

# Тепловые электрические станции (Введение в специальность)

## Лекция 2

### Общие понятия об энергетике

***«Истина делает Вас свободными,  
а знания – богатыми»***

***(Иоанн. 9: 32)***

**Ефимов Николай Николаевич – проф., д.т.н., зав каф. ТЭСиТ**

# Что такое энергетика

- Энергетика – область хозяйства, охватывающая энергетические ресурсы, выработку, преобразование, передачу, сохранение и использование различных видов энергии
- Энергетика - одна из форм природопользования
- Электроэнергетика – отрасль электротехники, занимающаяся проблемами получения больших количеств электрической энергии, передачи этой энергии на расстояние и распределения ее между потребителями
- Теплоэнергетика – отрасль теплотехники, занимающаяся проблемами производства тепловой энергии, передачи этой энергии на расстояние и распределения ее между потребителями
- Человечество практически за одно столетие стало

# Пределы получения энергии

- Технически возможный объем получаемой энергии практически не ограничен
- Однако энергетика имеет ограничения по термодинамическим лимитам биосферы. Размеры этих ограничений близки к количеству энергии, усваиваемому живыми организмами биосферы в совокупности с другими энергетическими процессами, идущими на поверхности Земли
- Указанный лимит близок  $140 \div 150 \cdot 10^{12} \text{ Вт}$  (фотосинтетические процессы -  $104 \cdot 10^{12} \text{ Вт}$ , геотермальная энергия -  $32 \cdot 10^{12} \text{ Вт}$ )
- Энергетика зародившись в XX столетии стала жизнеобеспечивающей отраслью деятельности человека.
- Развитие энергопроизводства тесно связано с потреблением, образуя единую систему «производитель-потребитель». Энергопроизводство не может работать на склад. Оно наращивается вместе с потребностью в ней, а недостаток энергии может тормозить дальнейшее развитие цивилизации.

