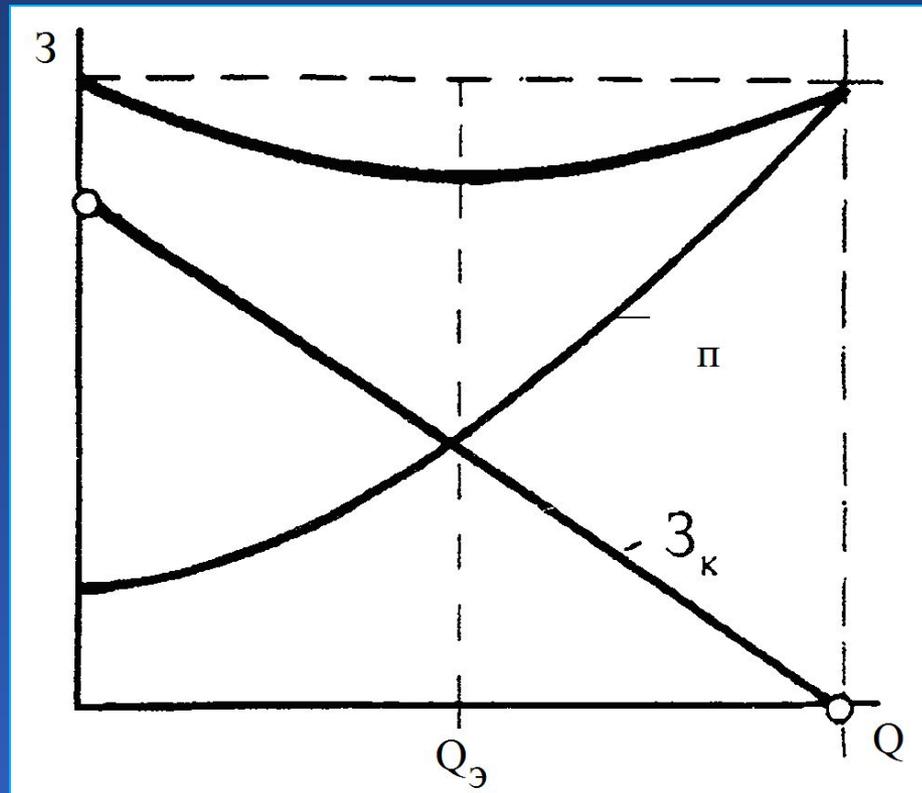
# Компенсация реактивной мощности



**a** – схема фазоуправляемого тиристорного регулятора

**б** – кривые тока  $i(t)$ , напряжения  $u(t)$  при угле управления  $\alpha \neq 0$

# Определение оптимальных значений потребляемой $Q$



## Тема 3.4

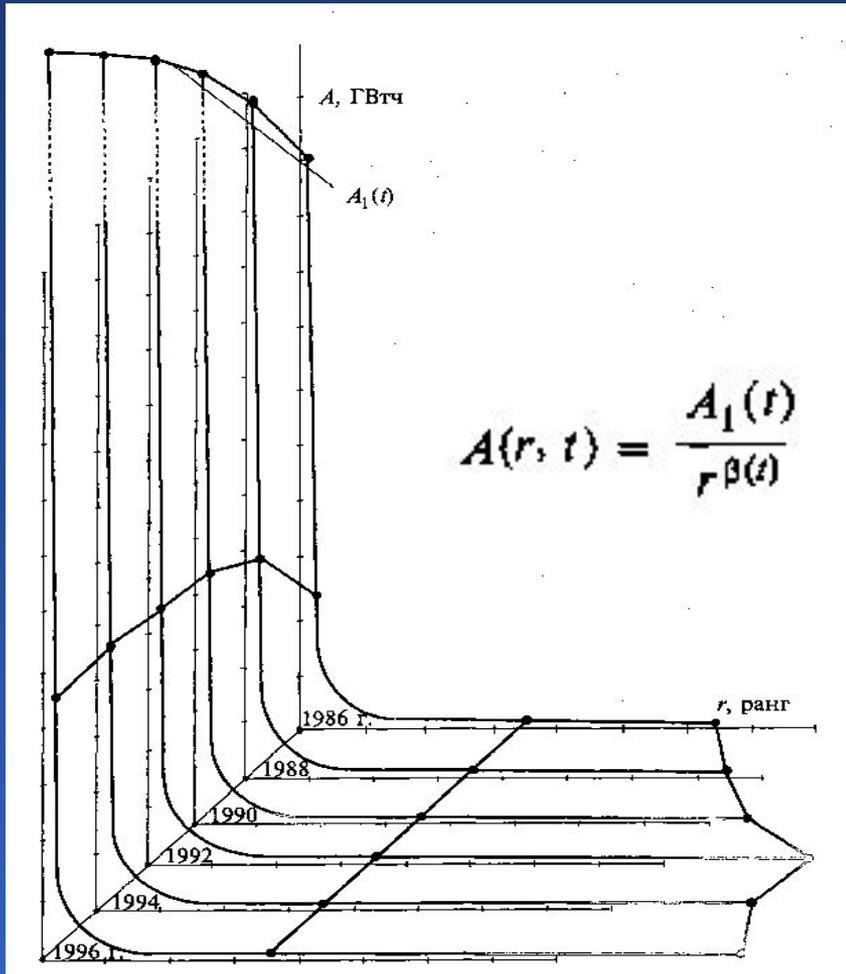
# Организация электропотребления

# Потребитель и электроснабжающая организация

Взаимоотношение потребителя и энергоснабжающей организации включает:

- **технические условия** на технологическое присоединение к электрическим сетям субъекта электроэнергетики и юридическое разграничение ответственности и установление границы раздела предприятие – энергосистема (6 УР системы электроснабжения);
- **договорные отношения** по параметрам и времени электропотребления с выделением величины активных мощностей и электроэнергии;
- **соблюдение потребителем** Правил устройств электроустановок, Правил технической эксплуатации и технической безопасности и других законодательных, директивных, нормативных, регламентирующих документов, которые всегда разрабатывались и будут разрабатываться субъектами электроэнергетики и разработчиками (изготовителями) электротехнической продукции

# Динамика рангового Н-распределения электропотребления предприятий республики Хакасия



$$A(x) = A_1 / x^\beta$$

$\beta$  – характеристический показатель

$A_1 = A_{\max}(1)$  – константа

$$A(r, t) = \frac{A_1(t)}{r^\beta(t)} = \frac{a_1 + b_1(t)}{r^{\beta(1 - e^{-t/T})}},$$

где  $A_i$  – электропотребление объекта с  $r = 1$ ,  
 $t$  – временной ряд,  $a_1, b_1, \beta_0, T$  – константы  
аппроксимирующих уравнений.

## Тема 3.5

# Энергосбережение на промышленных предприятиях (1,5 часа)

# Энергетические балансы

Энергобалансы, в зависимости от их **функционального назначения**, классифицируются по следующим признакам:

