

# Литература

## Основная:

1. Галашов Н.Н. Технологические процессы выработки электроэнергии на ТЭС и ГЭС: учебное пособие / Н.Н. Галашов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 200 с. Размещен по адресу:

[http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/g/GAL/education/TPWE/Tab/Пособие ТПВЭ на ТЭС и ГЭС.pdf](http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/g/GAL/education/TPWE/Tab/Пособие_ТПВЭ_на_ТЭС_и_ГЭС.pdf) .

2. [Галашов, Николай Никитович](#). Режимы работы и эксплуатации ТЭС [Электронный ресурс] : учебное пособие / Н. Н. Галашов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Энергетический институт (ЭНИИ), Кафедра атомных и тепловых электростанций (АТЭС). — 1 компьютерный файл (pdf; 2.4 МВ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2013. — Заглавие с титульного экрана. — Электронная версия печатной публикации. — Доступ из корпоративной сети ТПУ. — Системные требования: Adobe Reader. Схема доступа:

<http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2014/m041.pdf>.

3. Быстрицкий Г. Ф. Общая энергетика (производство тепловой и электрической энергии): учебник для вузов / Г. Ф. Быстрицкий, Г. Г. Гасангаджиев, В. С. Кожиченков. — 2-е изд., стер.— Москва: КноРус, 2014. — 407 с.: ил.— Библиогр.: с. 403-404.. — ISBN 978-5-406-03655-6.

4. Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок / Российская Федерация, Министерство энергетики (Минэнерго России). — Утверждено Приказом Минэнерго России от 24.03. N 115; Зарегистрировано: Министром России 02.04.03, регистрационный N 4358; Согласовано Госгортехнадзором России N БК-03-35/288 от 30.09.02; Согласовано Госстроем России N ЛЧ-7 385/12 от 09.12.02.; Правила вводятся в действие с 1 октября 2003 г.. — Москва: Омега-Л, 2014. — 213 с.. — Безопасность и охрана труда. — ISBN 978-5-370-03394-0.

### **Дополнительная:**

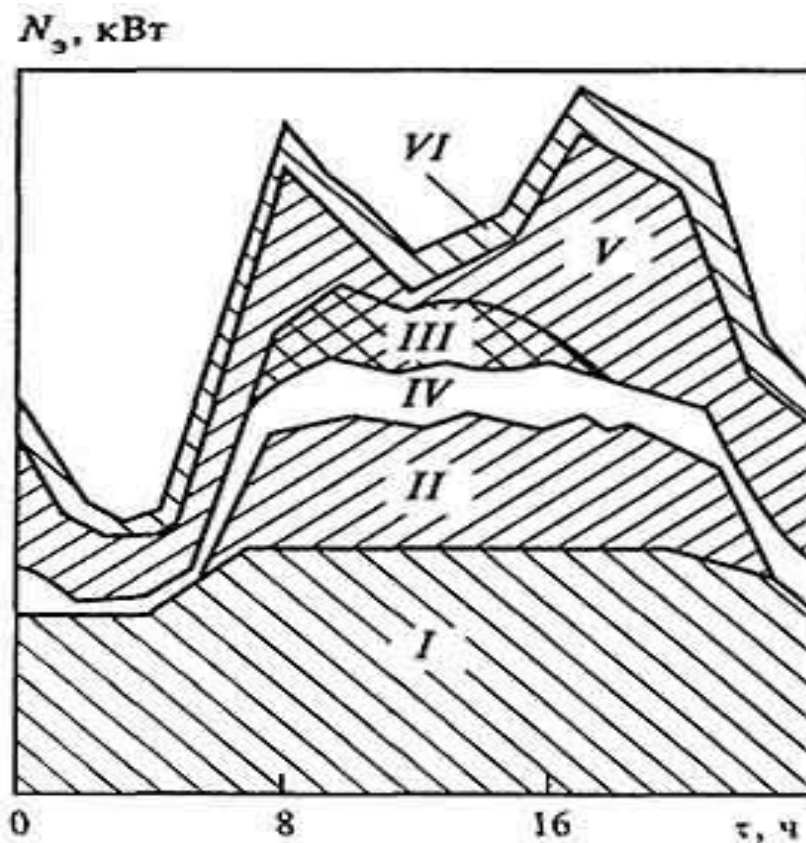
1. Усов С.В., Казаров С.А. Режимы тепловых электростанций. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. 240 с.
2. Гиршфельд В.Я. и др. Режимы работы и эксплуатация ТЭС./ В.Я. Гиршфельд, А.М. Князев, В.Е. Куликов. – М.: Энергия, 1980. – 288 с.
3. Иванов В.А. Режимы мощных паротурбинных установок. – Л.: Энергоатомиздат, 1986.- 248 с.
4. Иванов В.А. Стационарные и переходные режимы мощных паротурбинных установок. – Л.: Энергия, 1971.- 280 с.
5. Иванов В.А. Регулирование энергоблоков. – Л. Машиностроение, 1982. – 311 с.