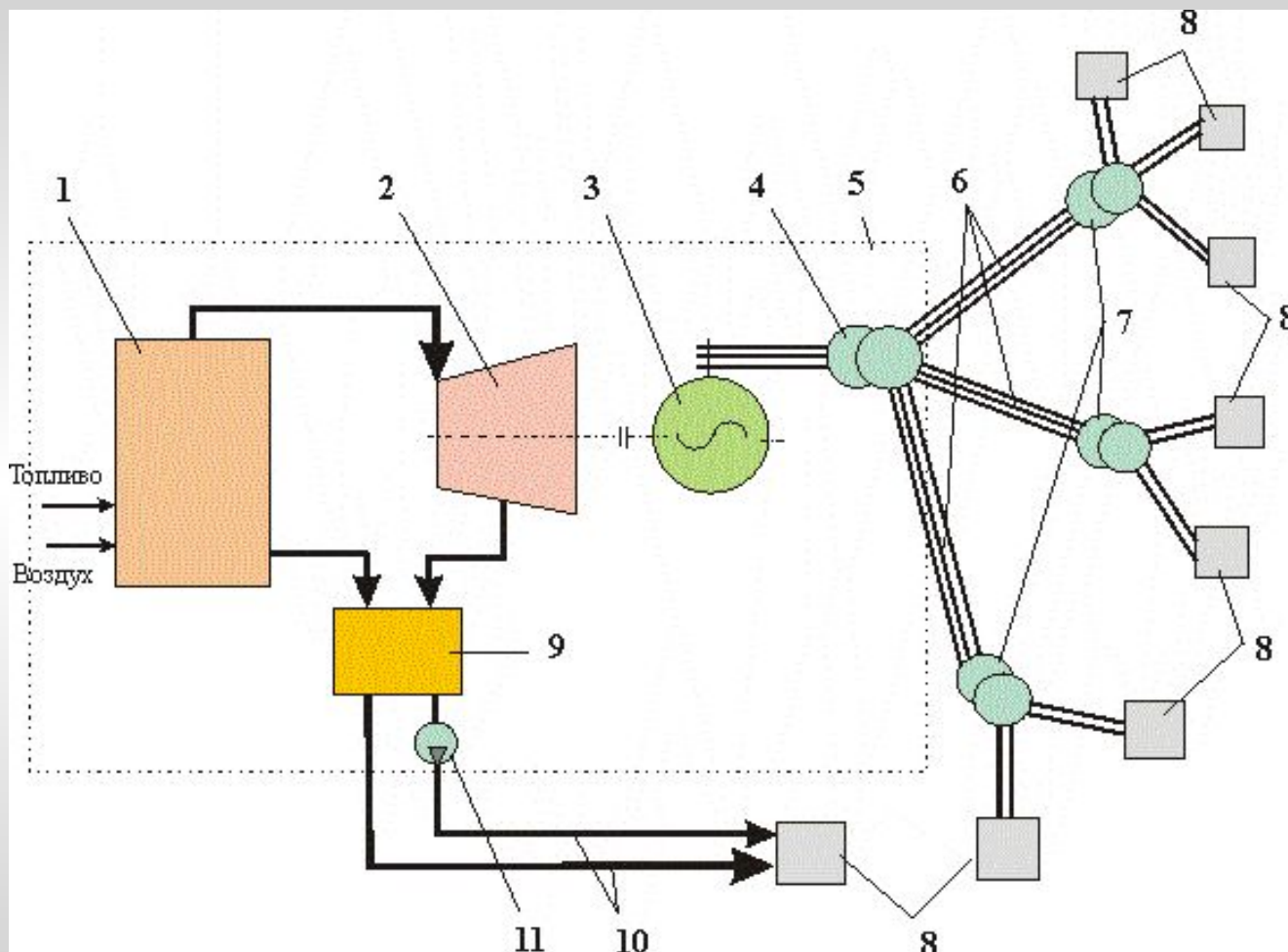
## Влияние энергетики на общество

- Нехватка энергоресурсов в регионах мира влияет на материальное благосостояние общества, и на политический климат, создавая различные варианты системного кризиса, провоцирующего вооруженные конфликты за обладание и контроль над природными запасами энергоресурсов
- Научно-технический прогресс невозможен без существования и развития энергетики и электрификации.
- Для повышения производительности труда огромное значение имеет механизация и автоматизация производственных процессов.
- Подавляющее большинство технических средств механизации и автоматизации имеет электрическую основу
- Человек пользуется двумя видами энергии - электрической и тепловой

# «Энергетика» и «энергия»

- Энергия – общая мера различных форм движения материи, рассматриваемых в физике
- Существующие виды энергии: механическая, внутренняя, гравитационная, электромагнитная, ядерная и т.д.
- В замкнутой системе выполняется закон сохранения энергии.
- В теории относительности установлена универсальная связь между полной энергией тела и его массой:  $E = m \cdot c^2$
- Развитие электроэнергетики идет по пути строительства крупных электрических станций (тепловых, гидравлических, атомных), объединяемых между собой линиями электропередачи высокого напряжения в энергетические системы

# Схема производства и потребления тепло- и электроэнергий



1 – генератор потенциальной энергии; 2 – турбина; 3 – электрогенератор; 4 – трансформаторы электроэнергии; 5 – электростанция; 6 – линии дальних передач; 7 – сетевые подстанции; 8 – потребитель; 9 – котельная – бойлерная тепловых сетей; 10 – тепловые сети; 11 – сетевой насос.

# Значимость электроэнергии для общества

Проблема энергоснабжения затрагивает интересы всех жителей планеты.

Человек стал «покорителем природы» лишь тогда, когда он напрямую стал осваивать энергию; сначала механическую в виде палочного рычага.

Тепловая энергия, которая досталась человеку как «подарок от Прометея» - более благодатна по своим возможностям. Но она не смогла обеспечить возрастающие потребности человека.

Только электроэнергия способна передаваться на большие расстояния в больших количествах и трансформироваться легко и быстро в любой другой вид энергии.

Руководители государств и обществ с момента зарождения электроэнергетики (конца XIX века) поняли, что для обеспечения экономического роста электроэнергетика должна иметь опережающее развитие.

## **Значимость электроэнергии для общества (продолжение)**

**Со временем рост промышленно-энергетического производства вошел в противоречие с экологическими проблемами.**

**В обществе формируется идея: богатая жизнь в загрязненной природной среде абсурдна**

**Возможна ли в электроэнергетике рыночная конкуренция? Она возможна только между независимыми, работающими на одном направлении, системами.**

**Система - это объективное единство закономерно связанных друг с другом предметов, явлений и знаний о природе и обществе**

**В энергетике производитель закономерно связан с потребителем. Системой здесь является единство «производитель – потребитель электроэнергии»**

**Конкуренцию можно организовывать только между отдельными системами, обеспечивающими**



# Потребление электроэнергии в странах мира; кВт ч/(чел.год)

Страна	Потребление электроэнергии,	Страна	Потребление электроэнергии,	Страна	Потребление электроэнергии,
Норвегия	24756	Франция	5870	Бразилия	1549
Канада	17486	Страны СНГ	5792	Куба	1349
Швеция	17079	Чехословакия	5734	Египет	648
Финляндия	11964	Япония	5733	Таиланд	570
США	11204	Великобритания	5477	Филиппины	411
Новая Зеландия	8183	Израиль	3918	Гана	327
Австралия	8177	Польша	3909	Марокко	305
Швейцария	7275	Италия	3867	Пакистан	301
Германия	6995	ЮАР	3196	Ангола	195
Дания	6212	Саудовская Аравия	2953	Заир	159
Бельгия	6075	Южная Корея	1905	Нигерия	96
Австрия	5952	Аргентина	1681	Бангладеш, Судан	<50