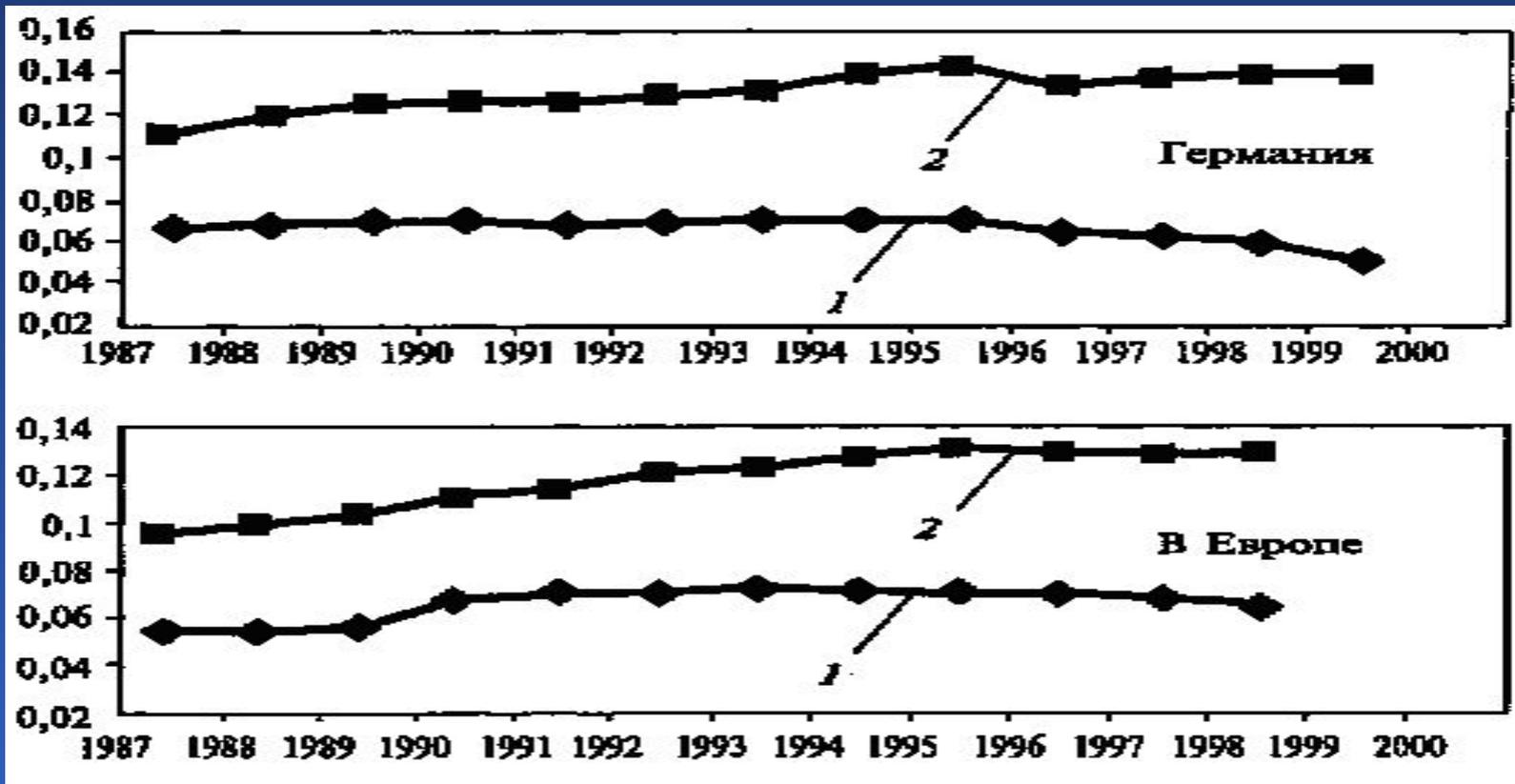
- время разработки;
- объект энергопотребления;
- целевое назначение;
- совокупность видов анализируемых потоков энергии;
- способ разработки и форма их составления.

Энергобаланс по своему **целевому назначению** обеспечивает анализ различных

- технологий;
- производств;
- отопления;
- освещения, вентиляции и других направлений энергопотребления.

