

Министерство образования и науки РФ
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

С.С. Амирова, Д.В. Горбунова

ОБЩАЯ ЭНЕРГЕТИКА

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

Нижекамск

2014

1

УДК620.9
А62

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Нижнекамского химико-технологического института (филиала) ФГБОУ ВПО «КНИТУ».

Рецензенты:

Вафин Д.Б., доктор технических наук, профессор;
Горбачевский Н.И., кандидат технических наук, доцент.

Амирова, С.С.

А62 Общая энергетика: методические указания к выполнению контрольной работы / С.С.Амирова, Д.В. Горбунова. – Нижнекамск: Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2014. -44 с.

Составлены в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлениям 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника», 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника».

Представлены методические указания к выполнению контрольной работы по дисциплине «Общая энергетика»; основные теоретические положения по курсу, алгоритм для самостоятельной работы.

Предназначены для студентов заочной формы обучения, обучающихся по профилям «Электроснабжение», «Энергообеспечение предприятий» и «Электропривод и автоматика».

Подготовлены на кафедре электротехники и энергообеспечения предприятий НХТИ.

УДК 620.9

© Амирова С.С., Горбунова Д.В., 2014

© Нижнекамский химико-технологический институт
(филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ», 2014

СОДЕРЖАНИЕ

	Задание для выполнения контрольной работы	4
Раздел 1.	История общей энергетики и стратегия её развития	7
Раздел 2.	Виды энергетики	10
Раздел 3.	Теоретические основы электротехники	12
Раздел 4.	Электроэнергетическая система (ЭЭС)	18
Раздел 5.	Режимы работы ЭЭС	22
Раздел 6.	Регулирование напряжения и частоты в электрических сетях	24
Раздел 7.	Распределительные устройства электроустановок и схемы электроснабжения	26
Раздел 8.	Схемы, применяемые на высшем и среднем напряжениях	30
Раздел 9.	Схема мощной ГПП с групповым реактированием линий 6 – 10 кВ	32
Раздел 10.	Системы теплоснабжения	34
Раздел 11.	График тепловой нагрузки теплосети и работа теплофикационной установки ТЭЦ	39
Раздел 12.	Малая энергетика	42
	Литература	43

ЗАДАНИЕ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

I. Самостоятельно проработать и составить конспект по следующим разделам:

1. История общей энергетики России и стратегия ее развития до 2020г.
2. Теоретические основы электротехники.
 - а) электрические цепи и основные законы;
 - б) электромагнитные цепи и режимы электрических цепей;
 - в) трехфазные цепи;
 - г) трансформатор;
 - д) синхронный генератор.
3. Описание электроэнергетической системы (ЭЭС) и ее особенности.
4. Режим работы ЭЭС.
5. Распределительные устройства электроустановок.
6. Структурная схема электроснабжения. Магистральные и радиальные схемы сетей
7. Схемы применяемые на высшем и среднем напряжении.
8. Регулирование напряжения и частоты в электрической сети.
9. Качество электроэнергии в системах электроснабжения.
10. Основное электрооборудование в системе энергоснабжения с точки зрения аудита.
11. Энергоснабжение больших, средних, малых и частных предприятий.
12. Энергосберегающие технологии на предприятии.
13. Классификация систем теплоснабжения.
14. Солнечная энергетика.

II. Решить задачу № 1 по вариантам.

Счетчик активной энергии подключен через ТТ и ТН на вводе в распределительное устройство с напряжением 10кВ. Коэффициент пересчета счетчика равен $K_{пер} = K_{ТТ} \cdot K_{ТН}$. Коэффициент пересчета трансформатора напряжения представляет собой отношение напряжений. Вторичное напряжение любого ТН равно 100 В. Коэффициент трансформации ТТ $K_{ТТ} = I_1 / I_2$ приведен в таблице.

Определить номинальный ток вторичной цепи ТТ.

№ варианта	U_1 ТН	U_2 ТН	I_1 / I_2
1	10 000	100	120
2			123
3			125
4			130
5			128
6			115
7			116
8			118
9			119
10			122
11			124
12			126
13			127
14			115
15			117
16			114

Методические указания по решению задачи № 1:

1. Т.к вторичное напряжение любого ТН равно 100 В, тогда:

$$K_{ТН} = U_1 / 100,$$

где U_1 - напряжение на вводе РУ (В).

2. Значение первичного тока равно:

$$I_1 = K_{ТТ} \cdot I_2.$$

Примечание: Задаемся значением номинального тока на первичной стороне ТТ равным 5 А.

III. Решить задачу № 2 по вариантам.

Определите экономию тепловой энергии без учета потерь тепла излучением при нанесении изоляции на паропровод длиной L м, работающий непрерывно в течении года. Температура теплоносителя 150°C . Паропровод проложен в помещении, в котором температура $+25^\circ\text{C}$ и скорость потока воздуха w , м/с. Толщина изоляции обеспечивает температуру на ее поверхности $t_{\text{пов}}+35^\circ\text{C}$.

Вариант	Численные значения, выбираемые по варианту			
	L , м	$t_{\text{тн}}$ °C	w , м/с	t °C
1	4	150	2,5	25
2	5		3	
3	6		3,8	
4	7		4,5	
5	8		5	
6	9		5,8	
7	10		6	
8	11		6,9	
9	12		7,3	
10	13		7,9	
11	14		8,2	
12	15		8,5	
13	16		8,9	
14	17		9,2	
15	18		9,5	

Методические указания по решению задачи № 2:

1. Определяется суммарный коэффициент теплоотдачи от трубопровода к наружному воздуху:

$$\alpha = L + 6\sqrt{w} ,$$

где L – длина паропровода, м

w - скорость потока воздуха, м/с

2. Теплотери неизолированным паропроводом:

$$Q_{\text{ТР}} = \pi d \alpha (t_{\text{т.н.}} - t) \cdot L ,$$

где d – диаметр паропровода, м

Аналогично определяются потери для изолированного паропровода:

$$Q'_{\text{ТР}} = \pi d \alpha (t'_{\text{пов}} - t'_B) \cdot L ,$$

где $t'_{\text{пов}}$ - температура поверхности паропровода °C

3. Экономия тепла за год составит:

$$\Delta Q = (Q_{\text{ТР}} - Q'_{\text{ТР}}) \cdot \tau$$

где $\tau = 8760$

РАЗДЕЛ 1. ИСТОРИЯ ОБЩЕЙ ЭНЕРГЕТИКИ И СТРАТЕГИЯ ЕЁ РАЗВИТИЯ

Методические указания. Следует подчеркнуть, что фундаментом электроэнергетической науки является электротехника. Стратегическую задачу развития энергетики рассматривать с позиции внедрения долгосрочного прогнозирования. Энергетическую стратегию с перспективой до 2020г. рассматривать, как основу развития экономики России.

Предмет изучения общей энергетики

Энергия – количественная оценка различных форм материи, которые могут превращаться друг в друга (химическую, механическую, электрическую, тепловую, ядерную и т.д.)[5]. Предметом изучения общей энергетики является электрическая, тепловая, солнечная энергия, энергия ветра и воды.

Электроэнергия вырабатывается на специальных предприятиях – электростанциях, преобразующих в электрическую другие виды энергии: химическую энергию, энергию топлива, энергию воды, энергию ветра, атомную энергию и др. Выработанная электростанцией электроэнергия передается по воздушным или кабельным линиям электросетей различным потребителям - промышленным, коммунальным, сельскохозяйственным, бытовым и т.д. В зависимости от используемого вида энергии различают тепловые электростанции (ТЭС), гидроэлектростанции (ГЭС), ветровые, атомные (АЭС) и др. На тепловых электростанциях используется твердое, жидкое и газообразное топливо. В зависимости от рода первичного двигателя, приводящего во вращение электрический генератор, тепловые электростанции можно подразделить на станции с паровыми турбинами, с двигателями внутреннего сгорания и с газовыми турбинами. Станции с паровыми турбинами, кроме того, подразделяются на конденсационные (КЭС) и теплофикационные (ТЭЦ). Конденсационные электростанции снабжают потребителей только электрической энергией, а теплофикационные электростанции - электрической и тепловой энергией. В России более 90 % существующего потенциала электроэнергетики объединено в Единую энергетическую систему (ЕЭС) России, которая охватывает всю обжитую территорию страны от западных границ до дальнего Востока и является одним из крупнейших в мире централизованно управляемых энергообъединений.

Основные термины и определения

1. **Электрическое хозяйство** промышленного предприятия представляет собой совокупность генерирующих, преобразующих, передающих электроустановок, посредством которых осуществляется снабжение предприятия электроэнергией.
2. **Электроэнергетика**-это электрическая часть энергетики.
3. **Электротехника** – отрасль науки о применении электричества для различных практических целей.
4. **Система электроснабжения** - это совокупность взаимосвязанных электроустановок, обеспечивающих электроснабжение.

5. **Электроустановка** — совокупность машин, аппаратов, линий и вспомогательного оборудования (вместе с сооружениями и помещениями, в которых они установлены), предназначенных для производства, преобразования, трансформации, передачи, распределения, потребления электрической энергии и преобразования её в другой вид энергии. К электроустановкам относятся: электрическая подстанция, ЛЭП, распределительная подстанция, конденсатная установка.

6. **Потребитель** - предприятие, организация, обособленный цех, квартира, приемники которых присоединены к электрической сети.

7. **Приемником электроэнергии** называется аппарат, агрегат, установка, механизм, в котором происходит преобразование электроэнергии в другой вид энергии.

8. **Линия электропередачи** - это электроустановка, состоящая из проводов, кабелей, изолирующих элементов и несущих конструкций, предназначенная для передачи электрической энергии между двумя пунктами энергосистемы с возможным промежуточным отбором.

С точки зрения категории бесперебойности электроснабжения по ПУЭ (Правила устройства электроустановок) различают 3 категории электроприемников.

К I категории относят заводы, фабрики, больницы. Время отключения энергообеспечения не должно превышать времени автоматического включения АВР (автоматическое включение резерва).

Ко II категории относят металлорежущие станки, штамповочный пресс, механизмы текстильных фабрик. Перерыв в энергообеспечении не превышает 1 суток.

К III категории относят подсобное хозяйство, вспомогательное оборудование. Перерыв в энергообеспечении не превышает 1 суток.

Необходимо помнить, что электроприемники не входят в систему электроснабжения. Следует различать понятия «электроприемник» и «потребитель».

9. **Электрическая сеть** — совокупность подстанций, распределительных устройств и соединяющих их линий электропередачи, работающих на одной территории, предназначенная для передачи и распределения электрической энергии.

10. **Подстанция** — электроустановка, предназначенная для преобразования и распределения электрической энергии, состоящая из трансформаторов или других преобразователей электрической энергии, устройств управления, распределительных и вспомогательных устройств.

11. **Глубоким вводом** называется система электроснабжения с максимально возможным приближением высокого напряжения к потребителям электрической энергии

12. **Распределительное устройство (РУ)** - электроустановка, служащая для приёма и распределения электрической энергии одного класса напряжения.

13. **Распределительный пункт** - распределительное устройство с аппаратурой управления его работой, не входящее в состав подстанции.

14. **Тепловая сеть** – это система трубопроводов и устройств централизованного теплоснабжения, по которым тепло переносится теплоносителем – горячей водой и паром.

15. **Система теплоснабжения** - комплекс теплоснабжающих установок с соединительными трубопроводами или тепловыми сетями.

16. **Автономные источники** теплоснабжения – источники тепловой энергии, не связанные с централизованными системами теплоснабжения. К ним относят котельные установки небольшой производительности, газопоршневые агрегаты, газотурбинные и паротурбинные теплофикационные энергетические установки небольшой мощности.

17. **Когенеративный автономный источник** – это автономные источники как тепловой, так и электрической энергии. Когенерационная установка состоит из газового двигателя, генератора, системы отбора тепла и системы управления. Это эффективная альтернатива тепловым сетям, благодаря гибкому изменению параметров теплоносителя в зависимости от требований потребителя в любое время года.