## Выводы по количеству потребления энергии

1. Страны с холодным климатом потребляют электроэнергии больше, чем в те, которые ближе к солнцу (экватору).
2. Потребление электроэнергии в странах на душу населения говорит о благосостоянии людей в стране.
3. При потреблении электроэнергии  $1300...1600 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{чел.год}$  страну можно отнести к разряду развивающихся
4. Большая часть производства электроэнергии (83,5 %) сосредоточена в 19 наиболее развитых странах, производящих более  $100 \text{ ТВт}\cdot\text{ч}$  электроэнергии каждая, причем доля производства только трех стран – США, СНГ, Японии достигает суммарно почти 50 %; на 40 стран, вырабатывающих от 10 до  $100 \text{ ТВт}\cdot\text{ч}$ , приходится 14 % а на остальные более 130 стран – всего 2,5 %.
5. Зная сколько потребляет человек, всегда можно рассчитать – во что обходится нам энергетика.

# Обеспеченность мира разведанными и извлекаемыми запасами топлив (МЭК за 1988 г.)

Топливо	Мировые	Африка	Северная Америка	Латинская Америка	Западная Европа	Азия и Океания	Средний и Ближний Восток	Страны СНГ
<b>Все виды органического топлива</b>								
Запасы, млрд.т.у.т.	1085	83	210	43	71	79	154	445
Обеспеченность годы	106	140	94	67	93	106	134	108
<b>Твердые топлива</b>								
Запасы, млрд.т.у.т.	764	63	192	10	61	66	-	372
Обеспеченность годы	224	440	262	325	230	194	-	195
<b>Нефть, включая конденсат</b>								
Запасы, млрд.т.у.т.	177	11	8	24	3	4	111	16
Обеспеченность годы	41	29	10	50	12	7	105	14
<b>Природный газ</b>								
Запасы, млрд.т.у.т.	144	9	10	9	70	9	43	57
Обеспеченность годы	58	120	14	70	34	58	461	52

## Выводы по обеспеченности топливом

- Запасы нефти и природного газа ограничены по сравнению с твердым топливом
- Основные запасы нефти и природного газа находятся на Ближнем и Среднем Востоке, отсюда возникновение локальных войн в этом регионе
- Ядерная энергия и уголь являются наиболее доступными в значительных количествах источниками энергии.
- В связи с топливной ситуацией нельзя продолжать использовать энергию так, как это привыкли делать.
- Энергетические системы не могут быть изменены быстро, поэтому ближайшие 30 лет будут критически важной переходной фазой при реализации новых проектов.
- Приоритетным является повышение энергоэффективности в использовании энергоресурсов

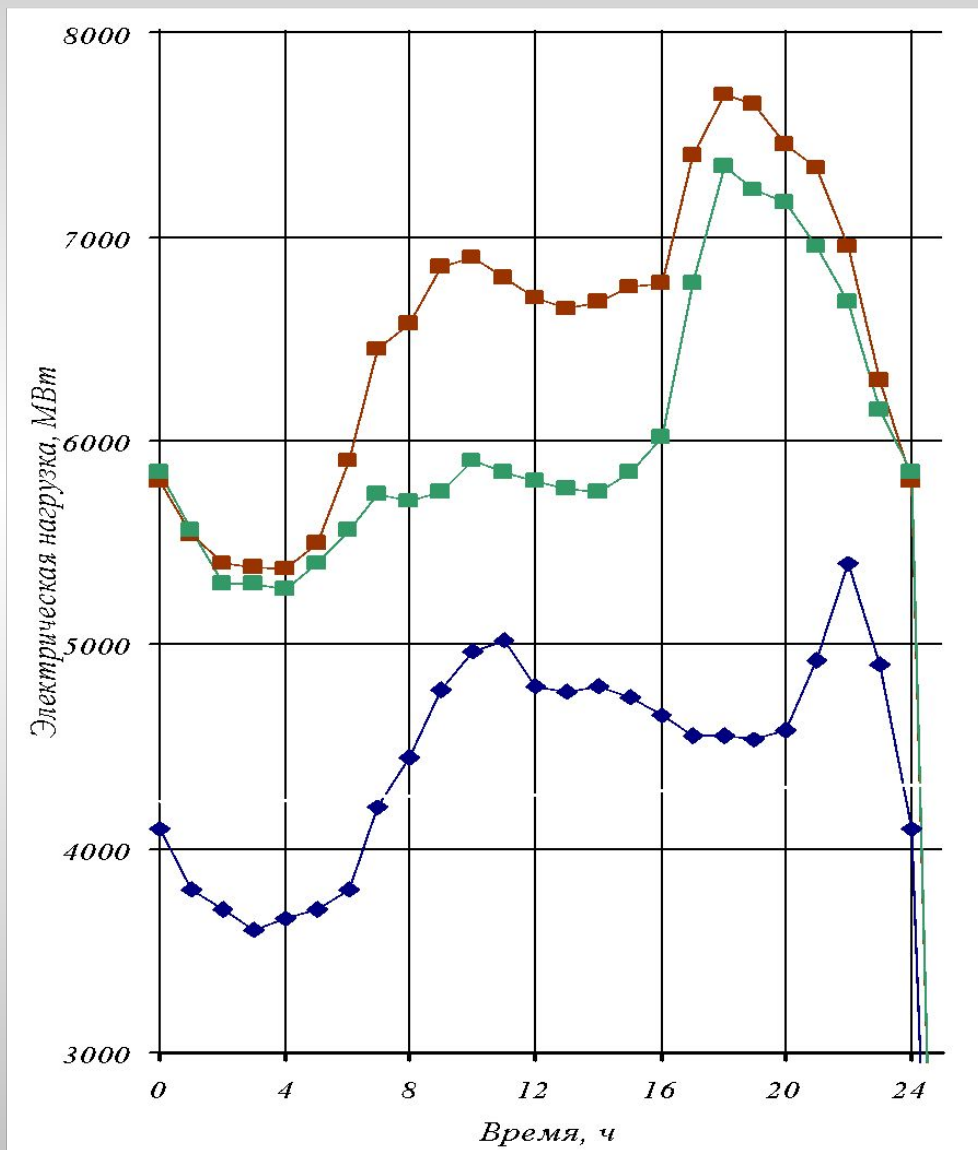
## Выводы по обеспеченности топливом (продолжение)