## **ГРАФИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК**

Режимы работы электростанций, требования к их маневренным характеристикам и экономичности в первую очередь определяются характеристиками графика электрических нагрузок и в какой области графика они работают.

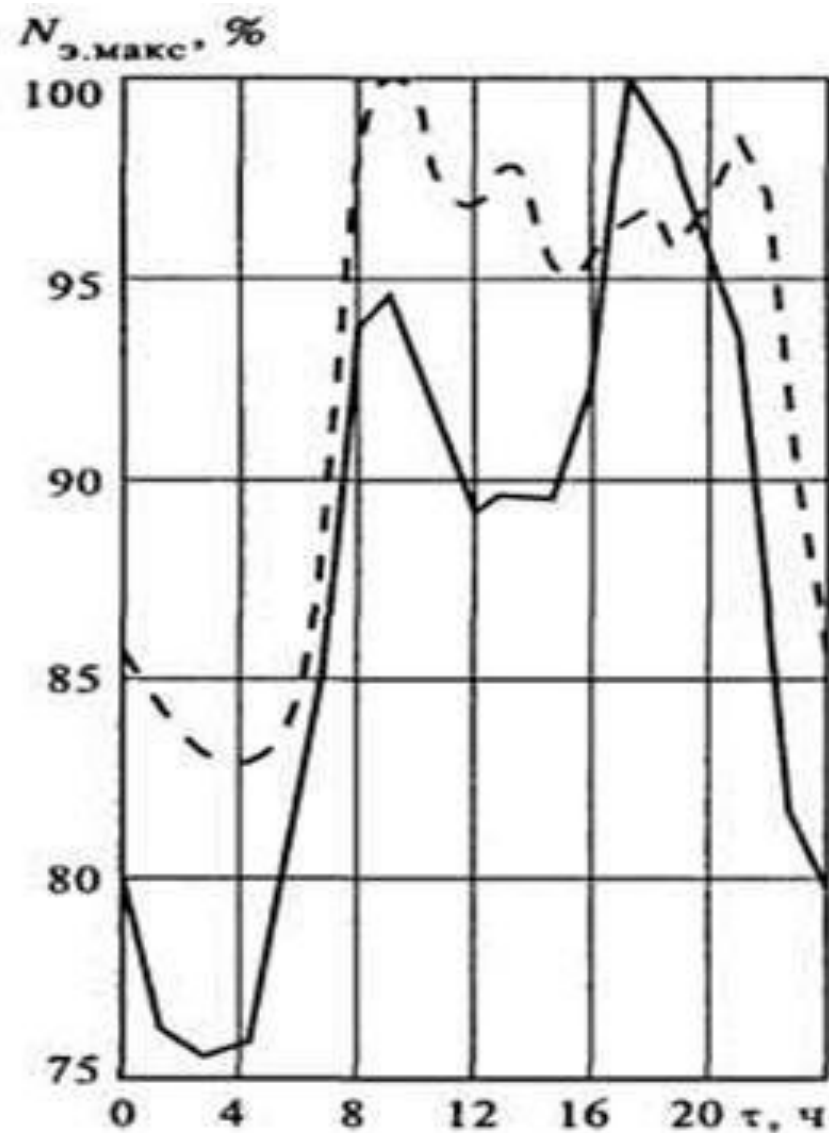
Электрические станции (ЭС) работают в энергосистеме параллельно, покрывая общую электрическую нагрузку системы и одновременно тепловую нагрузку своего района. Суммарная электрическая нагрузка системы складывается из нагрузки, связанной с обеспечением потребителей электроэнергией для производственных целей, привода двигателей железнодорожного и городского транспорта, и нагрузки, связанной с расходом энергии на освещение и бытовые нужды, а также из затрат на механизмы собственных нужд ЭС.