Электрическая энергия в практике теплоэнергетики измеряется в киловатт-часах (кВт·ч)

$$1 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 3600 \text{ кДж}$$

Тепловая энергия измеряется в джоулях, калориях $1 \text{ кал} = 4,1868 \text{ кДж}$, килокалориях (Ккал), мегакалориях (Мкал) и гигакалориях (Гкал).

$$1 \text{ Гкал} = 10^3 \text{ Мкал} = 10^6 \text{ Ккал} = 10^9 \text{ кал}$$

Тепловая мощность (теплопроизводительность) измеряется в Гкал/ч или Мегаваттах.

$$1 \text{ Гкал/ч} = 1,16 \text{ МВт}$$

Тестовые задания

1. Энергия это...
2. Электрическая сеть это ...
3. Тепловая сеть ...

РАЗДЕЛ 2. ВИДЫ ЭНЕРГЕТИКИ

Методические указания. Уметь формулировать определение энергетики. Знать отличие нетрадиционной энергетики от традиционной.

Под **энергетикой** понимают совокупность больших естественных и искусственных подсистем, служащих для преобразования, распределения и использования энергетических ресурсов всех видов.[6]

Под **электроэнергетикой** обычно понимают подсистему энергетики, охватывающую производство электроэнергии на электростанциях и ее доставку потребителям по линиям электропередачи. Ключевым элементом электроэнергетики является электростанция — преобразователь какой-либо первичной энергии в электрическую. Электростанции принято классифицировать по виду используемой первичной энергии и виду применяемых преобразователей.

Электроэнергетику принято делить на традиционную и нетрадиционную.



Традиционная электроэнергетика основана на использовании энергии органических топлив (теплоэнергетика), энергии воды (гидроэнергетика) и ядерного горючего (атомная энергетика). Характерные черты традиционной электроэнергетики — хорошая освоенность на основе длительной проверки в условиях эксплуатации (самой «молодой» атомной энергетике всего 50 лет). Основную долю электроэнергии в мире и России получают на базе традиционных электростанций, единичная мощность установок которых, часто превышает 1000 МВт. Самыми «молодыми» в традиционной энергетике являются парогазовые установки (ПГУ), «возраст» которых чуть больше 20 лет.

Нетрадиционная электроэнергетика в своем большинстве также основана на традиционных принципах, но первичной энергией в них служат либо источники местного значения (ветровые и солнечные электростанции, малые гидроэлектростанции, биоэнергетические установки и др.), либо источники, находящиеся в стадии освоения (например, топливные элементы), либо источники будущего (водородная и термоядерная энергетика).

Рис.1. Виды энергетики

Характерными признаками нетрадиционной энергетики являются их экологическая чистота, существенно большие удельные затраты на строительство (достаточно сказать, что для солнечной ТЭС мощностью 1000 МВт требуется собирать солнечную энергию с площади 2х2 км) и малая единичная мощность.

Следует отметить:

1. В традиционной энергетике в мировом масштабе преобладает теплоэнергетика.

2. Энергетика таких стран, как Польша, ЮАР, практически целиком основана на использовании угля, а Нидерландов — газа. Очень велика доля теплоэнергетики в Китае, Австралии, Мексике.

Тестовые задания

1. Подвод тепла геотермального теплоносителя происходит от ...
2. Характерными признаками нетрадиционной энергетики является ...
3. Традиционная энергетика основана на использовании энергии ...

РАЗДЕЛ 3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

Методические указания. Теоретические основы электротехники - научная база, без которой невозможно понимание принципов работы как отдельных элементов электроэнергетических систем (ЭЭС), так и функционирования ЭЭС в целом. Особое внимание необходимо уделить теории электромагнитного поля, теории электрических цепей, а также трехфазным цепям переменного тока.

Электромагнитное поле.

Известно, что всякая электрически заряженная частица, в том числе элементарная отрицательно заряженная частица-электрон или элементарная положительно заряженная частица-протон, окружена электромагнитным полем, составляющим с ней одно целое.

Электромагнитное поле включает электрическое и магнитное поле. Изменяющиеся электрическое и магнитное поле неразрывно связаны между собой, так как они отражают две стороны единого электромагнитного поля. Выражением их связи является один из основных законов электротехники - закон электромагнитной индукции (ЗЭМИ), который был открыт в 1831г. М.Фарадеем. В 1873г. закон был обобщен и развит Д. Максвеллом.

Трактовка ЗЭМИ:

Если магнитный поток, проходящий сквозь поверхность, ограниченную некоторым контуром, изменяется во времени, в контуре индуцируется ЭДС, равная скорости изменения потока:

$$e = -\frac{d\Phi}{dt},$$

где e – электродвижущая сила, (Вольт);

Φ - магнитный поток, (Вебер);

t – время, секунда.

Электрическая цепь.

Электрическая цепь -совокупность элементов и устройств, образующих путь для электрического тока. Постоянные ЭДС, ток, напряжение, сопротивление, проводимость принято обозначать прописными буквами E, I, U, R, Q , а изменяющиеся -строчными e, i, u, r, q . [7]

Физические процессы в электрических цепях переменного тока принципиально отличаются от процессов в цепях постоянного тока. Переменные токи и напряжения вызывают появление в цепи дополнительной ЭДС и токов. Так, переменное магнитное поле вызывает ЭДС самоиндукцию, а изменение электрического поля – токи зарядки и разрядки конденсатора. Эти токи и ЭДС необходимо учитывать при расчете цепей переменного тока.

ЭДС характеризует способность сторонних сил(сил неэлектромагнитной природы- химических, механических, тепловых, атомных вызывать перенос заряда q (электрический ток).

Работа A в джоулях (Дж), совершаемая при переносе заряда в кулонах (Кл), численно равна ЭДС. Отсюда получаем единицу ЭДС:

$$e = \frac{A}{q} = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}, \text{В(вольт)}.$$

Электрический ток - направленное движение электрических зарядов в единицу времени:

$$i = \frac{q}{t} = \frac{\text{Кл}}{\text{с}}, \text{А (ампер)}.$$

Напряжение- работа по перемещению заряда в электрической цепи:

$$u = \frac{A}{q} = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}, \text{В (вольт)}.$$

Сопротивление - величина, противодействующая протеканию тока в цепи:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{\text{В}}{\text{А}}, \text{Ом}.$$

Проводимость- величина, обратная сопротивлению:

$$g = \frac{1}{R} = \frac{I}{U}, \text{См(сименс)}.$$

На рис.1. представлена схема электрической цепи. Источник (И.) преобразует различные виды энергии в электрическую; приемник (Пр.) преобразует электрическую энергию в световую, тепловую энергию; коммутирующее устройство (К.у.) управляет режимом работы электрической цепи; измерительное устройство (Из.у.) контролирует значение величин электрической цепи.

Электрические цепи принято изображать в виде трех схем: принципиальной, монтажной и схемы замещения. На принципиальной схеме (рис.2) элементы изображают с помощью условных графических изображений, на монтажной - рисунком, а на схеме замещения (рис.3) - идеальными элементами. Схема замещения удобна при расчете электрических цепей. Монтажной схемой пользуются при изготовлении электрических устройств, а принципиальной схемой - при изучении установок.

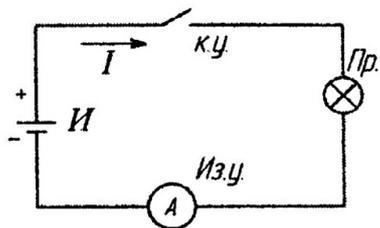


Рис.2. Принципиальная схема

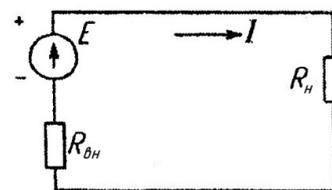


Рис.3. Схема замещения

Поясним понятие *идеальный элемент*. Это элемент, обладающий только одним параметром. Например, идеальный источник питания имеет только параметр E , идеальная катушка - параметр L (индуктивность), идеальный конденсатор - параметр C (емкость), резистивный элемент (резистор) -

параметр r (сопротивление). На рис.4 показаны обозначения этих элементов в схемах.



Рис.4. Обозначения элементов в схеме

Параметр сопротивления R характеризует свойство элемента поглощать энергию из электрической цепи и преобразовывать её в другие виды энергии. Известно, что мощность преобразования электрической энергии пропорциональна квадрату тока, поэтому величина этого параметра определяется отношением

$$R = \frac{P}{I^2}, \text{ Ом.}$$

Сопротивление R учитывает преобразование электрической энергии в тепловую.

Параметр индуктивности L характеризует свойство элемента цепи создавать собственное магнитное поле. Параметр индуктивности является коэффициентом пропорциональности между током и потоком сцепления:

$$\psi = L \cdot I, \text{ В} \cdot \text{с},$$

отсюда единица измерения индуктивности:

$$L = \frac{\psi}{I} = \frac{B \cdot c}{A}, \text{ Гн(генри).}$$

Индуктивность L учитывает накопление энергии магнитного поля.

С энергетической точки зрения индуктивный элемент характеризуется преобразованием электрической энергии в энергию магнитного поля при нарастании тока и обратным преобразованием энергии магнитного поля в электрическую энергию при понижении тока:

$$\uparrow I, i$$

$$W_{\text{эл}} \rightleftharpoons W_{\text{магн.}}$$

$$\downarrow I, i$$

Параметр ёмкости C характеризует свойство элемента накапливать заряды или возбуждать ими электрическое поле. Этот параметр является коэффициентом пропорциональности между напряжением и зарядом элемента:

$$q = C \cdot U, \text{ Кл (кулон),}$$

отсюда единица измерения емкости:

$$|C| = \frac{|q|}{|U|}, \quad \Phi \text{ (фарада)}.$$

Ёмкость C учитывает накопление энергии электрического поля.

↑ U, u

$W_{\text{эл}} \rightleftharpoons W_{\text{магн}}$

↓ U, u

С энергетической точки зрения емкостный элемент характеризуется преобразованием электрической энергии в энергию электрического поля при нарастании напряжения и обратным преобразованием при понижении напряжения:

По виду электрические цепи разделяют на цепи постоянного и переменного тока. Электрический ток, не изменяющийся во времени I , называется постоянным, а изменяющийся - переменным (синусоидным). В цепях постоянного тока индуктивные и емкостные элементы проявляют себя только в моменты включения и отключения цепи или изменения ее параметров. Цепи переменного тока (рис.5, б) в отличие от цепей постоянного тока (рис.5, а) содержат активные, индуктивные и емкостные элементы.

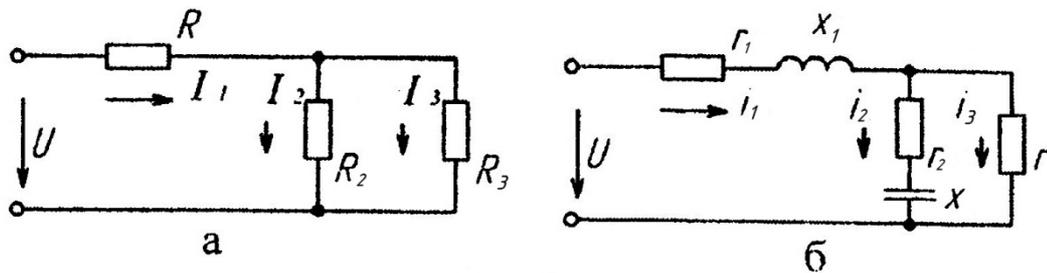


Рис. 5. Цепи постоянного и переменного тока

Трёхфазные электрические цепи.

В технике кроме однофазных цепей широкое применение нашли трёхфазные цепи.