- Прогресс должен происходить и в других областях – в политике, финансах, в искусстве управления и обучения рабочей силы.
- Индустриальные страны должны нести основную ответственность за разработку перспективных технологий
- Доля нетрадиционных источников энергии (солнечная, ветровая и др.) составляют всего 2 % в энергопроизводстве, но к 2020 г. она возрастет до примерно 12 %.
- Несмотря на международные соглашения (Декларация 1992 г.) выбросы парниковых газов ( $CO_2$ , хлористо-фтористые газы и др.) и их концентрация в атмосфере в результате энергетической деятельности будет расти.
- Энергетика составляет около 5 % мирового валового национального продукта, в то время как требуется 15 % . Доля инвестиций в энергетику будет расти и в дальнейшем для поддержания и расширения ее возможностей и для решения экологические проблемы.

# Суточное потребление и производство электроэнергии

- Потребление и производство электроэнергии неравномерно в течение суток.
- В ночные часы оно резко падает, создавая «провалы» нагрузки.
- В утренние и вечерние часы нагрузка возрастает, и эти увеличения нагрузок называются «утренним пиком» и «вечерним пиком» нагрузки
- Неравномерность суточного графика нагрузки определяется коэффициентом неравномерности, который для Южного региона составляет  $K_H = N_{мин} / N_{макс} = 0,6 \div 0,65$
- Основными потребителями электроэнергии являются коммунально-бытовой сектор (не поддается директивному регулированию) и промышленность
- Изменение суточного энергопотребления вполне закономерно и определяется процессом жизнедеятельности человека

# График суточного электропотребления в зимний рабочий и воскресный и летний периоды по Северному Кавказу



# Характеристика электропотребления по региону Северного Кавказа

Наименование потребителя	Доля от общего потребления, %	Максимальная доля общего потребления, %
Промышленные предприятия	27,81	44,88
Электрофицированный транспорт	3,66	5,75
Сельскохозяйственный потребитель	7,03	11,36
Коммунально-бытовое потребление	16,45	26,55
Прочее непромышленное потребление	7,48	11,46
Оптовые потребители - перепродавцы	37,57	0,0
<b>Итого</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>