# Энергосбережение на промышленных предприятиях

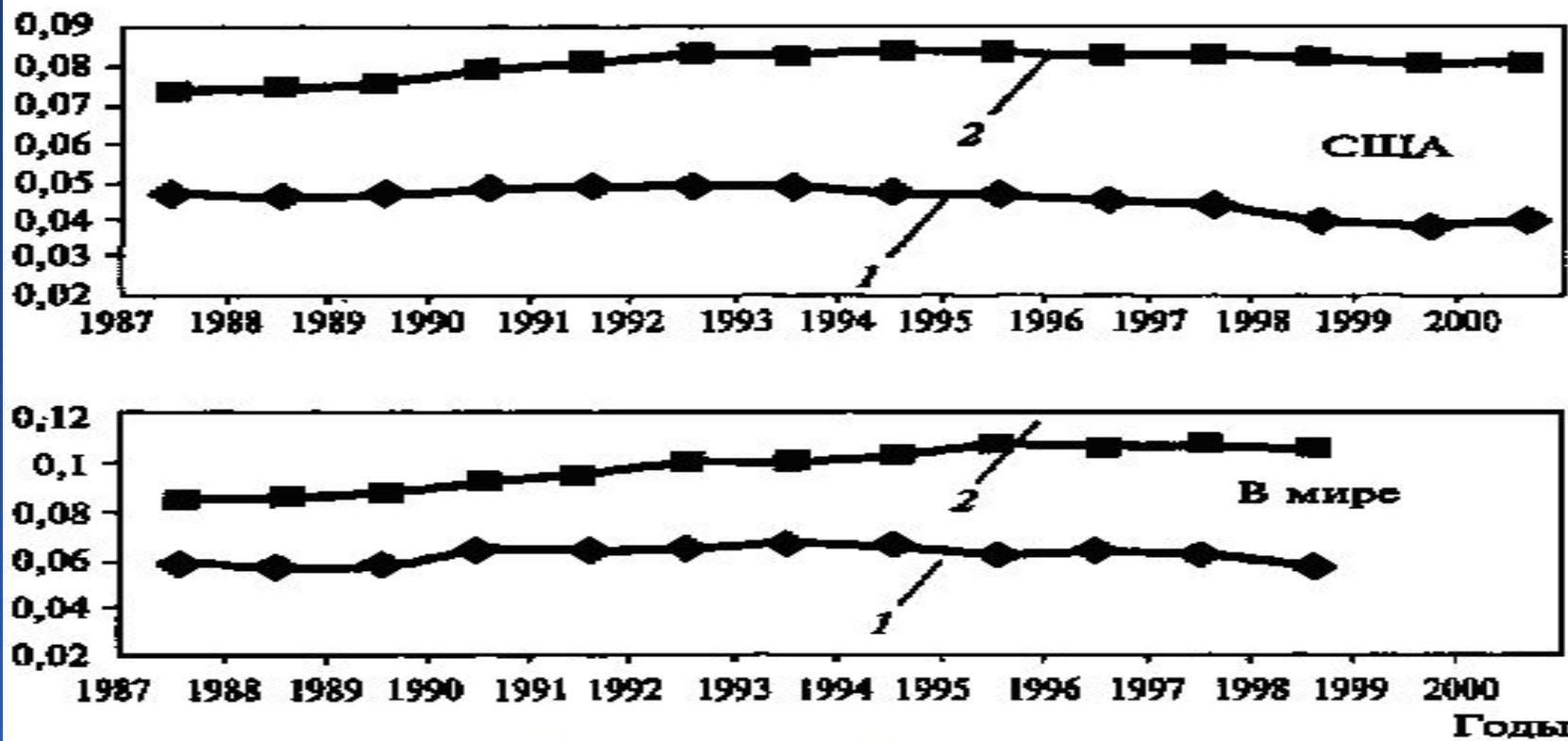
Цены на электроэнергию долл/кВтч



Перекрестное субсидирование за рубежом:  
1 – данные для промышленности; 2 – бытовые потери

# Энергосбережение на промышленных предприятиях

Цены на электроэнергию долл/кВтч



Перекрестное субсидирование за рубежом:  
1 – данные для промышленности; 2 – бытовые потери