Трёхфазная система была предложена русским инженером М.О. Доливо-Добровольским. После демонстрации системы на Парижской выставке 1891 г. она завоевала всемирное признание и стала преобладающей. Это обусловлено:

- экономичностью;
- простотой получения кругового вращающего магнитного поля, необходимого для работы трёхфазных асинхронных двигателей;
- возможностью получения в одной установке двух различных эксплуатационных напряжений - фазного и линейного.

Трёхфазной электрической цепью называют связную совокупность трех электрических цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС одной и той же частоты, сдвинутые друг относительно друга по фазе и создаваемые общим источником энергии — трёхфазным генератором. Отдельные цепи, входящие в

состав такой цепи, называются *фазами* и обычно обозначаются буквами A, B, C , а совокупность ЭДС, действующих в этих фазах, а также совокупность токов и напряжений фаз называется *трехфазной системой ЭДС*, токов и напряжений.

В трехфазных системах применяются два основных способа соединения элементов — соединение *треугольником* и соединение *звездой*. В целях экономии обмотки трехфазного генератора соединяют в звезду или треугольник. При соединении «звезда» концы фаз соединяют в один узел n , называемый нейтральным (рис.6), а начало фаз (a, b, c) - к сети.

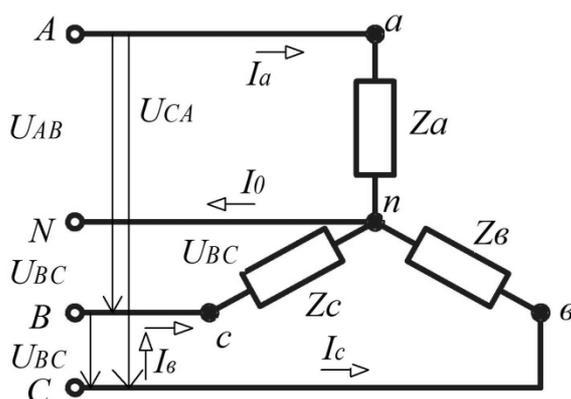


Рис. 6. Соединение «звезда» в трехфазной цепи

Токи, текущие по линейным проводам (I_A, I_B, I_C), принято называть линейными, а токи, текущие по фазам (I_a, I_b, I_c), - фазными. Так как линейный провод и фаза соединены последовательно, то $I_l = I_\phi$. Линейные напряжения в $\sqrt{3}$ больше фазного $U_l = \sqrt{3} U_\phi$. Линейным напряжением принято называть напряжение между двумя линейными проводами - U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} .

Схема, приведенная на рис. 4, называется трехпроводной. Так как $Z_a = Z_b = Z_c$, то нагрузка на фазах симметричная.

В практике симметричная нагрузка встречается достаточно часто: все двигатели трехфазного тока создают симметричную нагрузку, и поэтому двигатели трехфазного тока подключаются к сети по трехпроводной схеме.

При несимметричной нагрузке используется четырёхпроводная схема. Ток в нейтральном проводе определяется согласно закону Кирхгофа суммой линейных токов ($I_0 = I_A + I_B + I_C$). Нейтральный провод выполняет функцию симметрирования фазных напряжений.

При соединении нагрузки треугольником (рис.7) линейные токи не равны фазным токам нагрузки и определяются по первому закону Кирхгофа:

$$I_A = I_{ab} - I_{ca}; I_B = I_{bc} - I_{ab}; I_C = I_{ca} - I_{bc}$$

При симметричной нагрузке ($Z_{ab} = Z_{bc} = Z_{ca}$) линейный ток в $\sqrt{3}$ раз больше фазного, т.е $I_l = \sqrt{3} I_\phi$ а линейное напряжение равно фазному $U_l = U_\phi$

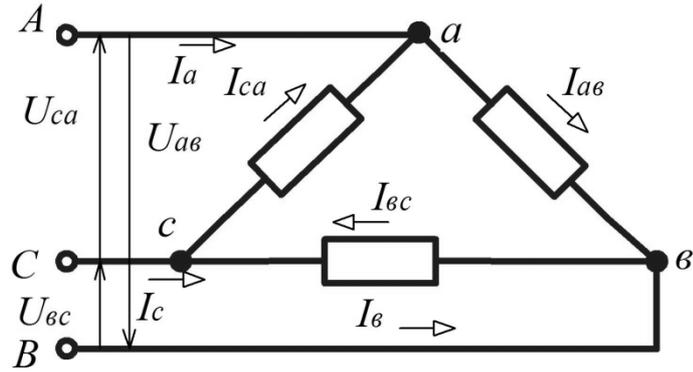


Рис.7. Соединение «треугольник» в трехфазной цепи

Мощность трехфазной системы можно выразить через линейное напряжение U и ток в линейном проводе I .

Соединение звездой	Соединение треугольником
$U_{\phi} = U / \sqrt{3}; I_{\phi} = I;$	$U_{\phi} = U; I_{\phi} = I / \sqrt{3};$
$P = 3 U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi = 3U / \sqrt{3} I \cos \varphi$	$P = 3 U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi = 3 UI / \sqrt{3} \cos \varphi$

Таким образом, для этих двух выводов соединений справедливо соотношение $P = \sqrt{3} UI \cos \varphi$.

Тестовые задания

1. Электрическая цепь - это ...
2. При соединении фаз нагрузки звездой между фазными и линейными напряжениями следующее соотношение: ...
3. Нейтральный провод выполняет функцию ...

РАЗДЕЛ 4. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Методические указания. Следует обратить особое внимание на уточнение понятий «Электростанция», «Электрическая сеть», «Энергетическая система», «Электроэнергетическая система» и «Система электроснабжения». Важно также усвоить особенности энергосистемы.

В соответствии с действующими «Правилами устройства электроустановок» (ПУЭ) **энергетической системой (ЭС)** называется совокупность электростанций, электрических и тепловых сетей, соединённых между собой и связанных общностью режимов в непрерывном процессе производства, преобразования, передачи и распределения электрической и тепловой энергии при общем управлении этим режимом.

Электроэнергетической системой (ЭЭС) называется электрическая часть энергосистемы и питающиеся от неё приёмники электрической энергии, объединённые общностью процесса производства, передачи, распределения и потребления электрической энергии. Электроэнергетическая система включает электрические станции, электрические сети и СЭС.

Система электроснабжения – подсистема ЭЭС. Из рисунка видно, что СЭС являются неотъемлемой частью электроэнергетических систем (ЭЭС).

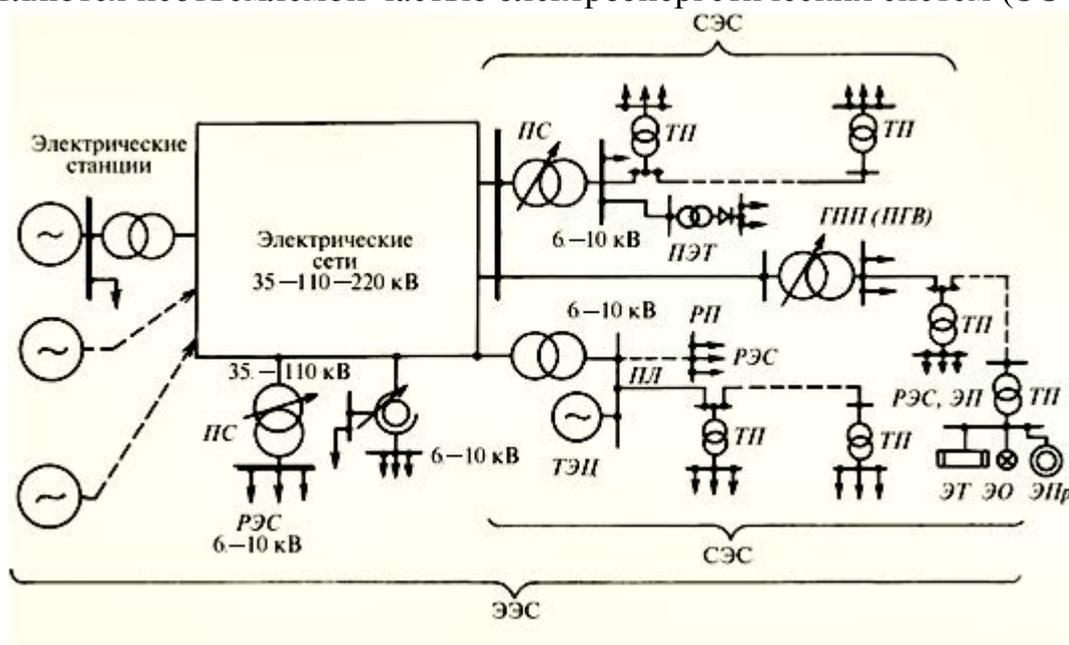


Рис.8. Структурная электрическая схема электроэнергетической системы (ЭЭС) и системы электроснабжения (СЭС)

ПС – подстанции 35–220/6–10 кВ; *ТЭЦ* – теплоэлектроцентраль городского или промышленного предприятия; *ГПП, ПГВ* – главная понизительная подстанция или подстанция глубокого ввода; *РП* – распределительный пункт; *ТП* – трансформаторные подстанции 6–10/0,38–0,66 кВ; *РЭС* – распределительная электрическая сеть; *ЭТ* – электротермические установки; *ЭО* – электрическое освещение; *ЭПр* – электропривод; *ПЭТ* – подстанция электрического транспорта; *ЭП* – электрические приемники; *ПЛ* – питающая линия.

Система электроснабжения не включает в себя потребителей (или приёмников электроэнергии).

Источниками питания электроэнергией СЭС в основном являются понижающие подстанции 35—220/6—10 кВ ЭЭС, а также местные электрические станции.

Электрические сети, питающие СЭС, состоят из внешних воздушных линий 35—220 кВ и понижающих подстанций (ПС) 35—220/6—10 кВ. Распределение электроэнергии по территориям объектов электроснабжения и внутри зданий промышленного, гражданского и другого назначения выполняется линиями 6—10 кВ, подстанциями 6—10/0,38—0,66 кВ и линиями до 1 кВ.

Взаимосвязь объектов, обеспечивающих электроснабжение, можно представить структурной схемой.

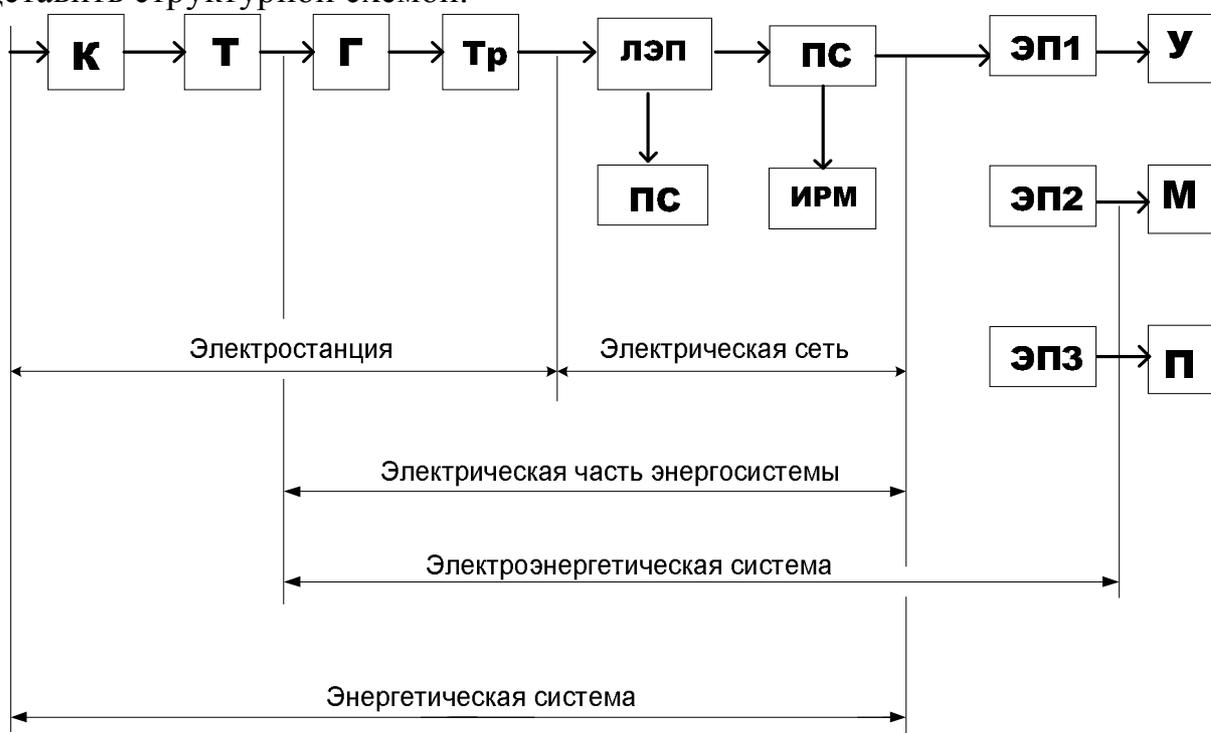


Рис. 9. Взаимосвязь объектов, обеспечивающих электроснабжение:

К – котел, Т – турбина; Г – генератор; Тр– трансформатор; ПС – подстанция; ЛЭП - линия электропередачи; ИРМ – источник реактивной мощности; ЭП – электроприемник; У, М, П – механизмы.

