

# **ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

**БЕЛОГЛАЗОВ АЛЕКСЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ,**

**к.т.н., доцент кафедры электрических станций (ЭлСт),**

**П-212 (кафедра)**

**Лекции 1, 2**

**Всего часов: 144**

**Новосибирск, 2020 г.**

# СТРУКТУРА КУРСА

1. **Лекционные занятия** – 14 часов (7 лекций).
2. **Практические занятия** – 28 часа (14 занятий).
3. **Лабораторные работы** – 12 часов (3 лаб. работы) + 2 часа (консультация):

Л/Р № 1: Ограничение токов КЗ (л/р № 5 в методичке № 4307);

Л/Р № 2: Оперативные переключения (л/р № 6 в методичке № 4307);

Л/Р № 3: Знакомство с высоковольтной аппаратурой (л/р № 7 в методичке № 4307).

1. **Расчётно-графическое задание.**

Аттестация по дисциплине – **ЗАЧЁТ.**

# БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

1. **Лекционные занятия** – максимум:  $7*1 = 7$  (баллов).
2. **Практические занятия** – максимум:  $14*2 = 28$  (баллов).
3. **Лабораторные работы** – максимум:  $3*8 = 24$  (балла).

## **ЗА Л/Р СТАВЯТСЯ СЛЕДУЮЩИЕ БАЛЛЫ:**

- 8 баллов, если студент выполнил и защитил лаб. работу в день выполнения;
  - не более 6 баллов, если лаб. работа защищается в течении недели после выполнения;
  - не более 5 баллов, если лаб. работа защищается спустя 7 дней;
  - не более 4 баллов, если лаб. работа защищается в последние 2 недели перед зачетной неделей.
4. **Расчётно-графическое задание** – максимум: **21** балл (при сдаче на проверку на 12 неделе и защите не позднее 13 недели).  
При защите после 13 недели – минус 3 балла за каждую последующую неделю.
  5. **ЗАЧЁТ** – **20** баллов.

# СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

- 1. Основной учебник:** Электрическая часть тепловых электростанций / Ред. А.Л. Церазов.-М.: 1980.
- 2. Справочник:** Неклепаев Б.Н. Электрическая часть электростанций и подстанций. М.: Энергия, 1986.
- 3. Дополнительный учебник:** Рожкова Л.Д., Козулин И.С. Электрооборудование станций и подстанций. М.: Энергия, 1980.
- 4. Для РГЗ:** Электрооборудование электрических станций : метод. указания к выполнению РГР для студентов ФЭН по направлению "Теплоэнергетика и теплотехника" всех форм обучения [сост. : А. В. Белоглазов, Г. М. Глазырина]. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2014. - 30 с.
- 5. Для лабораторных работ:** № 4307 Электрические станции и подстанции : метод. ук. к выполнению лабораторных работ № 5, 6, 7, 8 : учеб.-метод. пособие сост.: В. И. Ключенович, Г. А. Сарапулов, Г. М. Глазырина, М. А. Купарев, Л. Б. Быкова. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2013. - 75 с.

# **1. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА**



## **1.1. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ПРОСТЕЙШЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

# СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

- электрические станции;
- электрические сети;
- тепловые сети;
- потребители электрической энергии;
- потребители тепловой энергии.

# СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

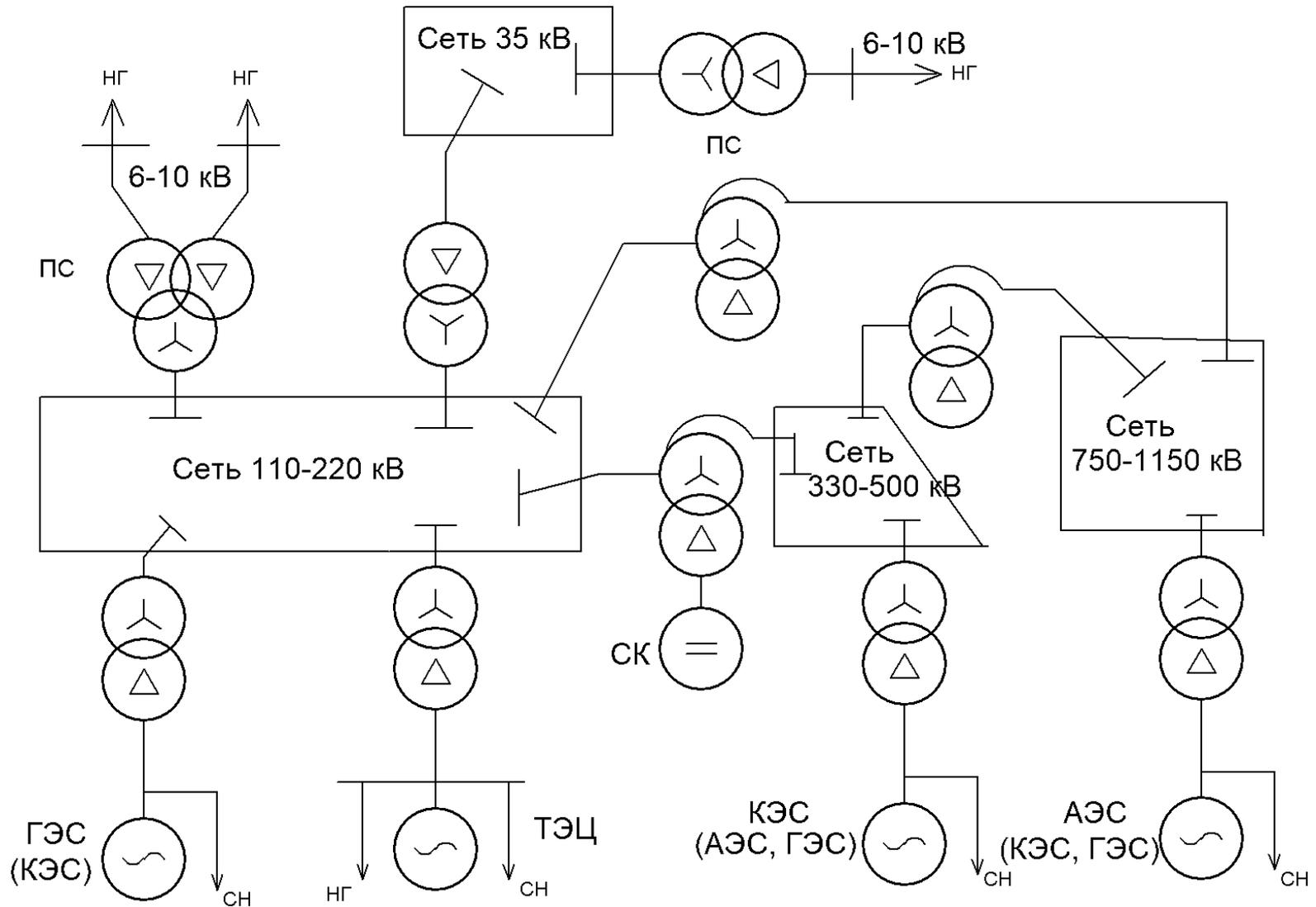
## ЭЛЕКТРОУСТАНОВКИ:

- электрические станции;
- **электрические подстанции;**
- **электрические линии;**
- потребители электрической энергии.