## Тема 3.6

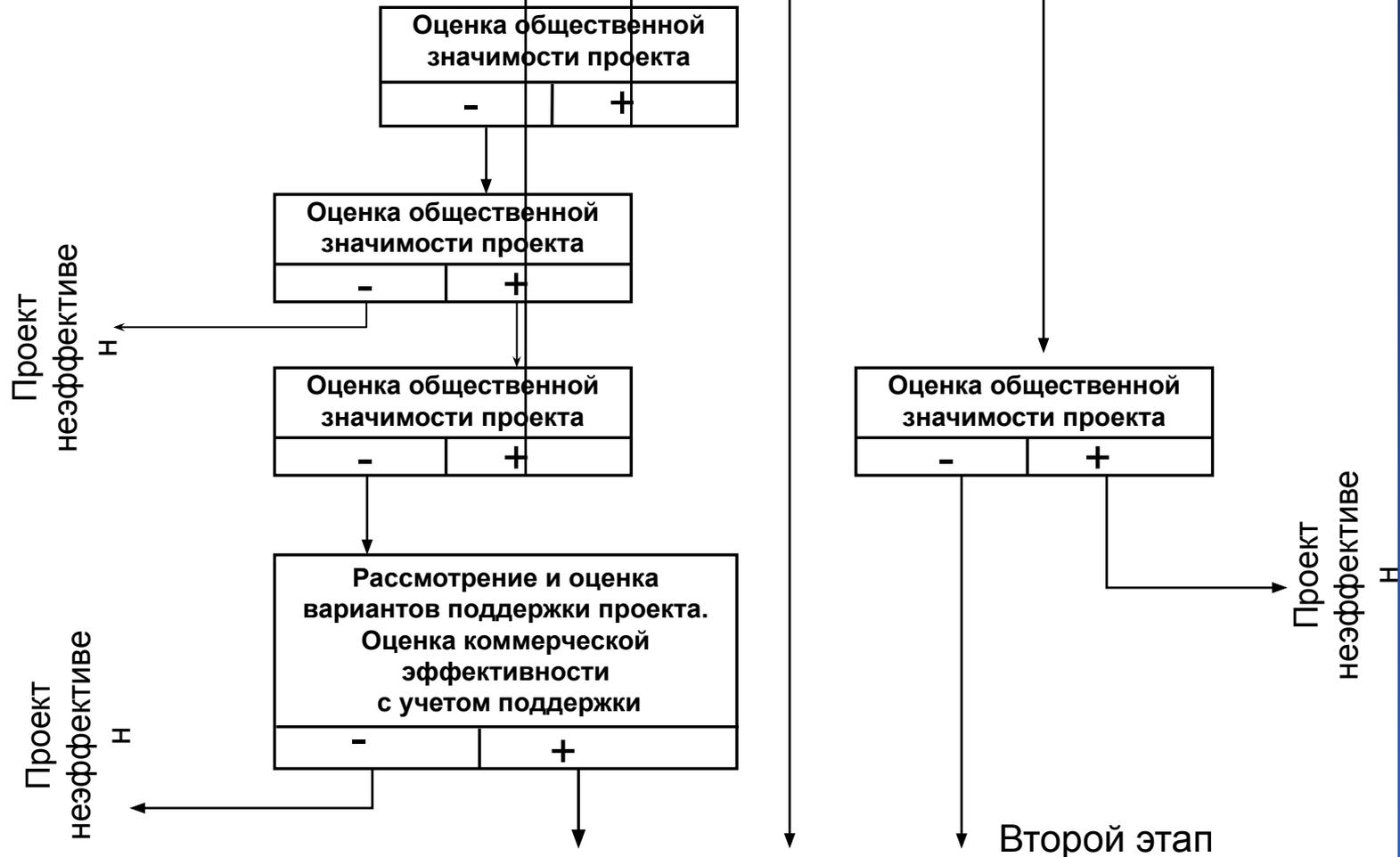
# Инвестиционное проектирование объектов электрики (1 час)

# Схема техноэволюции



# Концептуальная схема оценки эффективности инвестиционного проекта

## Первый этап. Эффективность проекта в «целом»



# Концептуальная схема оценки эффективности инвестиционного проекта