Из представленных схем видно, что после генератора устанавливается трансформатор. Это обосновано тем, что генератор на электростанциях вырабатывает электроэнергию напряжением не более 24 кВ, так как при более высоких напряжениях возникают трудности создания достаточной изоляции в электрических машинах. Передача электрической энергии на большие расстояния при низких напряжениях экономически не выгодна, поэтому на электрических станциях устанавливаются силовые трансформаторы, повышающие напряжение до 110, 220, 500, 700 и 1500 кВ.

У потребителей напряжение с помощью трансформаторов понижается ступенчато:

- на районных подстанциях до 35 (10) кВ;
- на подстанциях предприятий до 10 (6) кВ;
- на подстанциях цехов и жилых районов до 380/220 кВ.

Электрическая энергия, полученная на электрических станциях, передается и распределяется с помощью электрической сети, которая связывает питающие и распределительные подстанции СЭС. Основным элементом СЭС – подстанция (ПС). ПС предназначена для преобразования и распределения энергии и состоит из трансформатора (Т), распределительного устройства (РУ), устройства управления (УУ).

Подстанции подразделяются на:

- **Узловые распределительные подстанции (УРП)** - центральные подстанции напряжением 110...500 кВ.
- **Главные понизительные подстанции (ГПП)** - подстанции напряжением 110-220/6-10-35 кВ.
- **Подстанции глубокого ввода (ПГВ)** напряжением 6-10/0,38-0,66 кВ.
- **Цеховые трансформаторные подстанции (ТП)** напряжением 6-10/0,38-0,66 кВ.

Энергетическое производство, и, в особенности, производство электроэнергии, обладает рядом особенностей, резко отличающих энергетическое производство от других отраслей промышленности.

Анализ вышеизложенного позволяет выделить 3 важнейшие особенности ЭЭС.

Первая и важнейшая особенность электроэнергетической системы заключается в том, что производство электроэнергии, ее распределение и преобразование в другие виды энергии осуществляются практически в один и тот же момент времени. Другими словами, электроэнергия нигде не аккумулируется. Именно эта особенность превращает всю сложную электроэнергетическую систему в единый механизм, и приводит к тому, что все элементы системы взаимно связаны и взаимодействуют. Энергия, произведенная в системе, равна энергии, потребленной в ней. Это равенство справедливо для любого короткого промежутка времени, т.е. между мощностями энергосистемы имеется точный баланс.

Вторая особенность электроэнергетической системы — это относительная быстрота протекания переходных процессов в ней. Волновые процессы совершаются в тысячные или даже миллионные доли секунды; процессы, связанные с короткими замыканиями, включениями и отключениями, качаниями, нарушениями устойчивости, совершаются в течение долей секунды или нескольких секунд.

Третья особенность заключается в том, что она тесно связана со всеми отраслями промышленности, связью, транспортом и т.п. Эта связь осуществляется гигантской совокупностью разнообразнейших приемников электрической системы, получающей питание электроэнергией от

современной энергетической системы. Эта особенность энергетической системы резко повышает актуальность обеспечения надежности работы энергосистемы и требует создания в энергетических системах достаточного резерва мощности во всех ее элементах.

Тестовые задания

1. Первая особенность ЭЭС заключается в ...
2. В синхронном генераторе магнитное поле ротора и статора взаимно ...
3. Закон электромагнитной индукции формулируется следующим образом...

РАЗДЕЛ 5. РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЭЭС

Методические указания. Усвоить основные элементы ЭЭС (силовые, измерительные, средства управления). На память знать определение режима ЭЭС и задачу управления этими режимами.

Состояние ЭЭС на заданный момент или отрезок времени называется **режимом**.

В ЭЭС возможны следующие режимы:

- установившийся;
- утяжеленный;
- аварийный;
- послеаварийный;
- нормальный переходный.

Уже из перечисления возможных режимов ЭЭС следует, что этими режимами необходимо управлять, причем для разных режимов задачи управления различаются:

- для установившихся режимов — это обеспечение экономичного и надежного электроснабжения;
- для утяжеленных режимов — это обеспечение надежного электроснабжения при длительно допустимых перегрузках основных элементов ЭЭС;
- для аварийных режимов — это максимальная локализация аварии и быстрая ликвидация ее последствий;
- для послеаварийных режимов — быстрый и надежный переход к нормальному установившемуся режиму;
- для нормальных переходных режимов — быстрое затухание колебаний.

ЭЭС должна работать устойчиво при малых возмущениях, иначе говоря, она должна обладать статической устойчивостью. Оценка ее запаса устойчивости осуществляется по статической и динамической устойчивости. Запас статической устойчивости по мощности определяется по формуле %:

$$k_p = \frac{P_{np} - P}{P_{np}} \cdot 100\%$$

где P — передаваемая мощность; P_{np} — предельная передаваемая мощность, определенная из условий устойчивости режима с учетом действия автоматических устройств. Значение k_p должно быть не менее 20 % в нормальном режиме и 8 % в кратковременном послеаварийном режиме.

Динамическая устойчивость ЭЭС проверяется при коротких замыканиях (КЗ).

Согласно действующим нормативам по расчетам динамической устойчивости, она должна обеспечиваться в наиболее тяжелых точках энергосистемы при следующих видах коротких замыканий:

- для сетей 35 кВ — при трехфазном коротком замыкании;

- для сетей 110—1150 кВ — при двухфазном коротком замыкании на землю.

Управление режимами ЭЭС осуществляется оперативным персоналом, а также автоматическими регуляторами и устройствами противоаварийной автоматики.

Перечислим наиболее важные автоматические устройства и их назначение.

Автоматические регуляторы возбуждения (АРВ) синхронных машин поддерживают напряжение на их шинах на требуемом уровне и, в случае необходимости, форсируют возбуждение, улучшая тем самым устойчивость работы ЭЭС.

Автоматические регуляторы частоты вращения (АРЧВ) турбин генераторов поддерживают требуемую частоту вращения роторов генераторов и тем самым частоту в ЭЭС.

Автоматическое регулирование частоты и активной мощности (АРЧМ) поддерживает неизменным баланс активной мощности и частоту с учетом возможностей межсистемных электропередач по пропускной способности, т.е. ограничений по передаваемой активной мощности.

Релейная защита (РЗ) элементов ЭЭС действует на сигнал или на отключение элементов энергосистемы в случае их повреждения или ненормальной работы. Информация о состоянии защищаемого объекта непрерывно поступает в защитное устройство, которое обрабатывает ее и в случае нарушения нормального режима работы устанавливает место и вид повреждения.

Автоматическое включение резерва (АВР) осуществляет ввод резервного оборудования при аварийном отключении основного.

Автоматическое повторное включение (АПВ) повышает надежность электроснабжения потребителей за счет повторного включения ЛЭП после ее автоматического отключения посредством релейной защиты.

Автоматическая частотная разгрузка (АЧР) ЭЭС обеспечивает сохранение баланса мощности при тяжелой аварии, если она сопровождается значительным понижением частоты в энергосистеме (ниже допустимого уровня). В этом случае АЧР отключает ряд наименее ответственных, заранее выбранных потребителей, чтобы предотвратить значительное снижение частоты и напряжения в ЭЭС, следовательно, сохраняет устойчивость работы ЭЭС.

Автоматический частотный пуск (АЧП) агрегатов ГЭС осуществляется при снижении частоты в ЭЭС ниже допустимого уровня в связи с тем, что время набора мощности агрегатами ГЭС составляет около 1 мин.

Тестовые задания

1. Состояние ЭЭС на заданный момент времени называется ...
2. Если параметры режима неизменны во времени, то режим ЭЭС называется ...
3. АВР синхронных машин поддерживают ...

РАЗДЕЛ 6. РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ЧАСТОТЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

Методические указания. Понять, что отклонение напряжения и частоты от требований неблагоприятно сказывается на качестве электроэнергии. Помнить, что основным средством регулирования напряжения является использование специальных технических средств. Предварительно повторить принцип работы синхронного генератора.

Протекание тока по элементам электрической сети сопровождается потерями напряжения. Обеспечить выполнение требований к отклонениям напряжений в современных ЭЭС без применения специальных мер и устройств невозможно, что наглядно демонстрируется схемой передачи электроэнергии (рис.9).

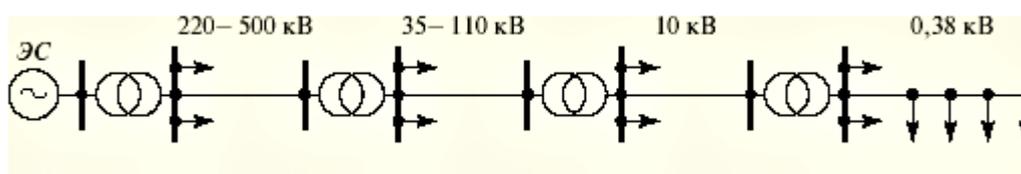


Рис. 10.Схема передачи электроэнергии в сети

Электрическая энергия претерпевает четыре трансформации, при каждой трансформации потери напряжения составляют 5 %, а в каждой из сетей — 10 %, то суммарные потери напряжения могут составить 60 %.

Для анализа возможностей уменьшения потерь напряжения в элементах ЭЭС (линиях, трансформаторах) воспользуемся выражением для их определения:

$$\Delta U = \frac{PR + QX}{U}$$

где P , Q — активная и реактивная мощности в элементе сети; R , X — активное и реактивное сопротивления элемента; U — напряжение на том конце элемента, где заданы мощности.

Потери напряжения можно уменьшить, увеличивая напряжения сети, уменьшая активную и реактивную мощности, уменьшая активные и реактивные сопротивления. Однако эти способы снижения потерь напряжения экономически не целесообразны.

При регулировании напряжения с помощью синхронного генератора, задачей персонала является регулирование подачи на турбину, создающую механический момент, требуемого количества агента (пара, газа, воды), необходимых параметров для обеспечения равновесия вращающего и тормозящего электромагнитного моментов.

Задача регулирования частоты подразделяется на три взаимосвязанные части:

- **Первичное регулирование частоты** осуществляется автоматическими регуляторами частоты вращения (АРЧВ) турбин. Каждая турбина снабжена регулятором, который при изменении частоты вращения турбоагрегата, изменяя

положение регулирующих органов турбины (регулирующих клапанов у тепловой турбины или направляющего аппарата у гидротурбины), меняет впуск энергоносителя (пара или воды). При повышении частоты вращения регулятор прикрывает регулирующие органы турбины и уменьшает впуск энергоносителя, а при снижении частоты открывает регулирующие органы и увеличивает впуск энергоносителя.