# Суточные графики нагрузок сезонные

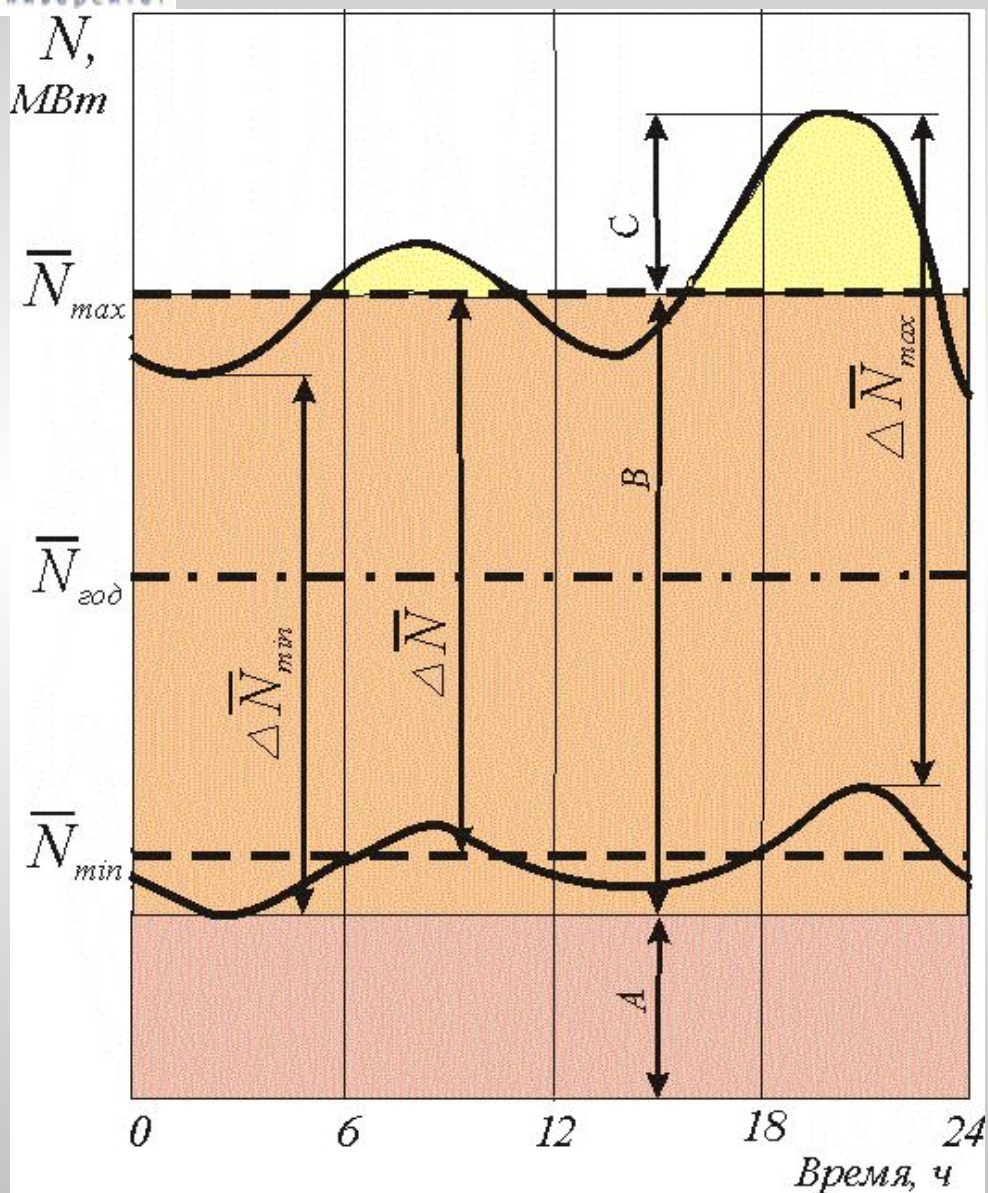
**Сезонные изменения суточных графиков нагрузок энергосистем регионов определяются:**

- **изменениями продолжительности светлого времени суток;**
- **климатическими изменениями температур в регионе;**
- **изменениями условий электропотребления;**
- **возможностями электропроизводства**

**Изменение продолжительности светлого времени суток трансформирует график суточных нагрузок электропотребления по временной оси**

**Сезонные изменения температуры воздуха учитывают деформацию суточного графика электропотребления по нагрузочной оси**

# Разность осредненных нагрузок зимнего максимума и летнего минимума



Суточные графики нагрузки разделены по характеру производства электроэнергии на базовую (площадь  $A$ ), полупиковую ( $B$ ) и пиковую ( $C$ )

Базовую нагрузку производят электростанции, которые не могут изменять свою мощность совсем (АЭС) или изменяют в небольшом диапазоне нагрузок (ТЭС, на твердом топливе).

Полупиковую нагрузку производят ТЭС с паросиловыми установками.