---

электрические подстанции + электрические линии  
=  
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СЕТЬ

# СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СЕТИ



# ТИПЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

**ТЭС:**

**КЭС, ТЭЦ, ГТЭС, паротурбинные (ПТ);**

**АЭС;**

**ГЭС, ГАЭС;**

**СЭС (гелио);**

**ГТЭС (геотермальные);**

**ДЭС;**

**ВЭС;**

**ПЭС;**

**ЭС с магнитогидродинамическими (МГД)**

**генераторами.**

# Производство электроэнергии (в 2018 г.) трлн. кВт·ч

		Доля (%)	
		ГЭС	АЭС
Азия	12.1		
Европа (ЕС)	3.3	<b>10</b>	<b>25</b>
СНГ	1.5		
<b>(в т.ч. Россия)</b>	1.1	<b>17</b>	<b>18</b>
Северная Америка	5.4		
Остальные	4.3		
<b>Всего мир</b>	<b>26.6</b>		<b>10,9</b>

# Производство электроэнергии (2018 г.)

## трлн. кВт·ч

### Доля АЭС (%)

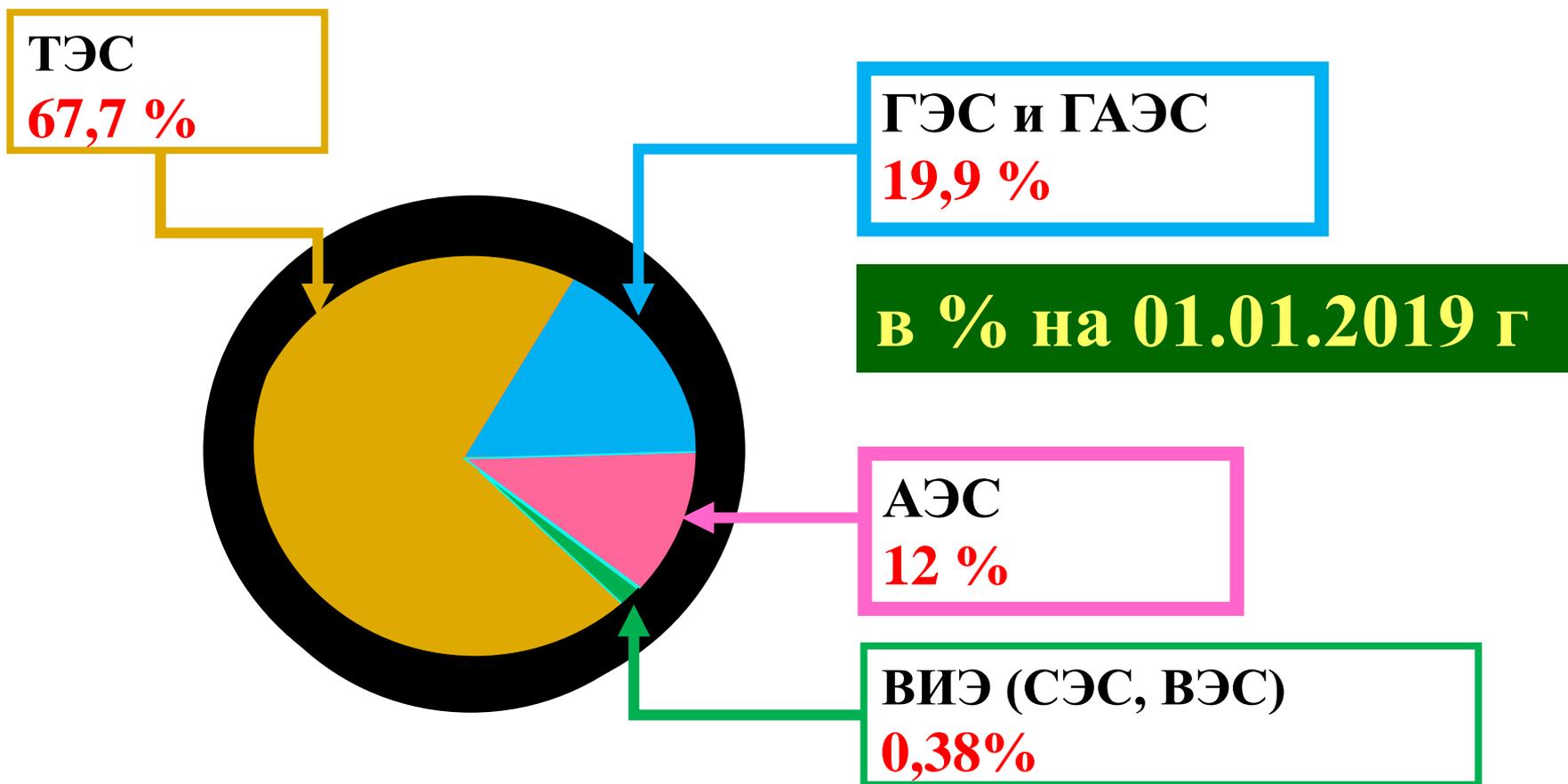
Франция	72
Бельгия	50
Швеция <sub>(2014 год)</sub>	46.3
Венгрия	46
Южн. Корея	27
Швейцария	33
Испания	22.6
Япония	3.6
Великобритания	19.5
США	20

### Доля ГЭС (%)

Парагвай	99.6
Норвегия	99.6
Замбия <sub>(2010 год)</sub>	98.7
Бразилия	71.8
Колумбия <sub>(2010 год)</sub>	75.5
Австрия	65
Канада	60.4
Сев. Корея	52
Швейцария	56
Сирия <sub>(2010 год)</sub>	50.8