- Задачу восстановления нормального уровня частоты решает **вторичное регулирование**. В отличие от первичного регулирования вторичное осуществляется в течение нескольких минут. Компенсацию всего первоначально возникшего небаланса мощности принимают на себя электростанции вторичного регулирования частоты до тех пор, пока не будет нормализован режим в месте его первоначального нарушения.

- **Третичное регулирование частоты** используется в том случае, когда ЭЭС не способна восстановить небаланс мощности.

Таким образом, частота в энергосистеме определяется общим балансом генерируемой и потребляемой активной мощности. Если баланс соблюдается, то частота неизменна. При нарушении баланса мощности, т.е. при появлении небаланса мощности, возникает переходный процесс изменения частоты. По скорости и направлению изменения частоты можно судить о величине и знаке возникшего в энергосистеме небаланса активной мощности. Если частота в энергосистеме уменьшается, то для восстановления нормальной частоты надо увеличить активную мощность, вырабатываемую на электростанциях.

Тестовые задания

1. При аварийном отключении СГ от нагрузки статора становятся равными ...
2. При нормальном синхронном режиме частота вращения ротора определяется ...
3. Суммарные потери напряжения в сети могут составить ...
4. Если частота в ЭЭС уменьшается, то необходимо ...

РАЗДЕЛ 7. РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК И СХЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Методические указания. Усвоить назначение и классификацию распределительных устройств. Знать на память основные схемы электроснабжения.

Питание систем электроснабжения осуществляется через питающие пункты энергосистем и собственные заводские электростанции.

По электропотреблению предприятия подразделяются на:

- крупные с установленной мощностью электрооборудования 75–10 МВт
- средние – 5 – 75 МВт
- малые – менее 5 МВт

Схема электроснабжения должна быть надежна и безопасна в эксплуатации. Она должна обеспечивать необходимое качество электроэнергии в нормальном и послеаварийном режимах.

Подстанция предназначена для преобразования и распределения энергии и состоит из трансформаторов, распределительных устройств и устройств управления.

Распределительные устройства (РУ) предназначены для приема и распределения электроэнергии на одном напряжении. РУ включают:

- коммутационные аппараты;
- сборные шины;
- вспомогательные устройства;
- устройства защиты, автоматики и измерительные приборы.

Подстанции и РУ могут быть открытые, закрытые и комплектные (КРУ).

На подстанциях промышленных предприятий могут применяться следующие схемы соединений:

1. Одиночная несекционированная система сборных шин
2. Одиночная секционированная система сборных шин
3. Обходная система сборных шин
4. Двойная система сборных шин

Одиночная несекционированная система сборных шин (Рис.10) применяется для цеховых подстанций неответственных маломощных предприятий.

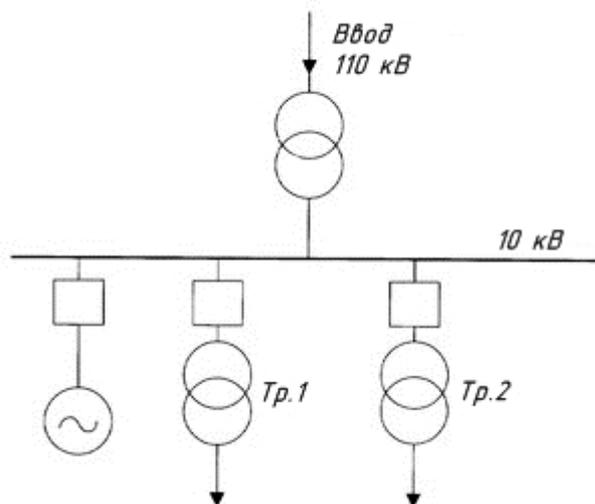


Рис. 10. Одиночная несекционированная система сборных шин

Схема не экономична, однако при аварии на шинах и ревизиях сборных шин и шинных разъединителей полностью прекращается электропитание всех потребителей.

Одиночная секционированная система сборных шин (рис.11) обладает большей гибкостью и обеспечивает полную бесперебойность наиболее ответственных потребителей.

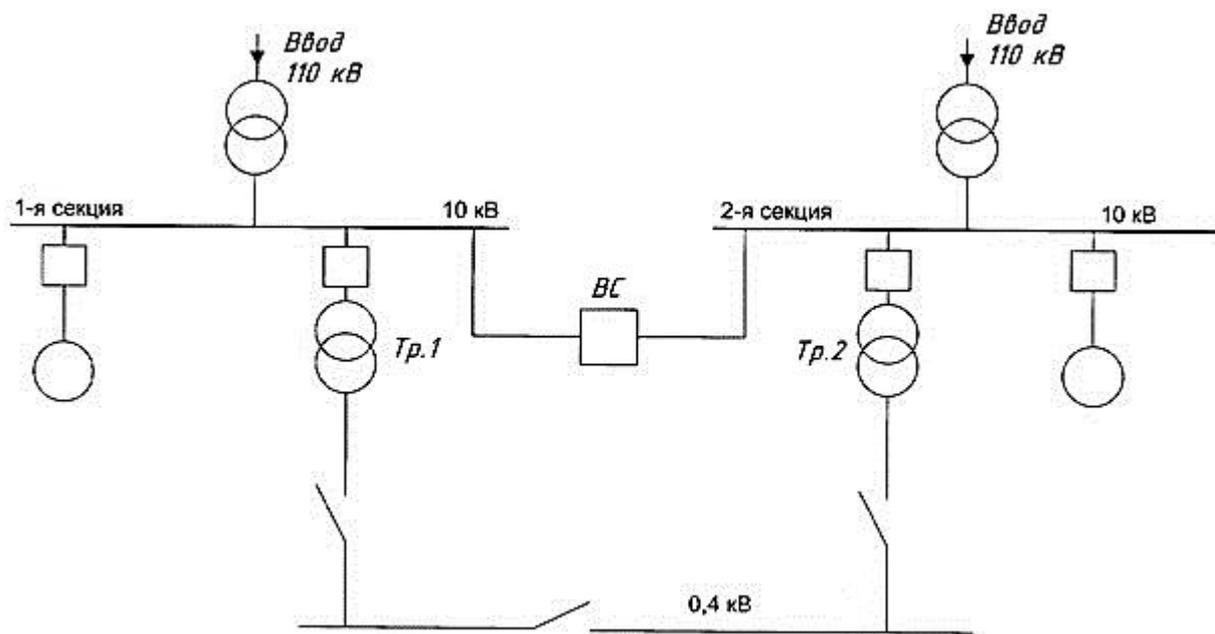


Рис. 11. Одиночная секционированная система сборных шин

Схема с обходной системой сборных шин (рис.12) позволяет использовать всего один выключатель ВОна все линии, отходящие от обходной секции.

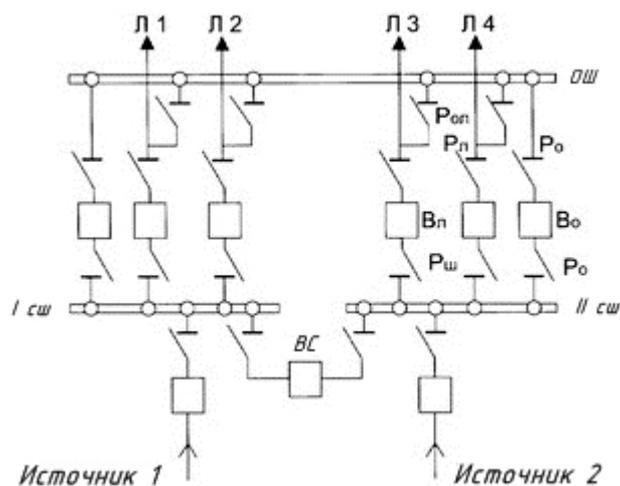


Рис. 12. Обходная система сборных шин

Схема обеспечивает высокую надежность. В нормальном режиме электропотребители питаются от 1-ой и 2-ой секций, в других режимах они отключаются от своей секции и получают питание от обходной шины.

Двойная система сборных шин (рис.13) применяется на крупных преобразовательных подстанциях с большим числом отходящих линий.

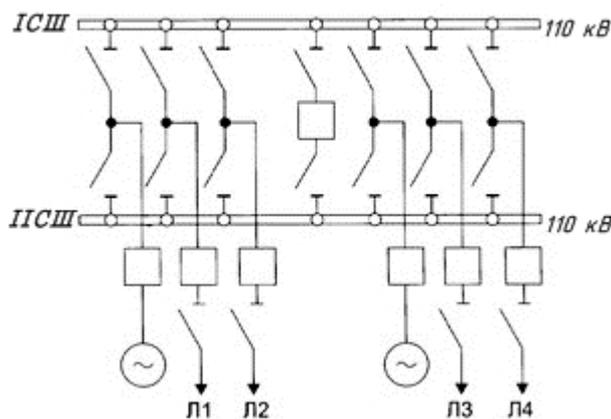


Рис. 13. Двойная система сборных шин

Между подстанциями передача электрической энергии может производиться по магистральным и радиальным схемам (рис.14).

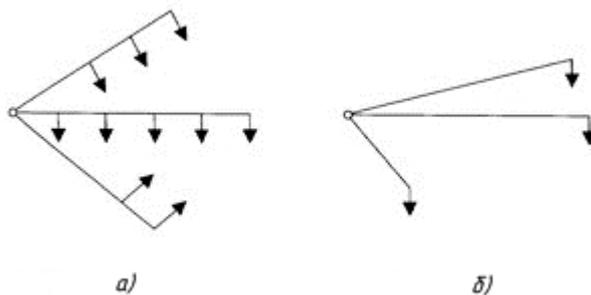


Рис. 14. Магистральная (а) и радиальная (б) схемы передачи.

Магистральные схемы нашли широкое применение в цехах для питания большого количества маломощных потребителей, равномерно расположенных по цеху, например, металлообрабатывающих станков. Магистральная распределительная сеть цеха обычно выполняется в виде шинпровода с ответвительными коробками.

Радиальная распределительная сеть требует большего числа оборудования, она менее удобна и применяется в основном в цехах с взрывоопасной или химически ядовитой средой. При радиальной схеме на цеховых подстанциях имеются распределительные устройства или распределительные щиты, которые питают распределительные пункты или отдельные электроприемники большой мощности. В распределительных щитах имеется защита отходящих линий в виде автоматических выключателей или предохранителей. Для большей безопасности работы устанавливаются рубильники.

Тестовые задания

1. В проекте ЭС больших предприятий следует предусматривать ...
2. Малая энергетика - направление, связанное с получением тепла и электричества независимо...
3. Источники развития малой энергетики ...
4. Распределительный пункт не входит в состав ...

РАЗДЕЛ 8. СХЕМЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ НА ВЫСШЕМ И СРЕДНЕМ НАПРЯЖЕНИЯХ

Методические указания. Уметь на память чертить схемы с одиночной и двойной системами сборных шин. Особое внимание обратить на алгоритм вывода в ремонт выключателя присоединения.

На высшем и среднем напряжениях применяются схемы с одиночной и двойной системами сборных шин. Обе эти схемы применяются в сочетании с обходной системой сборных шин, позволяющей производить поочередный ремонт выключателей без отключения присоединений путем замены ремонтируемого выключателя обходным выключателем (ОВ).

Вывод в ремонт выключателя присоединения производится в следующей последовательности:

- включаются оба разъединителя ОВ;
- включается ОВ и тем самым подается напряжение на обходную систему шин. Наличие напряжения на обходной системе шин свидетельствует об исправности ОВ;
- отключают ОВ;
- включают шинный разъединитель обходной системы шин ремонтируемого присоединения;
- включают ОВ;
- отключают выключатель ремонтируемого присоединения;
- отключают шинный и выходной разъединители ремонтируемого присоединения.