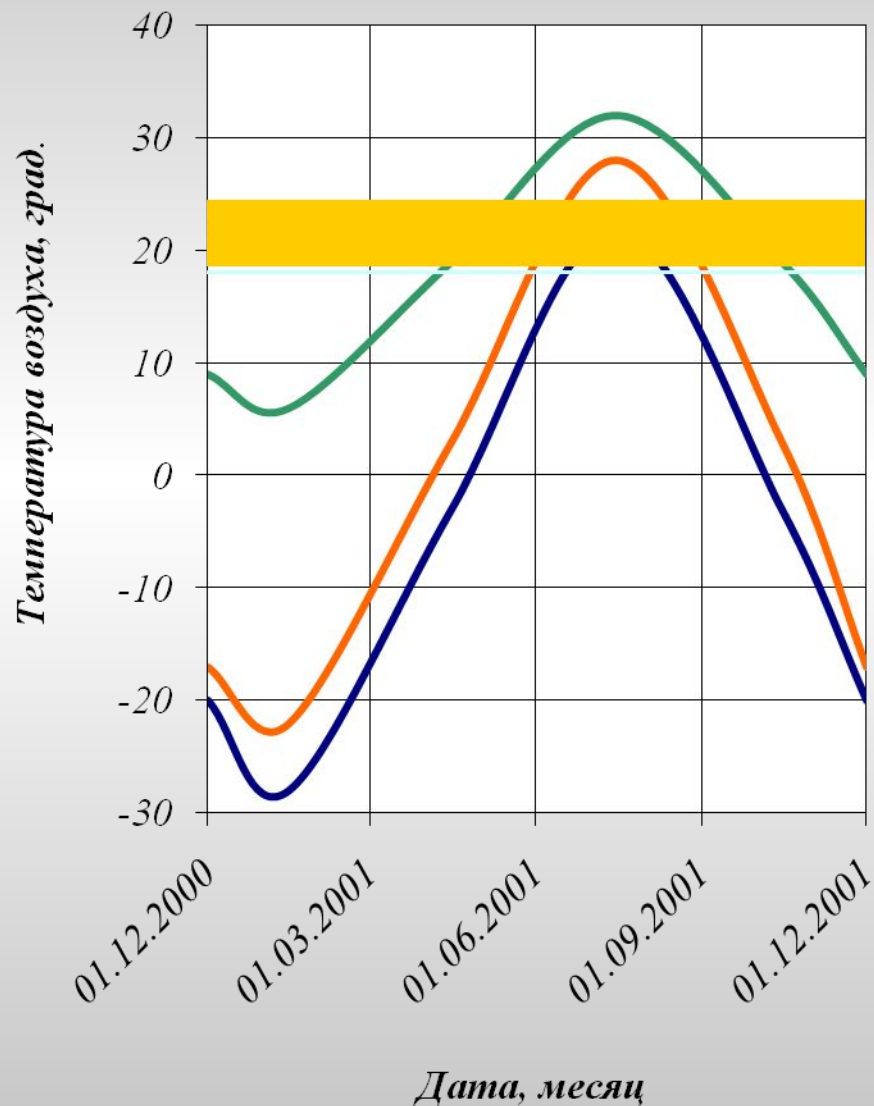
Пиковая нагрузка - ГЭС, а также ТЭС на газомазутном топливе, или с газотурбинными установками.

# Расчеты по графикам суточных нагрузок

$$\bar{N}_{\min} = k_p \bar{N}_{\max} = k_{\partial} k_m k_{\text{пот}} k_{\text{пр}} \bar{N}_{\max}$$

- где  $k_p = k_{\partial} k_m k_{\text{пот}} k_{\text{пр}}$  - коэффициент, характеризующий региональные условия изменения суточных графиков нагрузок в году;
- $k_{\partial}$  - коэффициент, характеризующий сезонные изменения продолжительности светлого времени суток;
- $k_m$  - коэффициент, характеризующий сезонные изменения среднесуточной температуры воздуха в течение года;
- $k_{\text{пот}}$  - коэффициент, характеризующий структурные изменения в электропотреблении;
- $k_{\text{пр}}$  - коэффициент, характеризующий изменения в системе электропроизводства; - осредненная нагрузка минимально летнего и максимально зимнего графиков суточного электропотребления
- $\bar{N}_{\min}, \bar{N}_{\max}$  - осредненная нагрузка минимально летнего и максимально зимнего графиков суточного электропотребления

# Сезонные изменения температуры воздуха для регионов с различным климатом



# Роль электростанций при производстве электроэнергии

Все электростанции имеют установленную (номинальную) мощность, однако производят они фактическую нагрузку.

По установленной мощности электростанции, работающие в :

- базовом режиме производства электроэнергии (АЭС и частично ТЭС) составляют - 20÷35 %;
- полупиковом режиме (в основном ТЭС) обеспечивают – 50÷60 %
- Пиковом - покрывают электростанции (ГЭС, ГТУ и ПГУ) –10÷20 %.

По производимой электроэнергии на электростанциях различного типа вырабатывается следующая нагрузка:

- в базовом режиме - 40÷70 %;
- в полупиковом - 20÷40 %;
- в пиковом - до10 %.

Число часов использования установленной мощности:

- АЭС составляет 7000...8300 ч.;
- ТЭС– 2000...6000 ч.;
- ГЭС - менее 2000 ч.