# Суточный график нагрузки энергосистемы



I - III - соответственно трех-, двух- и односменные промышленные предприятия; IV - электрифицированный транспорт; V - осветительно-бытовая нагрузка; VI - потери и собственные нужды станции

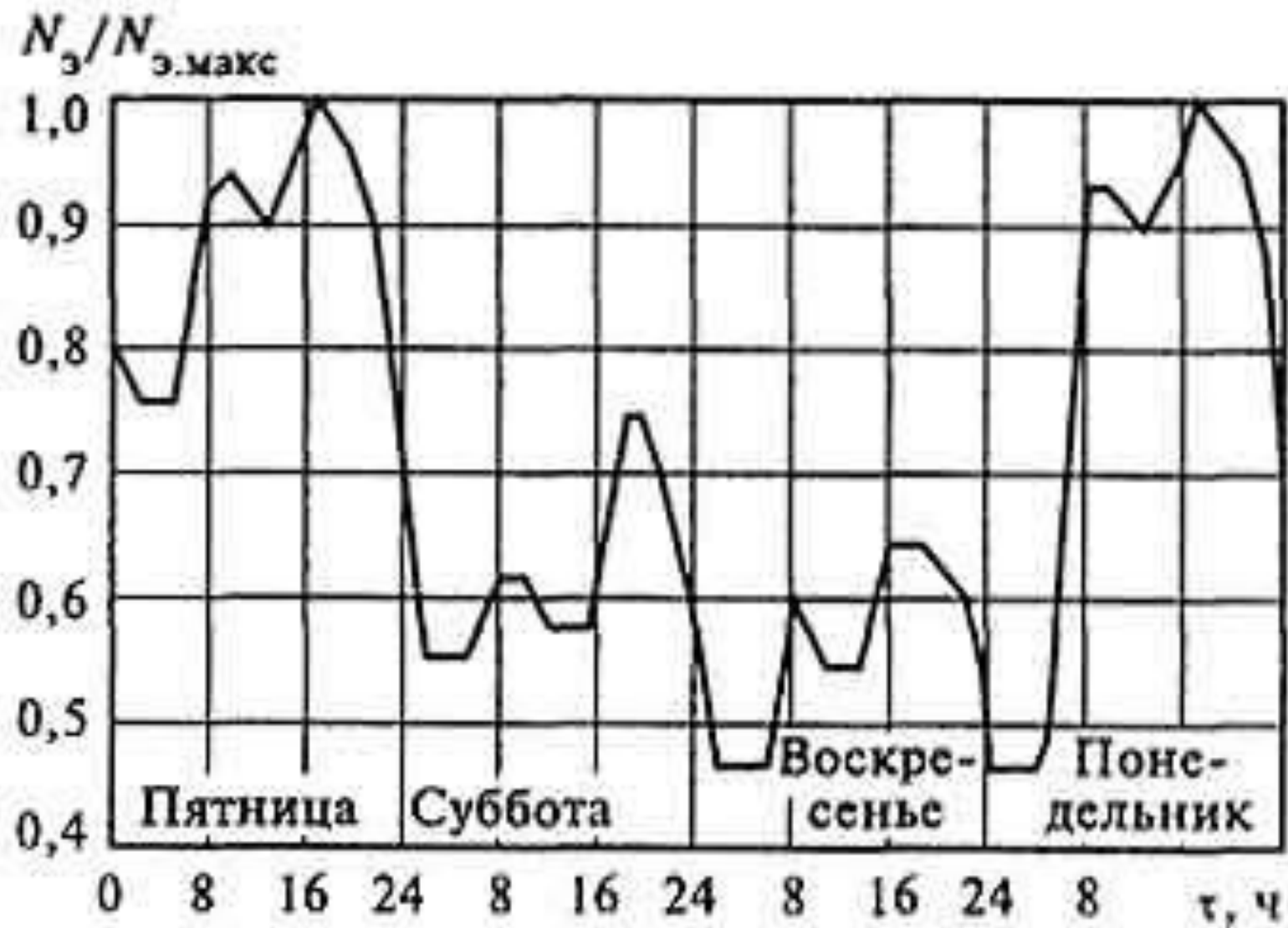
## Суточные графики нагрузки энергосистемы для лета и зимы