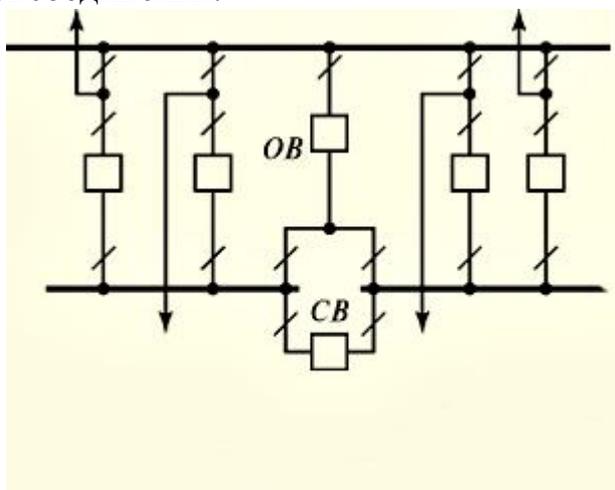


Рис. Одиночная система сборных шин с обходной системой шин

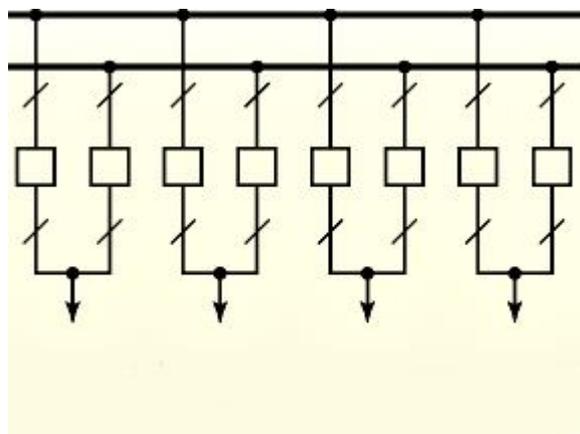


Рис. Двойная система сборных шин с двумя выключателями на присоединение

Теперь присоединение, выключатель которого выведен в ремонт, будет подключено к рабочей секции через ОВ. По окончании ремонта в обратной последовательности восстанавливается исходная схема питания.

Аналогичные операции необходимо произвести при выводе в ремонт выключателя присоединения и в схеме с двойной системой сборных шин с обходной системой шин.

Следует заметить, что идея использования обходной системы шин и ОВ в РУ генераторного напряжения применения не нашла.

В приведенных схемах каждое из присоединений подключается к сборным шинам через один выключатель.

На практике используют схему, в которой присоединение подключается к сборным шинам через развилку из двух выключателей (рис.13). Наличие двух выключателей позволяет производить поочередный их ремонт без отключения присоединения (для этого необходимо отключить только ремонтируемый выключатель и его разъединители). Данная схема является самой дорогостоящей, так как требует двойного комплекта оборудования (выключателей).

Капитальные вложения в схему с двумя выключателями на присоединение можно уменьшить, сохранив все ее основные преимущества, если через три выключателя к двум сборным шинам подключить два присоединения (схема 3/2, или полуторная).

В данной схеме отключение присоединения производится двумя выключателями, что дает возможность производить их поочередный ремонт. Однако в случае аварийного отключения одного из присоединений смежное присоединение оказывается подключенным только к одной системе сборных шин через один выключатель. Парное подключение к трем выключателям источников энергии и линий электропередачи позволяет продолжать электроснабжение потребителей даже в случае отключения обеих систем сборных шин.

Тестовые задания

1. При выводе в ремонт выключателя присоединения с одиночной системой сборных шин производится включением обоих разъединителей ...
2. Двойная система сборных шин применяется на крупных преобразовательных подстанциях с ...
3. Одиночная несекционированная система сборных шин применяется ...

РАЗДЕЛ 9. СХЕМА МОЩНОЙ ГПП С ГРУПОВЫМ РЕАКТИРОВАНИЕМ ЛИНИЙ 6-10 кВ

Методические указания. Уметь чертить принципиальную схему ГПП и дать объяснение ее работы.

По воздушным линиям 110 кВ производится питание 1 и 2 вводов (Рис. 15).

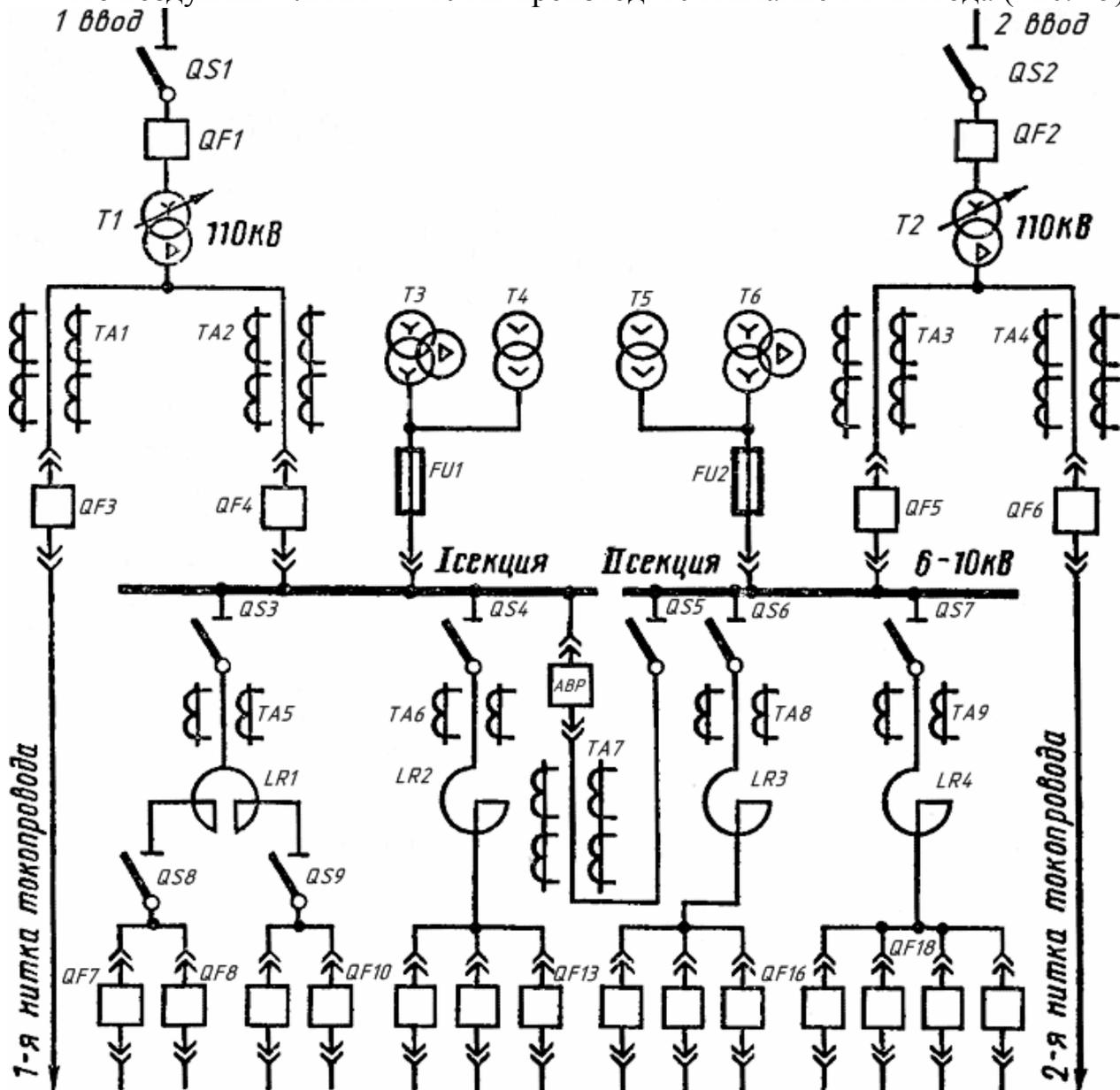
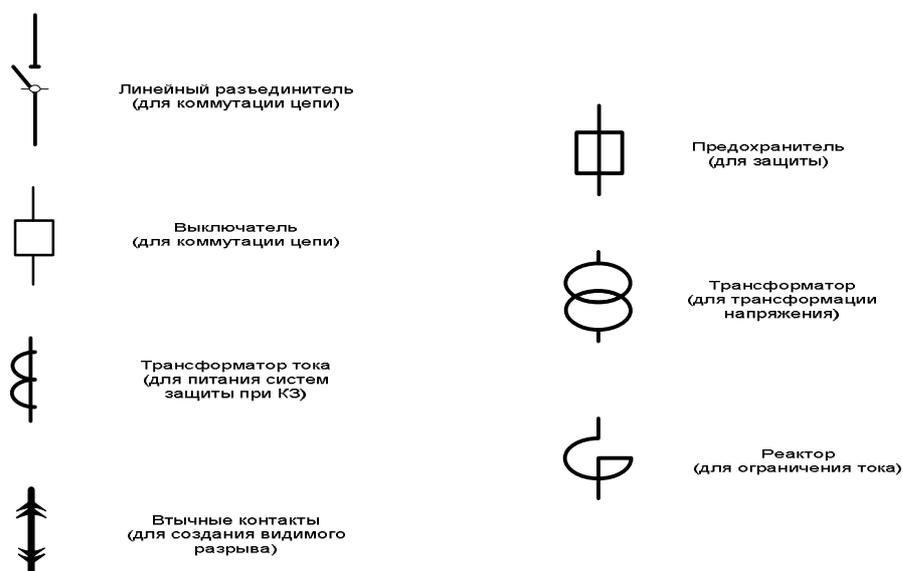


Рис. 15. Принципиальная схема ГПП. Условные обозначения:



Через линейные разъединители (QS_1, QS_2) и выключатели (QF_1, QF_2) питание подается на трансформаторы (T_1, T_2), которые понижают напряжение до 6-10 кВ. С трансформаторов, через выключатели (QF_4, QF_5) и трансформаторы тока, питание подается на секции (I и II 6-10кВ).

С секций шин питание подается к потребителям. Питание потребителей осуществляется через линейные разъединители QF, трансформаторы тока ТА и реакторы LR.

Между секциями шин расположен АВР (автоматический выключатель резерва), который служит для секционирования шин при исчезновении напряжения на одной из секций.

Токопроводы 6—10 кВ на этой схеме подключены непосредственно к трансформаторам через отдельные выключатели. Благодаря этому разгружаются вводные выключатели, создается независимое питание токопроводов от прочих потребителей, подключенных к сборным шинам, и тем самым повышается общая надежность электроснабжения.

Тестовые задания

1. АВР служит ...
2. Силовые трансформаторы служат ...
3. При старении трансформатора потери активной мощности ...

РАЗДЕЛ 10. СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Методические указания. Необходимо сделать основной упор на изучение схем промышленных источников тепловой энергии. Знать схемы ТЭЦ и ПГУ с котлом-утилизатором. Четко уметь формулировать основные определения: тепловая сеть, автономные источники теплоснабжения, когенеративный автономный источник.

Совокупность взаимосвязанных источника теплоты, тепловых сетей и систем теплоснабжения образуют систему теплоснабжения. Поэтому, тепловая сеть является элементом централизованной системы теплоснабжения. Тепловые сети соединяют источник тепловой энергии с ее потребителем.

Основное назначение любой системы теплоснабжения состоит в обеспечении потребителей необходимым количеством теплоты в заданных параметрах.

В зависимости от размещения источника теплоты по отношению к потребителям системы теплоснабжения подразделяются на:

- 1) децентрализованные;
- 2) централизованные.

Подготовка теплоносителя производится на ТЭЦ, а также в городских, котельных, районных, групповых или промышленных котельных.

Температура в системах теплоснабжения должна соответствовать давлению, при котором не будет вскипания.