# СТРУКТУРА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ РФ

$P_{уст \Sigma} = 243,2 \text{ ГВт}$



# ВЫРАБОТКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ РФ

$W_{\text{ЭН}} \Sigma = 1091,7$  млрд кВт·ч

**ТЭС 57,8 %**  
(630,7 млрд кВт·ч)

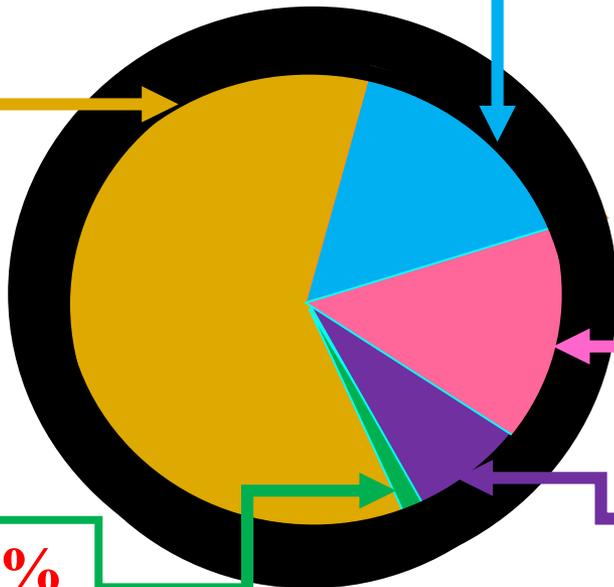
**ГЭС и ГАЭС 17,7 %**  
(193,7 млрд кВт·ч)

**в % за 2018 г**

**АЭС 18,7 %**  
(204,3 млрд кВт·ч)

**ЭС пром. предприятий 5,7 %**  
(62 млрд кВт·ч)

**ВИЭ 0,1%**  
(0,98 млрд кВт·ч)



# ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА РОССИИ

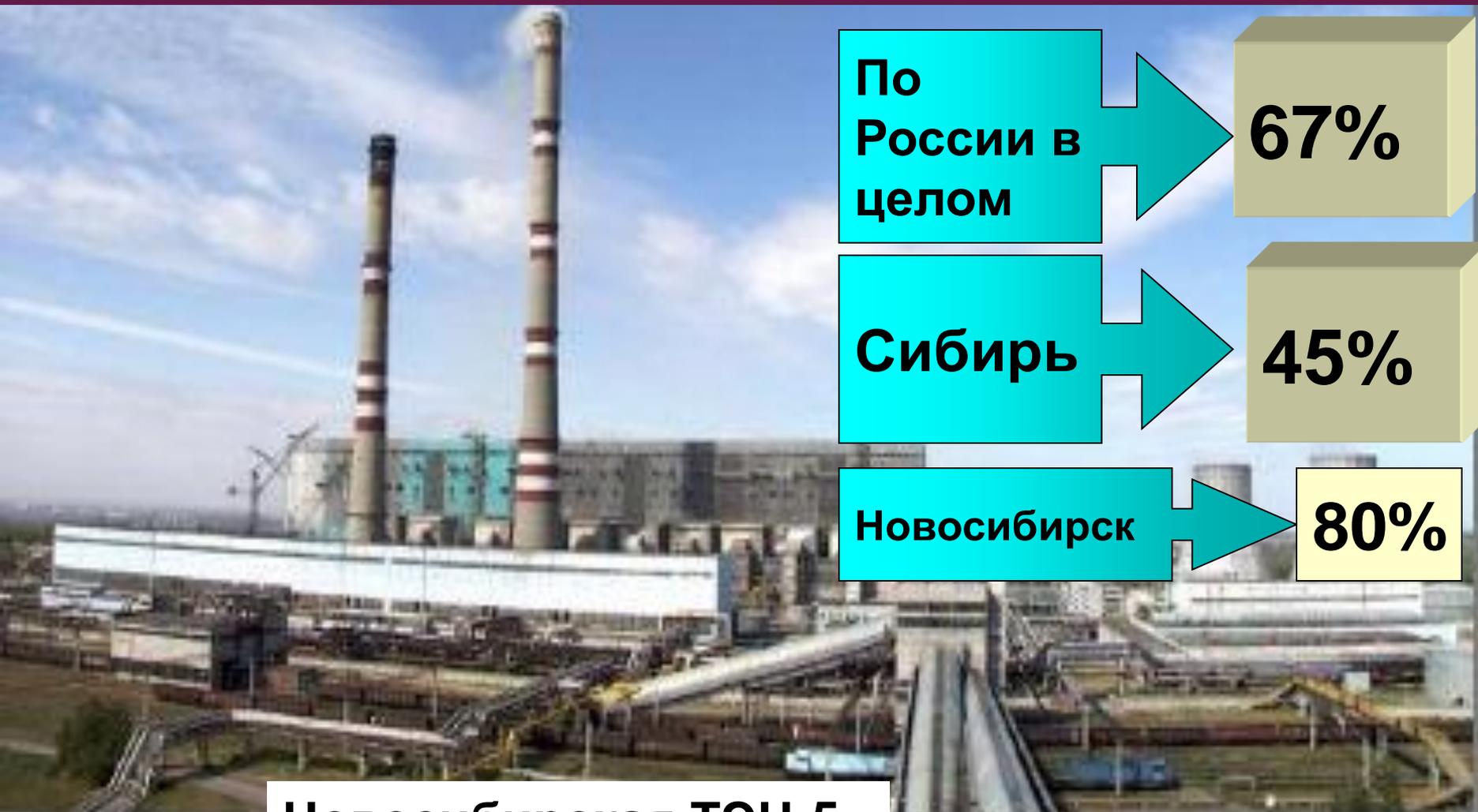
## ОСНОВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ РФ

**- ТЭС,**

**$P_{уст} \approx 68\%$**

**Вырабатывают  $57,8\%$  всей  
электроэнергии страны.**

# Тепловые электрические станции



Новосибирская ТЭС-5

# НОМИНАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

**Шкала стандартных номинальных напряжений (кВ):**

<b>0.22</b>	<b>0.38</b>	<b>0.66</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>10</b>	<b>20</b>			
<b>35</b>	<b>110</b>	<b>150</b>	<b>220</b>	<b>330</b>	<b>500</b>	<b>750</b>	<b>1150</b>		

**Номинальные напряжения генераторов (кВ):**

<b>3.15</b>	<b>6.3</b>	<b>10.5</b>	<b>11.5</b>	<b>13.8</b>					
<b>15.75</b>	<b>16.5</b>	<b>18</b>	<b>20</b>	<b>24</b>	<b>27</b>				

# МОЩНОСТИ ДЛЯ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ

$$S = P + jQ$$

$$P = S \cos \varphi = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi = \sqrt{3} U_{л} I_{\phi} \cos \varphi$$

$$Q = S \sin \varphi = 3U_{\phi} I_{\phi} \sin \varphi = \sqrt{3} U_{л} I_{\phi} \sin \varphi$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