# Данные энергопотребления некоторых стран по состоянию на 1995 г

Страны	<u>Установленная мощность</u> Производство электроэнергии				Наработка полной нагрузки, ч			
	ТЭС, %	ГЭС, %	АЭС, %	НЭС, %	ТЭС	ГЭС	АЭС	НЭС
<i>Бельгия</i>	<u>52,8</u> 42,8	<u>9,4</u> 1,6	<u>37,8</u> 55,6	-	4041,4	876,7	7343	-
<i>Великобритания</i>	<u>75,7</u> 71,2	<u>6,0</u> 2,0	<u>18,2</u> 26,6	<u>0,1</u> 0,1	4485,3	1613,8	6971	4093
<i>Германия</i>	<u>72,2</u> 66,6	<u>7,7</u> 4,5	<u>19,8</u> 28,8	<u>0,3</u> 0,1	4273,3	2728,4	6748,3	1036,4
<i>Испания</i>	<u>47,8</u> 51,9	<u>36,7</u> 14,8	<u>15,4</u> 33,3	<u>0,1</u> 0,1	3946,4	1464	7846	3635,5
<i>Канада</i>	<u>30,9</u> 21,2	<u>56,1</u> 61,6	<u>13,0</u> 17,2	<u>0,04</u> 0,007	3255,4	5201,8	6279,3	875
<i>Россия</i>	<u>69,2</u> 67,8	<u>20,7</u> 20,6	<u>10,1</u> 11,6	<u>0,005</u> 0,003	3996,2	4059	4684,5	2447,2
<i>США</i>	<u>73,2</u> 70,1	<u>13,1</u> 9,2	<u>13,0</u> 20,1	<u>0,6</u> 0,5	4187,2	3081	6766,8	3525,6
<i>Финляндия</i>	<u>64,7</u> 49,7	<u>19,2</u> 20,2	<u>16,0</u> 30,1	- -	3398,7	4654,3	8318,6	-
<i>Франция</i>	<u>22,2</u> 8,0	<u>23,2</u> 15,4	<u>54,4</u> 76,5	<u>0,2</u> -	1653	3038	6445,7	2367
<i>Швейцария</i>	<u>6,0</u> 3,5	<u>75,5</u> 57,0	<u>18,5</u> 39,5	- 0,001	2225	2860,3	8082,8	857,1
<i>Швеция</i>	<u>12,9</u> 6,8	<u>48,0</u> 45,6	<u>29,9</u> 47,6	<u>0,2</u> 0,07	2292,9	4149,9	6955,2	1477,6
<i>Южная Америка</i>	<u>27,7</u> 17,2	<u>71,1</u> 80,9	<u>1,27</u> 1,89	- -	2708,6	4939,4	6463,5	-



## Производство электроэнергии в Западной Европе

Отдельные страны специализируются по производству какого-то вида энергии.

- Франция и Бельгия экспортируют базовую нагрузку;
- Норвегия, Австрия готовы поставлять пиковую электроэнергию;
- Дания - полупиковую нагрузку.

Некоторые страны свою энергетику стараются развивать более гармонично (например, Германия, Великобритания, Финляндия, Испания).

Существуют страны, имеющие большую долю импорта: Италия, Люксембург, Нидерланды, Финляндия.

Экспортерами являются страны производящие более дешевую электроэнергию - это Франция и Норвегия.

Таким образом, в Европе идет дальнейшее объединение энергосистем и универсализация их по видам производств электроэнергии

## Анализ динамики суточных графиков нагрузок

- Для суточных графиков нагрузок энергосистем большое значение имеют предельные скорости изменения нагрузки -  $dN/dt$ .
- Колебания суточной нагрузки энергосистемы Ростовской области доходят до  $1000 \text{ MВт}$  при коэффициенте неравномерности  $k_n > 0,65 \dots 0,7$ .
- Скорость изменения энергопотребления в отдельные моменты доходила до  $dN/dt = 500 \text{ MВт/ч}$  ( $8,5 \text{ MВт/мин}$ ).
- В то же время скорость нагружения энергоблоков тепловых электростанций ограничена (до  $2,5 \dots 3,5 \text{ MВт/мин}$ ).
- Скорость нагружения энергоблоков ТЭС ограничивается скоростью прогрева металла тепломеханического оборудования установок
- У мощных энергосистем (объединенная энергосистема Северного Кавказа) при  $k_n = 0,5$  требуемая скорость изменения нагрузки увеличивается (до  $700 \div 800 \text{ MВт/ч}$  или  $12 \div 13 \text{ MВт/мин}$ )