Повышение температуры в источнике теплоснабжения (у генератора теплоты) ведет к снижению количества перекачиваемой воды, уменьшению диаметров труб и расходов энергии на перекачку.

Тепловые станции, вырабатывающие одновременно электрическую и тепловую энергию, называют ТЭЦ (теплоэлектроцентрали). Процесс одновременной выработки электрической и тепловой энергии на ТЭЦ при использовании для централизованного теплоснабжения пара, отработавшего в паровых турбинах, называют теплофикацией.

Одной из главных задач ТЭЦ является нагрев требуемого количества обратной сетевой воды $W_{с.в}$ с температурой $t_{о.с}$ до температуры прямой сетевой воды $t_{п.с}$. Таким образом, режим работы ТЭЦ по отпуску тепла с сетевой водой диктуется потребителем тепла — тепловой сетью — и должен в неукоснительном порядке выполняться ТЭЦ.

Нагрев сетевой воды на ТЭЦ до одной и той же температуры $t_{п.с}$ можно осуществить разными способами.

Самый простой, но и самый неэкономичный способ — это нагрев воды с помощью редуционно-охладительных установок (РОУ). Обратная сетевая вода поступает к РОУ, питаемой от паропровода свежего пара.

Часть свежего пара, поступающего к каждой паровой турбине, редуцируется и направляется в сетевой подогреватель (СП), где, конденсируясь, передает теплоту конденсации сетевой воде.

Другим способом является использование теплоты конденсации пара низкого давления, отбираемого из турбины после того, как он прошел большую ее часть и выработал механическую энергию.

Однако и при этом необходимо отбирать пар достаточно высокого давления, особенно для получения необходимой температуры прямой сетевой воды. Поэтому в большинстве случаев для нагрева сетевой воды на ТЭЦ используются теплофикационные установки, принципиальная тепловая схема которой показана на рис.16.

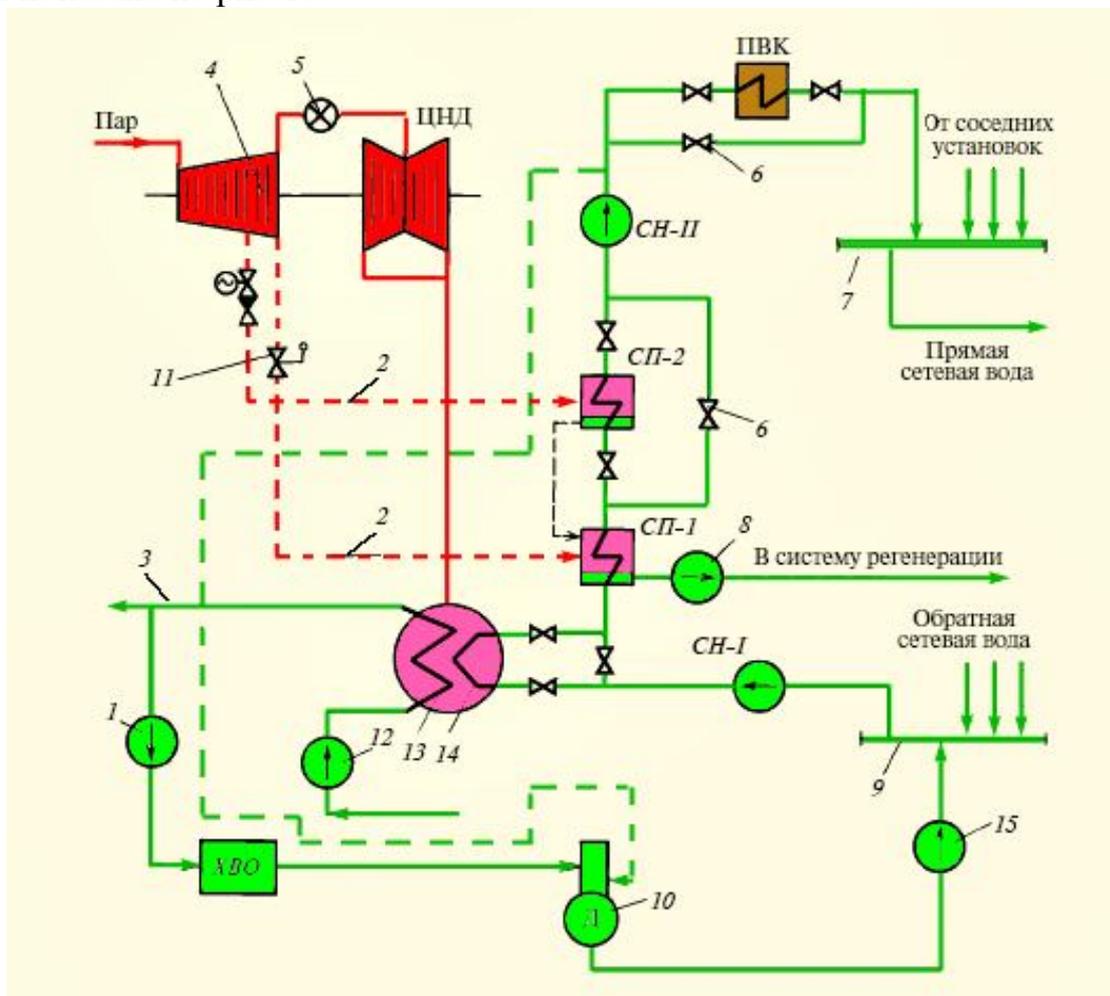


Рис.16. Принципиальная схема теплофикационной установки и ее включение в общую схему подогрева воды на ТЭЦ.

1 – насос сырой воды, подающий ее на химводоочистку; 2 – паропроводы отбора пара из турбины в сетевые подогреватели; 3 – нагретая охлаждающая вода в градирню (или водоем); 4 – переключаемый отсек; 5 – регулирующий клапан, определяющий отбор пара в сетевые подогреватели; 6 - обводные задвижки; 7 – напорный коллектор прямой сетевой воды; 8 – насос откачки конденсата греющего пара; 9 – коллектор обратной сетевой воды; 10 – вакуумный (или атмосферный) деаэратор подпиточной воды; 11 – предохранительный клапан; 12 – циркуляционный насос; 13 – основной пучок конденсатора; 14 – встроенный пучок; 15 – подпиточный насос.

Для нагрева сетевой воды обычно используются два сетевых подогревателя. Сначала она поступает в «нижний» подогреватель *СП-1*, в

который поступает пар «ниже по течению» в турбине, т.е. при меньшем давлении, а затем в «верхний» сетевой подогреватель *СП-2*, в который поступает пар с большим давлением. При работе двух сетевых подогревателей реализуется двухступенчатый нагрев сетевой воды, который более экономичен, чем одноступенчатый (с использованием *СП - 2*).

Обратная сетевая вода из магистральных трубопроводов различных районов города подается коллектор⁹ обратной сетевой воды. Из этого коллектора питаются все водонагревательные установки ТЭЦ, каждая из которых работает от своей турбины. В конечном счете, все водонагревательные установки работают на один или несколько напорных коллекторов 7 прямой сетевой воды, откуда она разводится на отопление районов города.

Сетевая вода из магистрали обратной сетевой воды ТЭЦ сетевыми насосами *СН-1* первого подъема подается к нижнему сетевому подогревателю *СП-1*, который питается паром из выходного патрубка ЦВД. В некоторых режимах сетевую воду можно предварительно подогреть в так называемом встроенном пучке¹⁴ конденсатора.

В зимний период, когда требуется большое количество тепла, регулирующий клапан 5 перед ЦНД турбины закрывают почти полностью, для того чтобы почти весь поступающий в турбину пар направить в сетевые подогреватели. Однако для того, чтобы рабочие лопатки ЦНД не разогрелись до недопустимой температуры от трения о неподвижную плотную паровую среду, через ЦНД пропускают небольшое количество пара. Во встроенный пучок подают небольшое количество сетевой или подпиточной воды теплосети, а в трубки основного трубного пучка 13 циркуляционная охлаждающая вода не подается.

После *СП-1*, если температура сетевой воды соответствует требованию температурного графика тепловой сети, то она через задвижку 6 сетевыми насосами *СН-II* направляется в напорную магистраль 7 прямой сетевой воды ТЭЦ. Если нагрев воды недостаточен, то сетевая вода подается в *СП-2*, обогреваемая паром с большим давлением и соответственно с более высокой температурой конденсации. В большинстве случаев сетевая вода, пройдя через оба подогревателя, нагреется до 100—110°C. Поэтому при необходимости иметь еще более высокую температуру сетевой воды, например, в очень холодное время, ее после нагрева в двух подогревателях направляют в *ПВК*. В нем сжигается дополнительное топливо, и вода нагревается до 140—200°C в соответствии с потребностями конкретного теплового графика.

Паропроводы 2 отопительных отборов подают пар из турбины в подогреватели. Главное требование к ним — малое гидравлическое сопротивление. Поэтому их выполняют большим числом (обычно 1—4), большого диаметра (вплоть до 1300 мм), минимальной протяженности (сетевые подогреватели размещают прямо под турбиной) и с минимальным количеством арматуры. Конденсат греющего пара *СП-2* по каскадной схеме сбрасывается в *СП-1*, а из него с помощью сливного насоса 8 он закачивается в систему регенерации.

К сожалению, в тепловых сетях теряется определенное количество сетевой воды. Поэтому на ТЭЦ устанавливается специальная подпиточная установка теплосети. Сырая вода из сливного водовода 3 конденсатора группой параллельных насосов 7 подается к химводоочистке ХВО, а из нее — в специальный вакуумный (или атмосферный) деаэратор 10. Греющей средой в деаэраторе является сетевая вода, нагретая в СП-1 и СП-2. Очищенная и деаэрированная вода подпиточными насосами 15 подается в коллектор 9 обратной сетевой воды ТЭЦ.[6]

Количество пара, поступающего в отборы, можно регулировать. Это позволяет в широких пределах изменять тепловую нагрузку станции при неизменной электрической нагрузке и наоборот.

Основные способы повышения КПД ТЭС:

- повышение параметров пара перед турбиной;
- понижение параметров пара в конденсаторе;
- промежуточный перегрев пара;
- регенеративный подогрев питательной воды.

Самыми распространенными и экономичными на сегодняшний день являются ПГУ с котлом-утилизатором и двумя контурами давления (рис.17). КПД таких установок по выработке электрической энергии достигает 50-55%.

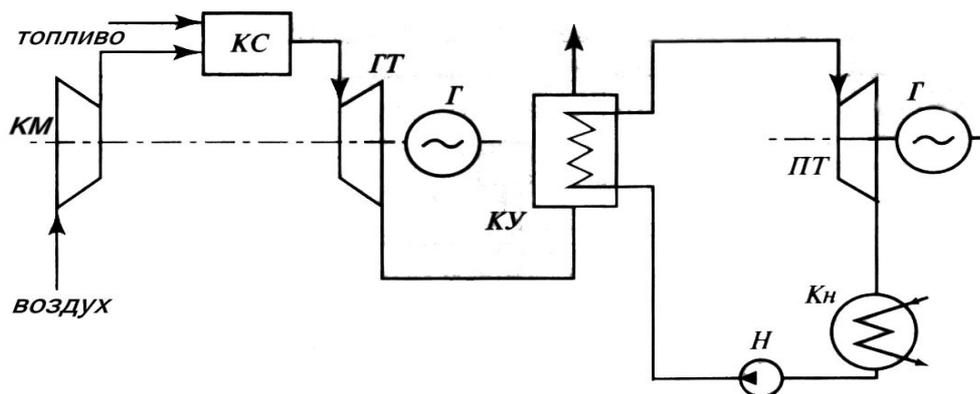


Рис.17. Схема ПГУ с котлом-утилизатором

КМ – компрессор; КС – камера сгорания; ГТ – газовая турбина; Г – генератор; КУ – котел-утилизатор; ПТ – паровая турбина; К – конденсатор; Н – насос.