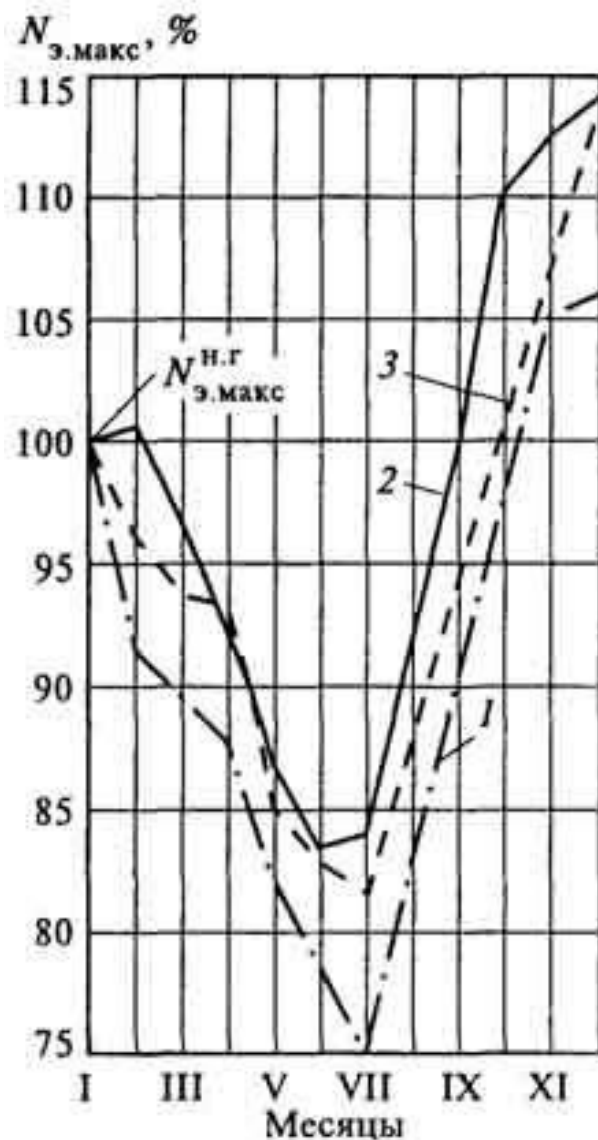
Сплошной - лето

Пунктир - зима

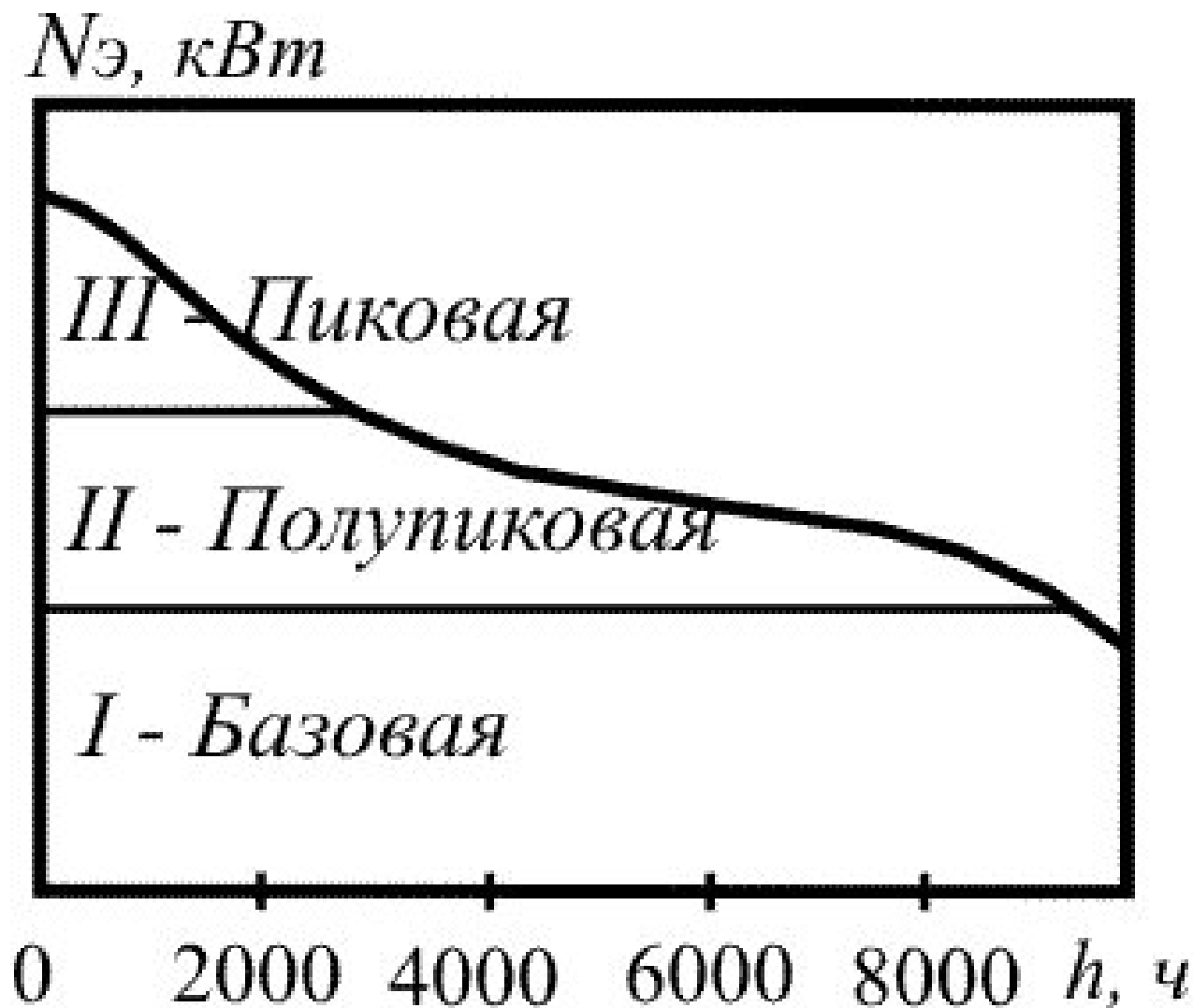
## Суточные графики нагрузки энергосистемы по дням недели



Годовой график месячных максимумов нагрузки энергосистемы  
служит для планирования ремонтов оборудования



# Годовой график продолжительности нагрузок энергосистемы



## Характеристики суточного графика нагрузок

1. Максимальная активная мощность  $N_{\text{мак}}$ .
2. Минимальная активная мощность  $N_{\text{мин}}$ .
3. Диапазон регулирования нагрузки  $N_{\text{мак}} - N_{\text{мин}}$ .
4. Коэффициент неравномерности графика  $K_n = N_{\text{мин}}/N_{\text{мак}}$ .
5. Средняя нагрузка  $N_{\text{ср}} = \text{Эсут}/24$ , где  $\text{Эсут}$  – выработка э/э за сутки.
6. Коэффициент заполнения графика  $K_z = \text{Эсут}/(24 \cdot N_{\text{мак}})$ .
7. Число часов использования максимальной мощности  $T_{\text{мак}} = \text{Эсут}/N_{\text{мак}}$ .
8. Скорость изменения нагрузки (мгновенная  $\omega = dN/dt$ ,  
интервальная  $\omega_{\text{и}} = 100\Delta N/(N_{\text{мак}} \cdot \Delta t) \text{ \%}/\text{мин}$ ).
9. Колебания нагрузки (толчки – в пределах сотен МВт при включении (отключении) мощного оборудования, колебание – в пределах десятков МВт из-за случайного процесса включения потребителей, дрожание – в пределах МВт из-за нечувствительности систем регулирования).