# ПОТЕРИ ЭНЕРГИИ И ПОТЕРИ МОЩНОСТИ

## Потери энергии:

$$\Delta W = \sum_i \Delta P_i t_i, \text{ где}$$

$\Delta P_i$  - потери мощности

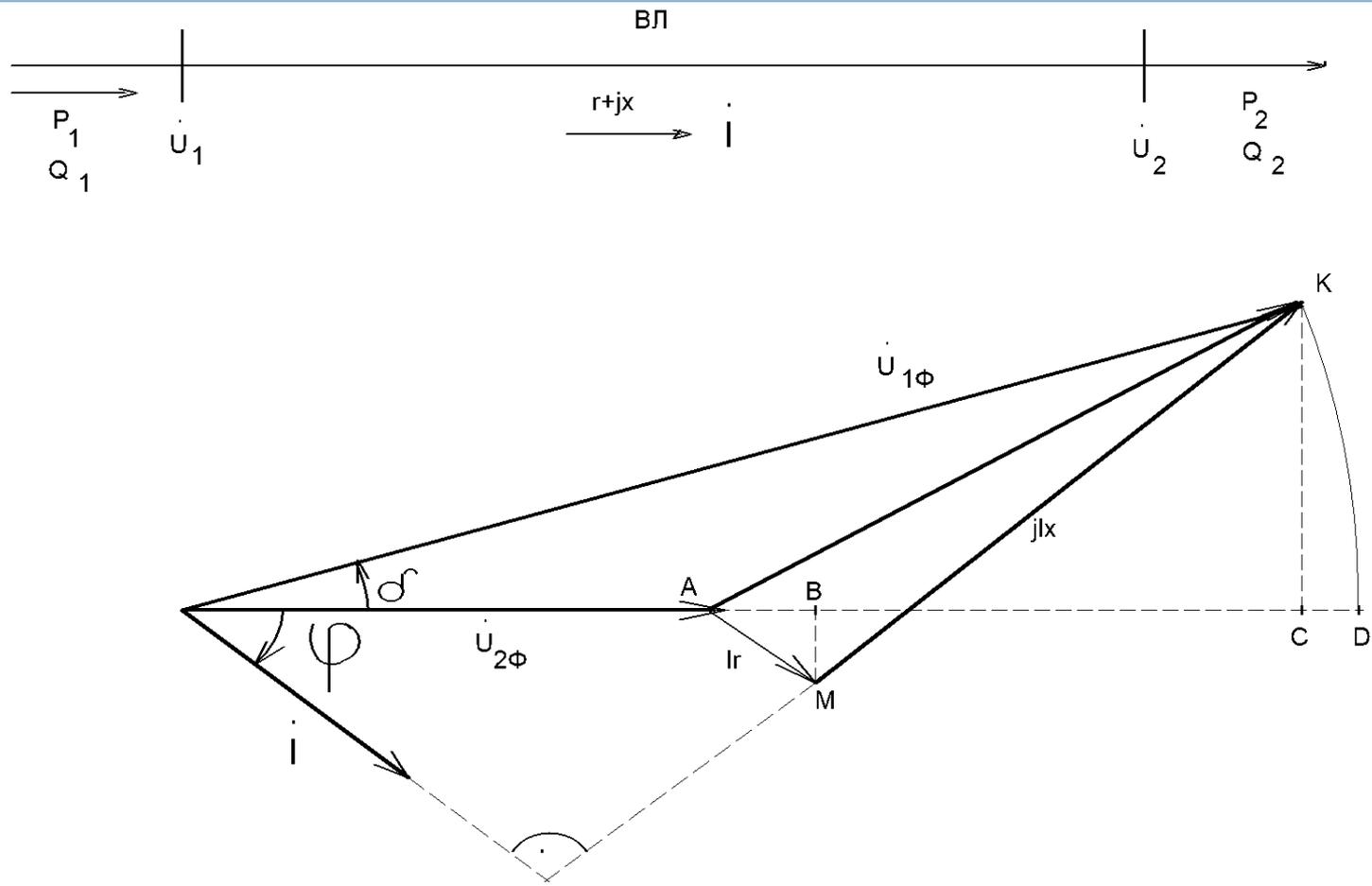
$t_i$  - продолжительность потерь мощности

## Потери мощности:

$$\Delta P = 3I_{\phi}^2 r = \frac{P^2 + Q^2}{U_{л}^2} r$$

$$\Delta Q = 3I_{\phi}^2 x = \frac{P^2 + Q^2}{U_{л}^2} x$$

# ПОТЕРЯ И ПАДЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ



Векторная диаграмма определения потери и падения напряжения

# ПОТЕРЯ И ПАДЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ

$$\dot{U}_{1\phi} = \dot{U}_{2\phi} + \dot{I} r + j \dot{I} x$$

$$AC = AB + BC = Ir \cos \varphi + Ix \sin \varphi$$

$$\Delta U = \frac{r\sqrt{3}U_2 I \cos \varphi + x\sqrt{3}U_2 I \sin \varphi}{U_2} = \frac{P_2 r + Q_2 x}{U_2}$$



## **1.2 ПОТРЕБИТЕЛИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ**

# Диаграмма потребления электроэнергии

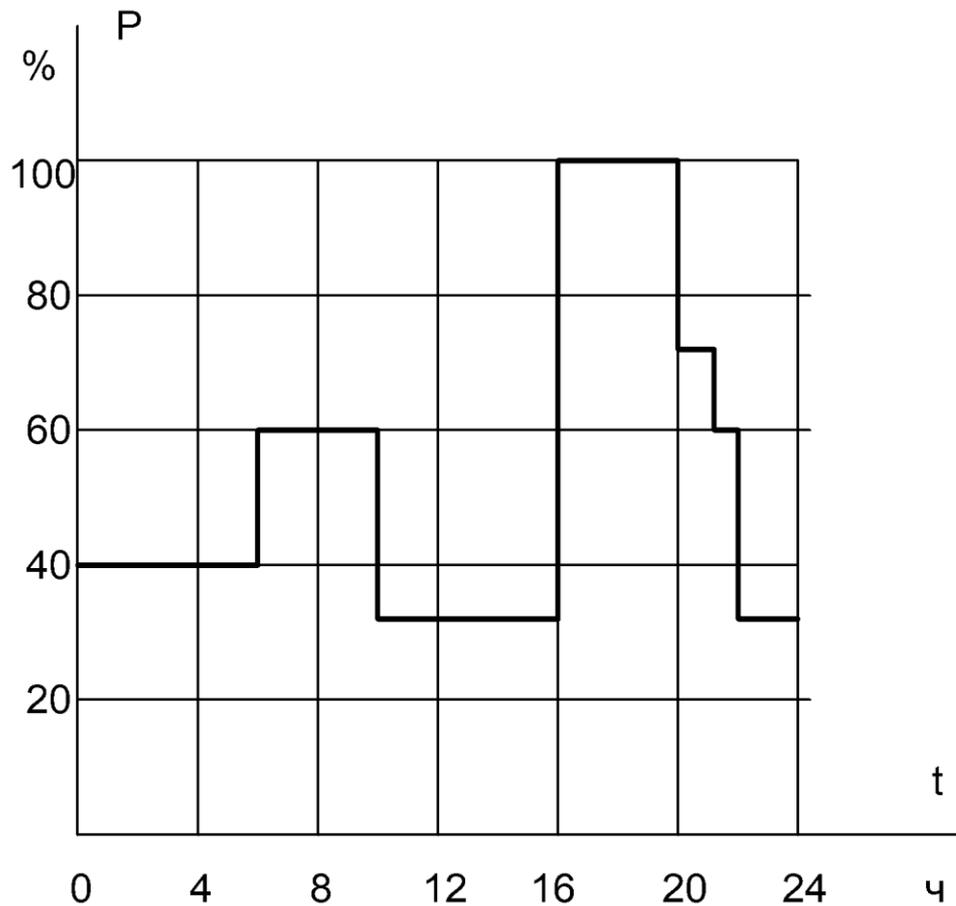


1- пром. и стр-во	55.6%
2- с.н. эл.ст.	14.7%
3- коммун.-быт. хоз-во	12%
4- сельское хозяйство	8.4%
5- транспорт	7.4%
6- экспорт	1.4%