# Допустимая скорость изменения нагрузки энергоблоков ТЭС, МВт/мин,

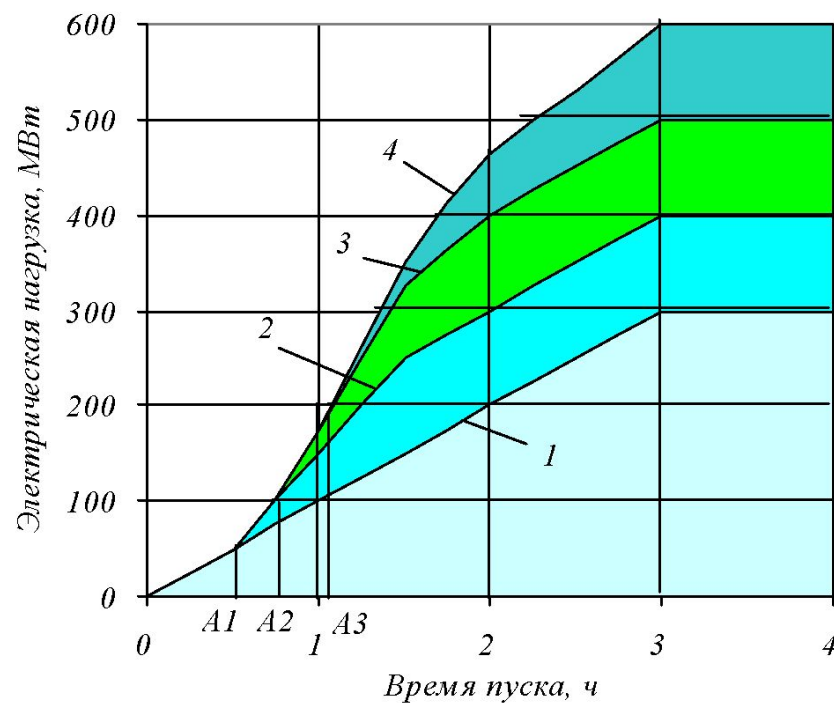
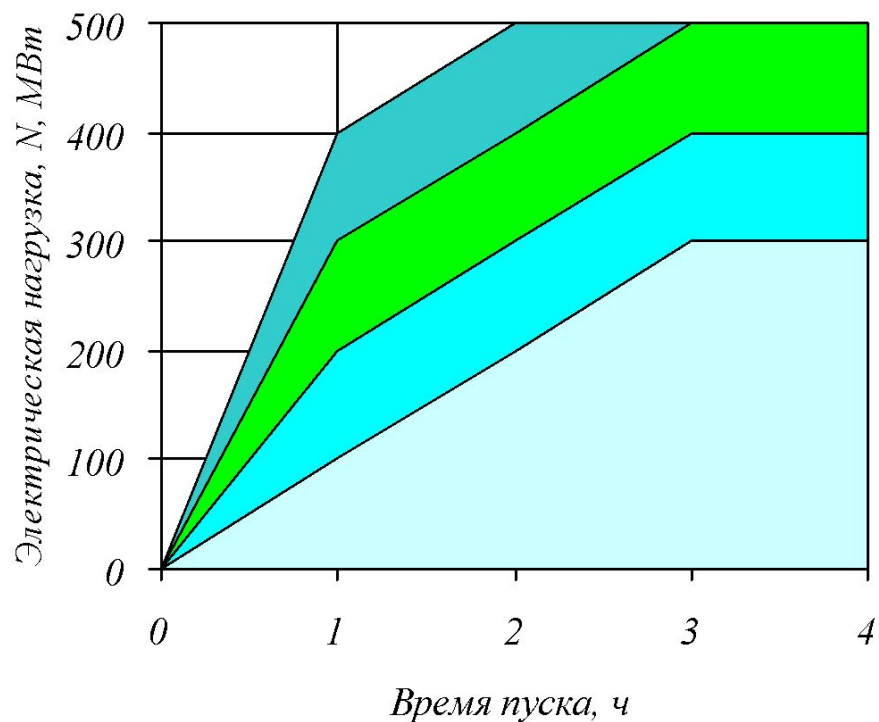
при пуске из различных состояний (числитель) и при переходе с одной нагрузки на другую (знаменатель)

Тип энергоблока	Простой перед пуском (в часах)		
	Из горячего состояния (8-10 ч.)	Из неостывшего состояния (20-24 ч.)	Из холодного состояния (45-50 ч.)
К - 300	1,2-1,4 / 2,7-2,8	0,75-0,83	0,6-0,65
К - 200	1,3-1,4 / 3,3	0,8-0,87	0,63-0,67
К - 160	1,0-1,1 / 2,7-2,85	0,67-0,75	0,53-0,58
К - 100	1,1-1,17 / 1,67-3,3	0,53-0,58	-
К - 50	0,27-0,33 / 0,42-0,5	0,17-0,25	-
К - 25	0,42-0,5 / 0,67-0,83	0,17-0,25	-
ГТУ-100 (из любого состояния)	3,33 – 5,0	-	-
Авиационные ГТУ (из любого состояния)	3,33 – 8,33	-	-

## Способы регулирования нагрузкой

- Требуемую скорость нагружения ( $dN/dt > 8,0$  *MВт/мин*) можно обеспечить только пуском и нагружением гидротурбин, скорость разгона которых практически не ограничена, и газовых турбин, а
- Параллельным нагружением нескольких паровых турбин. Например, при требуемой скорости нагружения  $dN/dt = 12...13$  *MВт/мин* требуется параллельное подключение к переменным режимам примерно четырех паровых турбин

# Варианты изменения нагрузки одним энергоблоком К-300 (1) и тремя К-100 (2, 3, 4) при одновременном начале нагружения и последовательном подключении энергоблоков в моменты времени $A_1$ , $A_2$ , $A_3$ .



# Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)

**Благодарю за внимание**

Ефимов Николай Николаевич – проф., д.т.н., зав  
каф. ТЭС