## Характеристики годового графика нагрузок

1. Коэффициент использования установленной мощности  
 $K_{\text{и}} = \text{Эгод}/(T_{\text{год}} \cdot N_{\text{уст}}) = N_{\text{ср}}/N_{\text{уст}}$ .
2. Число часов использования установленной мощности  
 $T_{\text{и.уст}} = \text{Эгод}/N_{\text{уст}}$ .

## Способы выравнивания графиков нагрузок

1. Применение энергосберегающих технологий потребления ЭЭ.
2. Внедрение ГАЭС и ВАЭС (потребление ЭЭ ночью и выдача ее в пики нагрузки).
3. Применение потребителей–регуляторов (потребление ЭЭ ночью и снижение потребления или останов в пики нагрузки).
4. Использование перетоков ЭЭ из одних систем в другие.
5. Применение многоставочной системы тарифов на ЭЭ (низкий ночью и высокий в пики нагрузки).
6. Применение водородных надстроек на ТЭС и АЭС для производства водородного топлива во время ночного провала и использования его во время пиков нагрузки.

## **Структура генерирующих мощностей энергосистем**

**ТЭС** – тепловые электрические станции – 62...64%:

КЭС (ГРЭС) – конденсационные ЭС (государственные районные ЭС) – отпускают электроэнергию;

ТЭЦ – теплоэлектроцентрали – отпускают электроэнергию и теплоту в виде пара и горячей воды;

ГТЭС – газотурбинные ЭС - отпускают электроэнергию;

ГТЭЦ – газотурбинные ТЭЦ - отпускают электроэнергию и теплоту;

ПГУ – парогазовые установки – комбинация паро- и газотурбинных установок.

**ГЭС** – гидроэлектростанции – 18...19%:

ГАЭС – гидроаккумулирующие электростанции.

**АЭС** – атомные электрические станции – 19...20%:

АКЭС - атомные конденсационные электростанции;

АТЭЦ - атомные теплоэлектроцентрали.

**СЭС, ВЭС, ГеоТЭС, БиоТЭС, приливные ЭС** – нетрадиционная энергетика – 0,2...0,5%.

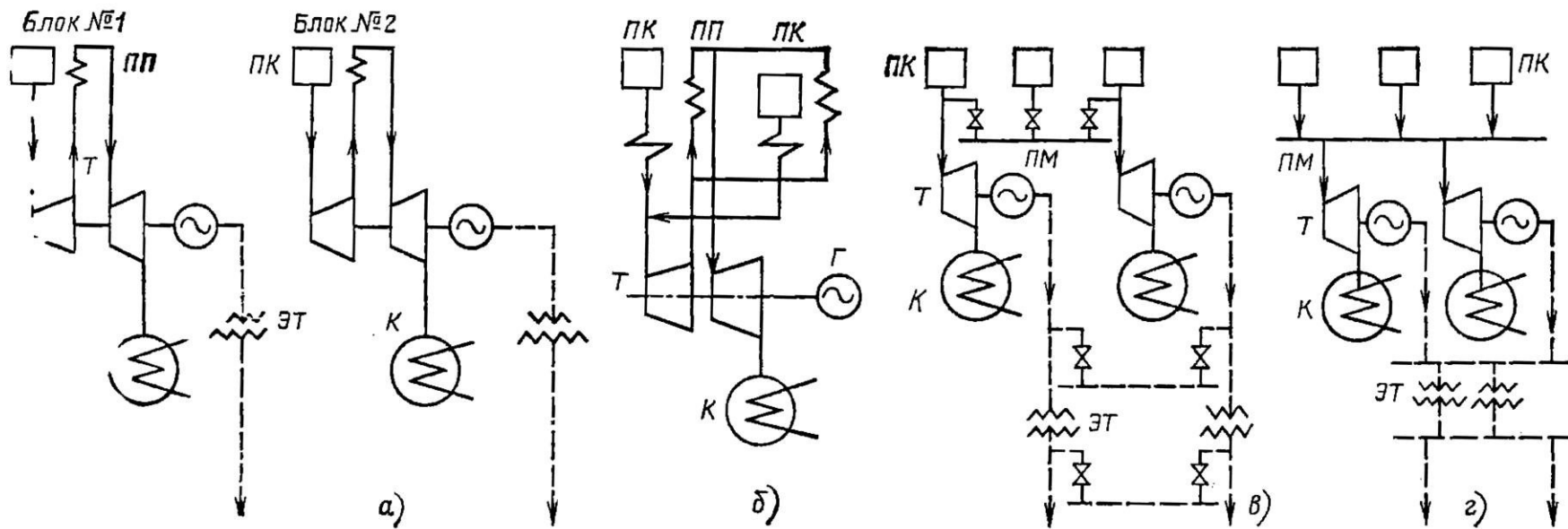
## **Области суточного графика нагрузок**