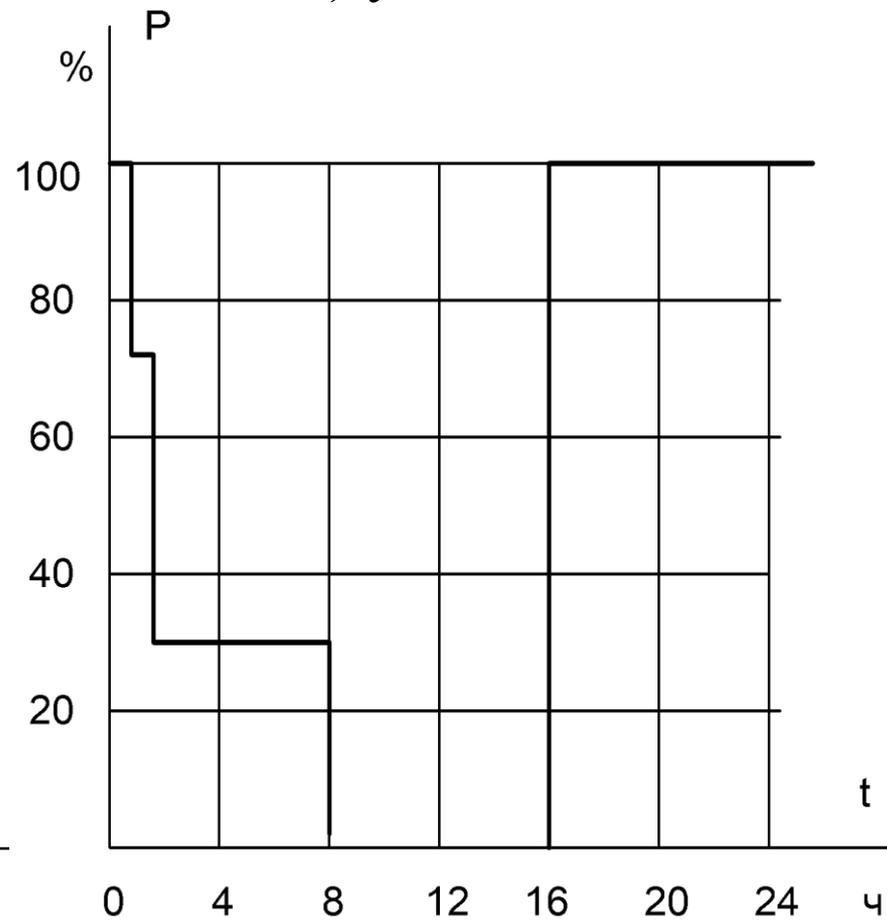
# Суточные графики нагрузок

## Освещение

а) жилых помещений

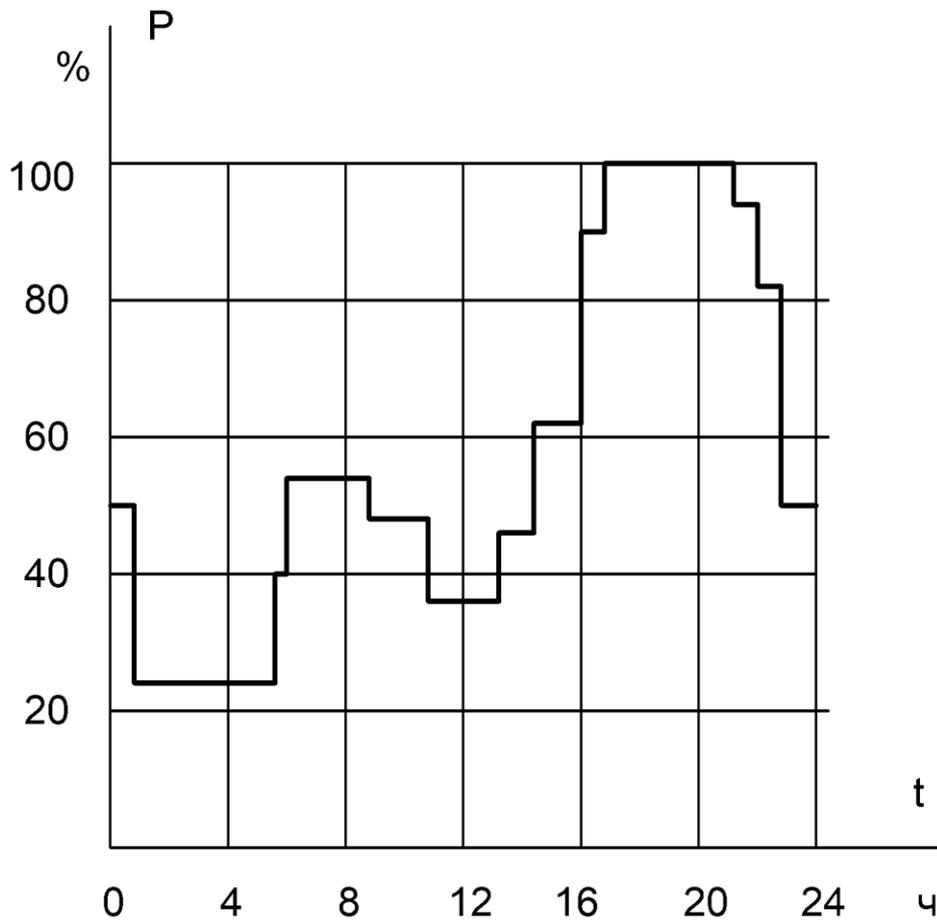


б) уличное

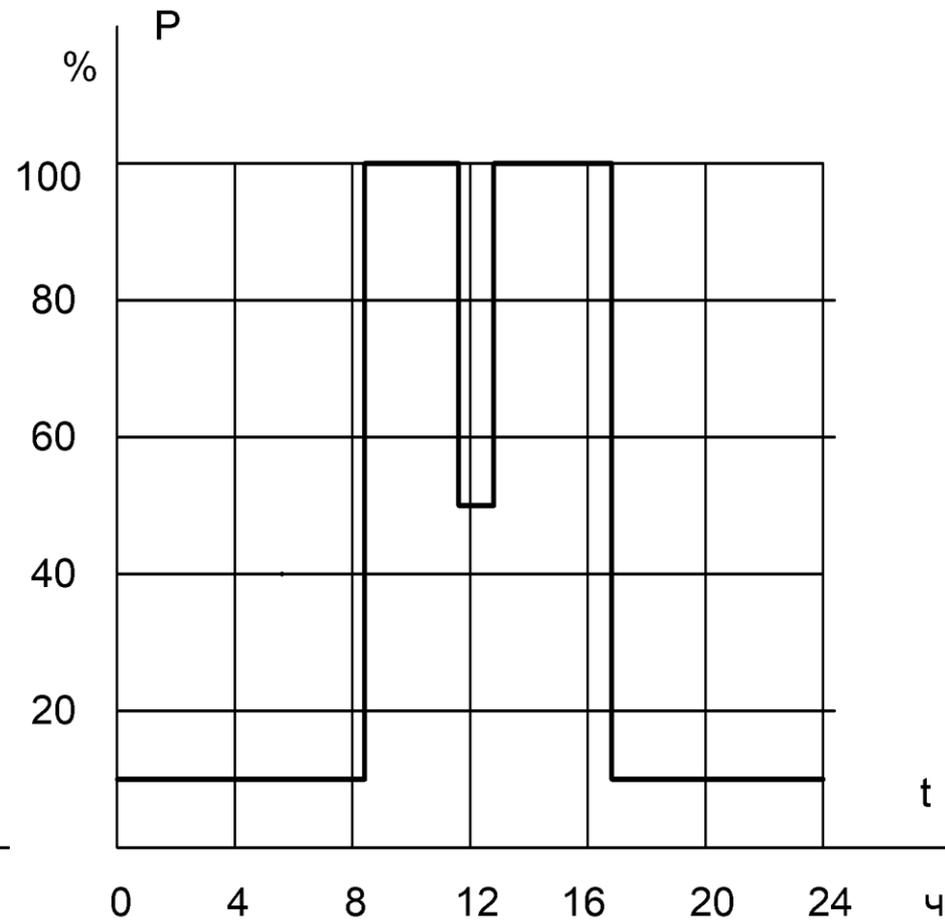


# Суточные графики нагрузок

в) общее потребление города с населением до 250 тыс. чел

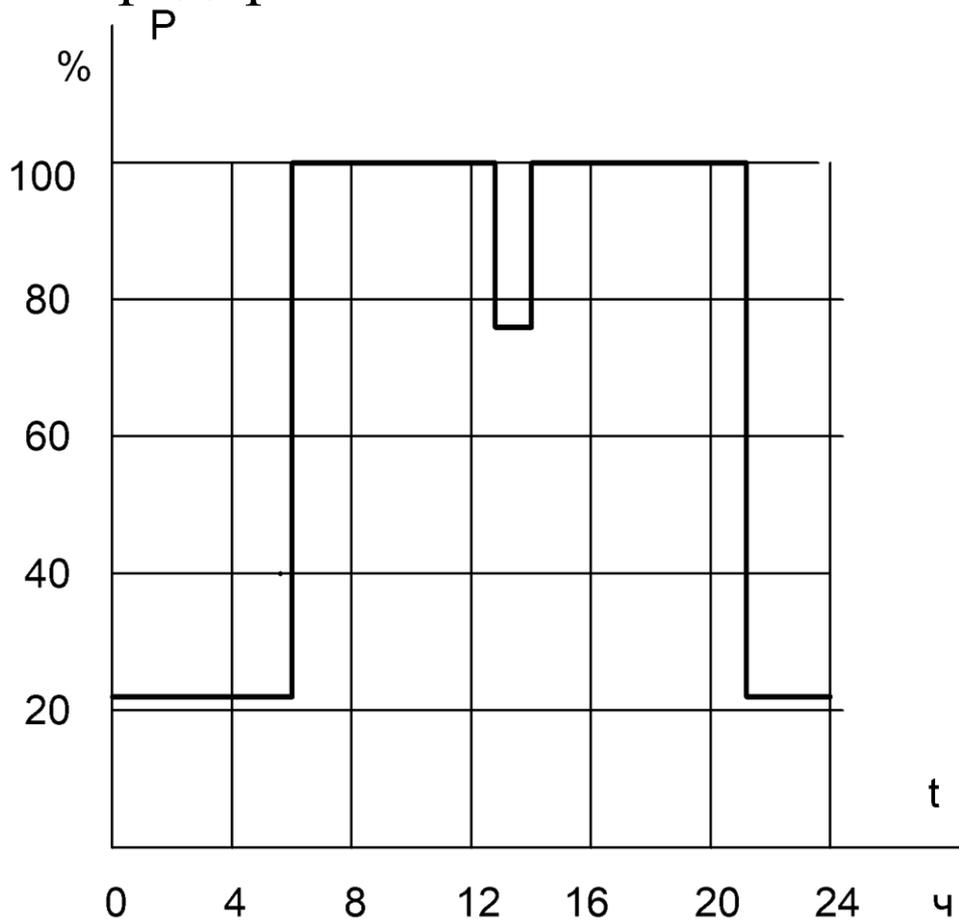


г) односменное промышленное предприятие

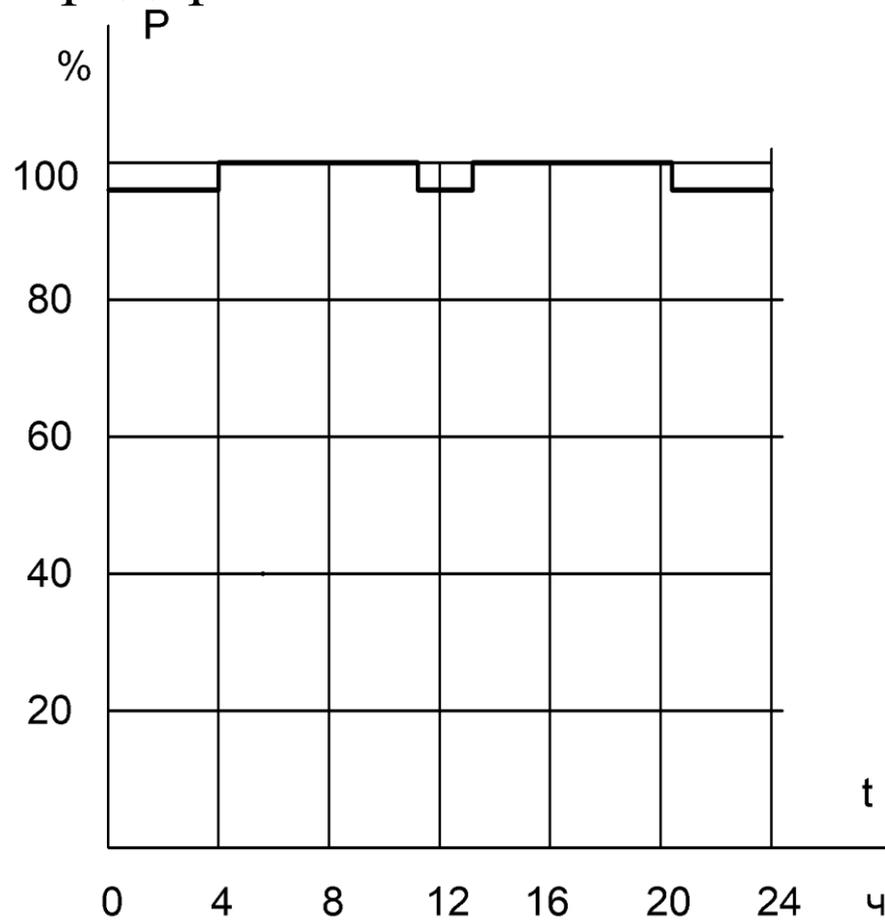


# Суточные графики нагрузок

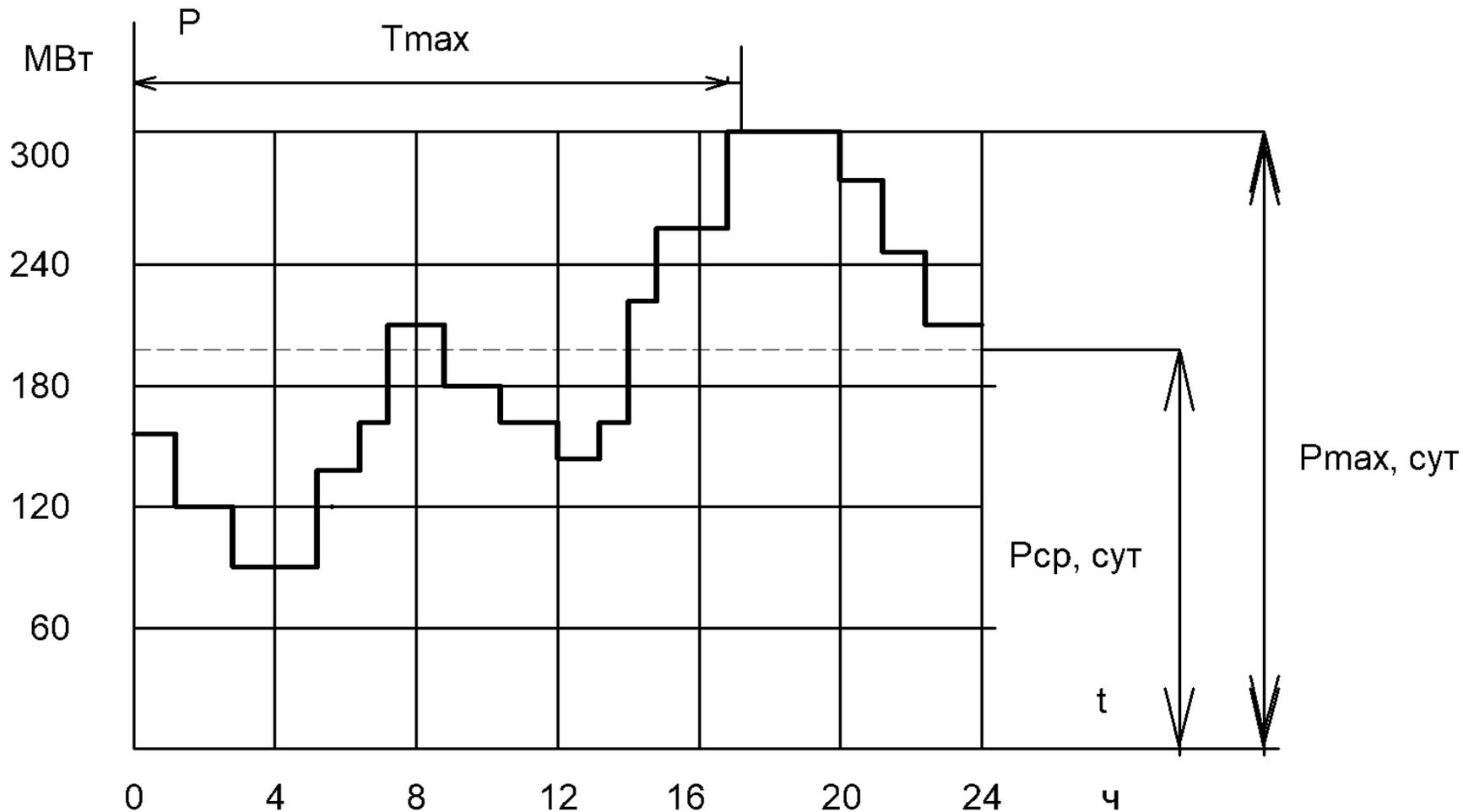
д) двухсменное промышленное предприятие



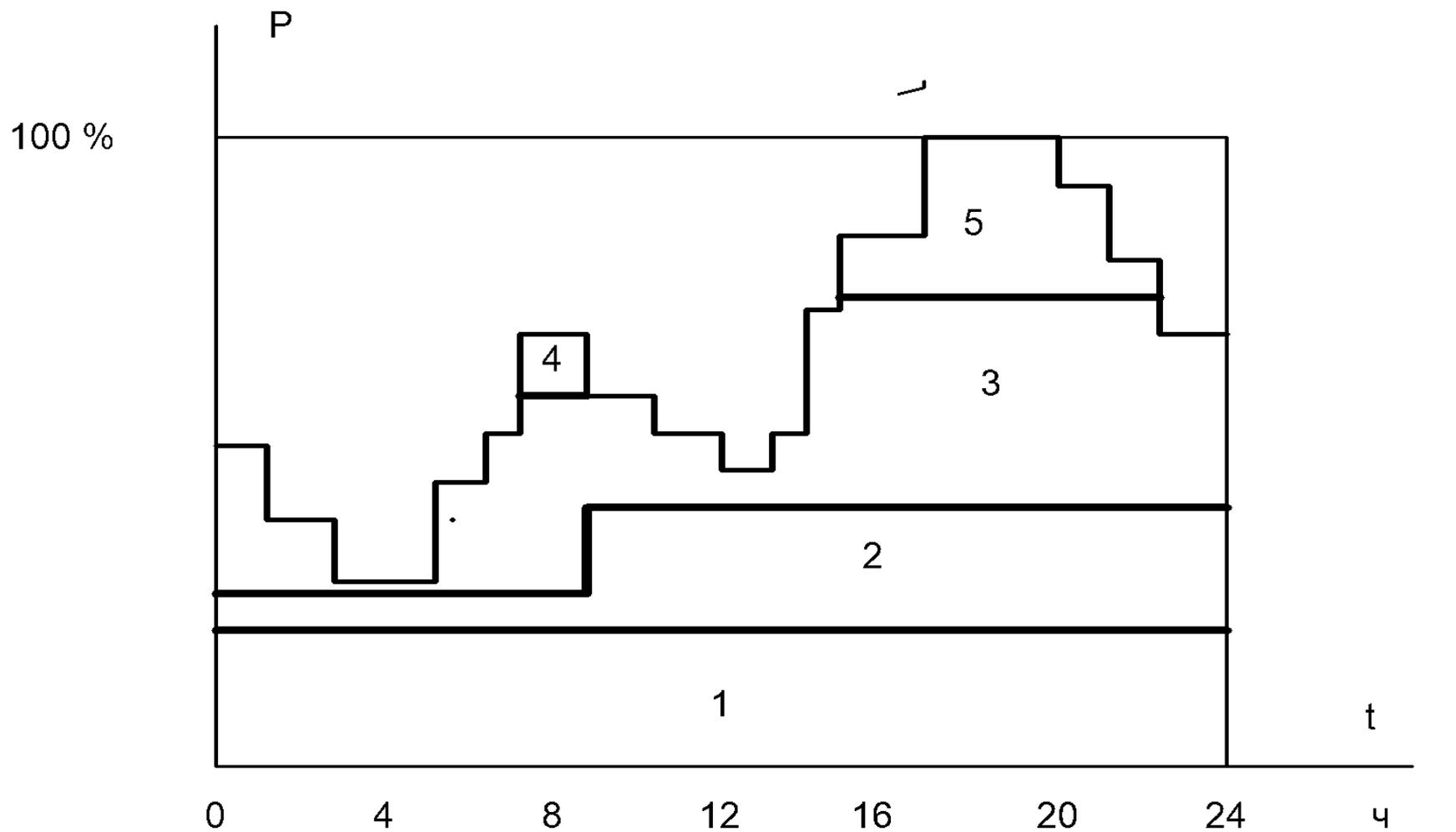
г) трёхсменное промышленное предприятие



# Суточный график нагрузки электрической системы



# Участие электростанций в выработке электроэнергии



## Формулы

$$W = \sum P_i t_i \quad (1)$$

$$T_{\max} = \frac{W}{P_{\max}} \quad (2)$$

$$T_{\text{уст}} = \frac{W}{P_{\text{уст}}} \quad (3)$$

$$P_{\text{ср.сут}} = \frac{W}{24} = \frac{\sum P_i t_i}{24} \quad (4)$$