1. Базовая – от 0 до  $N_{\text{мин}}$ .
2. Полупиковая – от  $N_{\text{мин}}$  до нижнего дневного провала.
3. Пиковая – от нижнего дневного провала до  $N_{\text{мак}}$ .

## **Области годового графика нагрузок**

1. Базовая – число часов использования установленной мощности  $> 6000$  час/год (АЭС, ТЭЦ по тепловому графику, мощные блоки КЭС, ПГУ, ГЭС).
2. Пиковая - число часов использования установленной мощности  $< 2000$  час/год (ГЭС, ГТЭС, ТЭЦ по электрическому графику, ПГУ, перетоки ЭЭ).
3. Полупиковая - от 2000 до 6000 час/год (блочные и неблочные КЭС, ПГУ, ГЭС).

# Технологические структуры ТЭС



## **Характеристики маневренности оборудования ЭС**

1. Диапазон регулирования нагрузки (минимальная и максимальная нагрузки).
2. Приемистость (способность выполнять заданное изменение нагрузки).
3. Мобильность (подхват нагрузки вращающимся резервом при падении частоты).
4. Инерционность процессов изменения нагрузки (постоянная времени переходного процесса).
5. Время пуска из различных тепловых состояний.

## Характеристика ЭС по маневренности

Наиболее маневренными являются ГЭС и ГТЭС они имеют большой диапазон и большую скорость изменения нагрузки, малое время пуска и малую инерционность переходных процессов.

ГЭС, если имеется достаточный запас воды в водохранилище, используют в базовой области графика, если воды мало, то в пиковой.

ГТЭС из-за низкой экономичности используют в основном в пиковой области.

Наименее маневренными являются АЭС, они используются только для покрытия базовых нагрузок.

ТЭЦ при выработке электроэнергии только на отпускаемом тепле (по тепловому графику с минимальным расходом пара в конденсатор) имеют низкую маневренность и используются для покрытия базовых нагрузок. Но они могут работать также по электрическому графику (с повышенным расходом пара в конденсатор), при этом их маневренность высокая, но низкая экономичность, поэтому в этом режиме их используют только в пиковой области графика.

Мощные блочные КЭС имеют высокую экономичность и средние маневренные характеристики поэтому их используют в базовой и полупиковой области графика.

ПГУ имеют высокую экономичность и высокие маневренные характеристики поэтому их можно использовать в любой области графика.

Суточный график электрической нагрузки покрывается базовыми, пиковыми и полупиковыми электростанциями. При этом базовые электростанции работают непрерывно с высокой (близкой к номинальной) нагрузкой, а пиковые включаются лишь в часы, когда требуется покрыть верхнюю часть графика (пики). Полупиковые установки при уменьшении общей электрической нагрузки либо переводятся на пониженные нагрузки, либо выводятся в резерв. Многие агрегаты, несущие промежуточную нагрузку, останавливаются также на субботу, воскресенье и праздничные дни.

Пиковую область графика часто покрывают за счет перетоков из других энергосистем.

## Пути повышения доли маневренных мощностей энергосистем

1. Создание ГТУ с высокими КПД ( $> 40\%$ ).
2. Широкое внедрение ПГУ.
3. Увеличение доли ГЭС и ГАЭС.
4. Создание мощных полупиковых блоков 500...800 МВт с упрощенной тепловой схемой, высокими маневренными характеристиками и низкими капиталовложениями.
5. Создание базово-маневренных блоков ТЭС с возможностью перегрузки на 15...20%.
6. Внедрение на ТЭЦ технологий, повышающих их маневренные характеристики (установка аккумуляторов теплоты, перевод отпуска теплоты с отборов турбин на котлы).