$$K_{3П\_ГР} = \frac{W}{P_{\max} T} = \frac{P_{\text{ср}}}{P_{\max}} \quad (5)$$

$$КИУМ = \frac{100 \cdot W_{\text{год}}}{P_{\text{уст}} \cdot \tau_{\text{год}}} = \frac{100 \cdot P_{\text{ср}}}{P_{\text{уст}}}, \% \quad (6)$$

# 1.3 КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

**Согласно ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения»**

**(дата введения 2014-07-01)**

# Частота

**Отклонение частоты:**  $\Delta f = f_m - f_{ном}$ ,

где:  $f_{ном}$  - номинальное значение частоты напряжения электропитания в электрической сети равно 50 Гц;

$f_m$  - значение основной частоты напряжения электропитания, Гц, измеренное в интервале времени 10 с.

Допускается:

- отклонение +/- 0,2 Гц в течение 95% времени интервала в одну неделю;
- отклонение +/- 0,4 Гц в течение 100% времени интервала в одну неделю.

# Напряжение

## 1. Отклонение напряжения

$$\delta U = U_m - U_{ном}$$

$$\delta U_{\%} = \frac{U_m - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100\%$$

## 2. Колебания напряжения

### 2.1. Доза фликера

Доза фликера - это мера восприимчивости человека к воздействию колебаний светового потока, вызванных колебаниями напряжения в питающей сети, за установленный промежуток времени.

# Напряжение

Нормируются следующие показатели колебаний напряжения:

-кратковременная доза фликера  $P_{st}$ , измеряется в интервале времени 10 мин (**не должна превышать значения 1,38**)

-длительная доза фликера  $P_{Lt}$ , измеряется в интервале времени 2 часа (**не должна превышать значения 1,0**).

## 2.2. Одиночные быстрые изменения напряжения

**Должны быть не более 10 % от ном. напряжения**

# Напряжение

## 3. Несимметрия трехфазной системы

$$\varepsilon_2 = \frac{U_2}{U_{\text{ном}}} 100$$

## 4. Несинусоидальность формы кривой напряжения

$$K_{\text{нс}} \approx \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^n U_v^2}}{U_{\text{ном}}} 100$$