Продукты сгорания из газотурбинной установки подаются в котел-утилизатор и служат для выработки пара, вращающего паровую турбину. В установках такого типа мощность газотурбинной установки существенно выше мощности паротурбинной установки

Другой способ работы ПГУ заключается в том, что продукты сгорания из газотурбинной установки направляются в котел, в котором сжигается твердое или жидкое топливо. Такой способ применяется для повышения эффективности существующих блоков паротурбинной электростанции путем их надстройки газовыми турбинами, т.е. расширения электростанции за счет установки предвключенных турбин высоких параметров. КПД установок такого типа

составляют 46-48%. В данном случае паротурбинная установка обладает большей мощностью, чем газотурбинная.

Температура в системах теплоснабжения должна соответствовать давлению, при котором не будет вскипания. Повышение температуры в источнике теплоснабжения (у генератора теплоты) ведет к снижению количества перекачиваемой воды, уменьшению диаметров труб и расходов энергии на перекачку.

$$G = \frac{Q}{c(t_1 - t_2)}$$

где c – удельная теплоемкость воды, равная 4,19 кДж/кг⁰С;

t_1 – температура воды до системы теплоснабжения (после источника теплоты); t_2 – температура воды после системы теплоснабжения (до источника теплоты); Q – мощность теплового потока, отдаваемого водой, кВт.

В системах парового теплоснабжения применяется пар различных давлений:

Система парового теплоснабжения низкого давления	0,005 – 0,07 МПа
Система парового теплоснабжения высокого давления	более 0,07 МПа

Для промышленной технологической нагрузки применяется пар более высокими давлениями.

Мощность тепловой отдачи пара в системе теплоснабжения:

$$Q = G(i - c_k \cdot t_{нас})$$

G – количество пара, кг/с; i – энтальпия сухого насыщенного пара кДж/кг; c_k – теплоемкость конденсата, как и воды, равна 4,19 кДж/кг⁰С; $t_{нас}$ – температура насыщения пара.

Для пара низкого давления формула упрощается:

$$Q = Gr$$

где r – скрытая теплота парообразования, равная 2290 кДж/кг.

Тестовые задания

1. Назначение любой системы теплоснабжения состоит: ...
2. Для передачи теплоты на большие расстояния применяются два теплоносителя ...
3. Главная задача ТЭЦ ...

РАЗДЕЛ 11. ГРАФИК ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ ТЕПЛОСЕТИ И РАБОТА ТЕПЛОФИКАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ТЭЦ

Методические указания. Изучить принципиальную схему ТЭЦ. Усвоить, что режим работы ТЭЦ по отпуску тепла с сетевой водой диктуется потребителям тепла тепловой сетью. Уметь объяснить график тепловой нагрузки теплосети.

При проектировании ТЭЦ максимально возможную потребность в тепле оценивают не по фактически возможной минимальной температуре воздуха в конкретном регионе, а по некоторой условной так называемой минимальной расчетной температуре наружного воздуха, которая выше, чем фактически возможная в конкретном районе. Возможный дефицит в тепле сглаживается кратковременностью фактических очень низких температур воздуха и аккумулирующей способностью зданий. Минимальная расчетная температура определяется климатическими условиями и составляет, например, для Москвы — 25°C, для г. Томска — 40°C.[6]

По мере повышения $t_{н.в}$ разность температур в помещении и в окружающей среде и потребность в тепле уменьшаются (линия AB на рис.18, a). При $t_{н.в} > +20^\circ\text{C}$ уже требуется не обогрев зданий, а кондиционирование помещений. Однако, на практике отопление жилых и общественных зданий отключают при снижении $t_{н.в}$ до некоторого меньшего значения (обычно плюс 8-10°C) и сохранении ее в течение 3 суток. В этот момент (точка B на рис. 18, a) отопительная нагрузка уменьшается до нуля (отрезок BD). Однако, бытовая тепловая нагрузка (горячее водоснабжение) $Q_{\text{быт}}$ — круглогодична, поэтому реальная потребность в тепле уменьшается до значения $Q_{\text{быт}}$ и сохраняется примерно постоянной при любой температуре наружного воздуха (отрезок CE).

Таким образом, при имеющейся структуре конкретного района, обслуживаемого конкретной ТЭЦ, температура наружного воздуха $t_{н.в}$ определяет то количество тепла, которое ТЭЦ должна отпустить с сетевой водой:

$$Q_T = cW_{с.в.}(t_{п.с.} - t_{о.с.})$$

где $c = 4,19$ кДж/(кг · К) — теплоемкость сетевой воды; $W_{с.в.}$ — ее расход.

Максимальный отпуск тепла ТЭЦ

$$Q_T^{\text{макс}} = cW_{с.в.}^{\text{макс}}(t_{п.с.}^{\text{макс}} - t_{о.с.}^{\text{макс}})$$

где $W_{с.в.}^{\text{макс}}$ — расход сетевой воды при максимальном отпуске тепла;

$t_{п.с.}^{\text{макс}}$ и $t_{о.с.}^{\text{макс}}$ — так называемые расчетные температуры прямой и обратной сетевой воды соответствующие максимальному отпуску тепла.

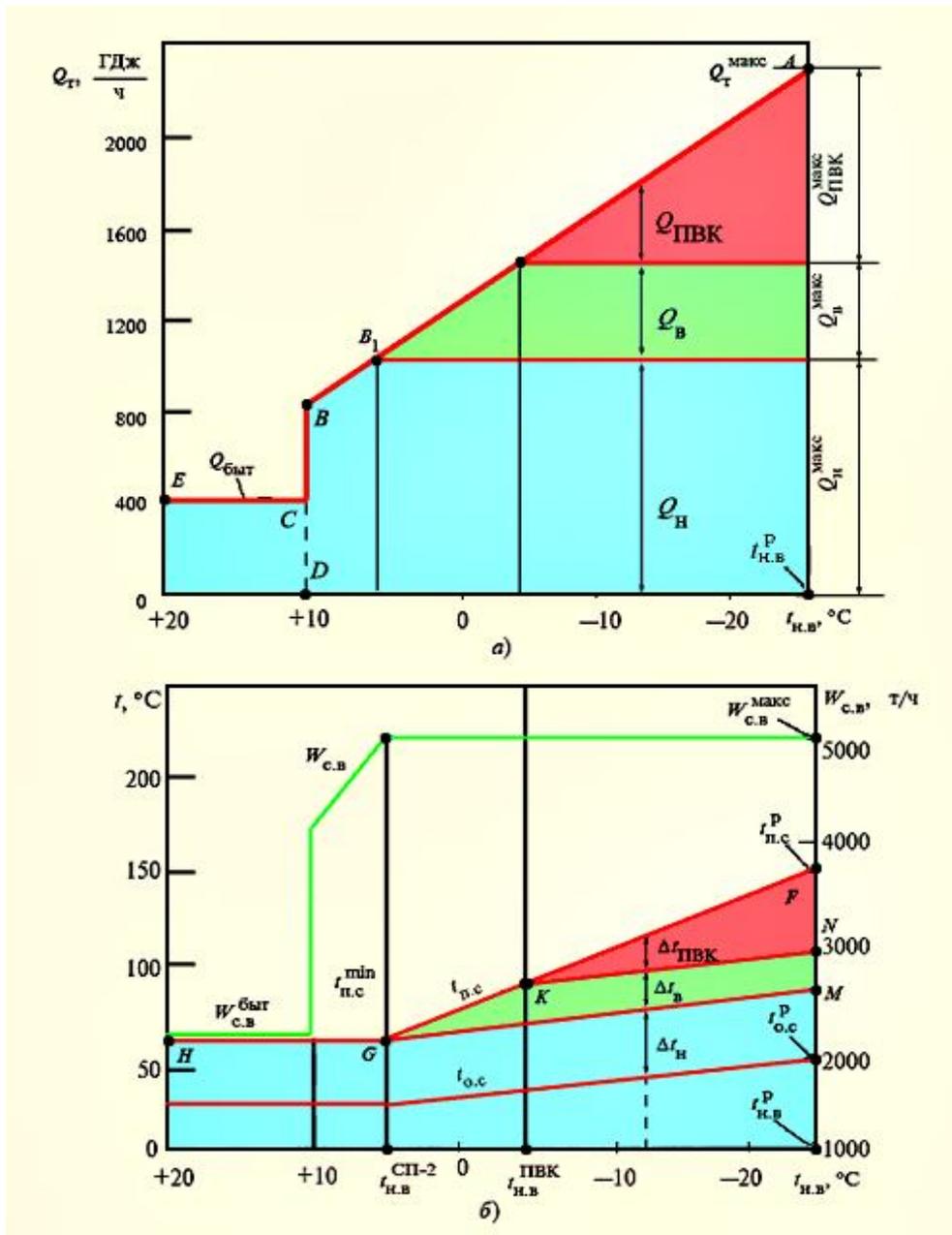


Рис.18. Потребление тепла (а) и температурный график теплосети (б)

Из графика видно, что летом отапливать помещения нет необходимости. Однако необходимость в горячей воде остается. Поэтому ТЭЦ отпускает небольшое количество воды (в нашем примере на рис.18, а — 2200 т/ч) с температурой 60 °С. Нагрев этой воды осуществляется только в нижнем сетевом подогревателе СП-1 (см. рис.16). Прямая сетевая вода с температурой 70-65°С поступает в теплообменники тепловых узлов, расположенных во дворах домов. В этих теплообменниках горячая сетевая вода нагревает обычную водопроводную воду и с температурой 30°С возвращается на ТЭЦ. Нагретая водопроводная вода используется в бытовых целях и сливается в канализацию.

С приближением осени температура наружного воздуха уменьшается, в помещениях становится холоднее, и поэтому при температуре +10°С (рис.18, а) включается отопление зданий. При этом температуры $t_{н.с}$ и $t_{о.с}$ оставляют

неизменными, а расход сетевой воды резко увеличивают, так как ее необходимо использовать для нагрева воды, циркулирующей в радиаторах отопления наших домов. Этот процесс изображается отрезком CB на рис.18, a .

При дальнейшем снижении температуры наружного воздуха теплосъем со зданий увеличивается, потребность в тепле растет (отрезок BB_1 , поэтому расход сетевой воды повышают до максимального значения (в нашем случае $W_{C.B.}^{макс} = 5400$ т/ч).

Дальнейшее повышение теплопроизводительности водо-подогревательной установки при снижении $t_{н.в}$ и поддержание требуемого температурного графика сети по линии GK возможно только увеличением $t_{п.с}$, т.е. повышением давления в подогревателе $СП-1$ или дополнительным подключением верхнего $СП-2$. Рациональнее оказывает второе: при температуре подключается $СП-2$. Давление в нем выше, чем в $СП-1$ и поэтому выходящая из него сетевая вода будет иметь большую температуру.

При температуре $t_{н.в.}^{ПВК} = -5^\circ\text{C}$ подключают ПВК и, увеличивая его тепловую нагрузку, повышают температуру прямой сетевой воды вплоть до 150°C .

Линия GM на рис.18, b показывает, как изменяется температура сетевой воды за нижним сетевым подогревателем при подводе к ней постоянного количества тепла Q_H (см. рис.18, a). Аналогичным образом по линии KN изменяется температура за верхним сетевым подогревателем.

При расчетной температуре $t_{н.в.}^P$ в тепловую сеть отпускается максимальное количество тепла $Q_T^{макс}$, полученное в нижнем сетевом подогревателе $Q_H^{макс}$, верхнем сетевом подогревателе $Q_B^{макс}$ и в ПВК $Q_{ПВК}^{макс}$:

$$Q_T^{макс} = Q_H^{макс} + Q_B^{макс} + Q_{ПВК}^{макс}$$

Тепло $Q_H^{макс} + Q_B^{макс}$ отпускается с паром из отборов, который выработал электроэнергию. Это «теплофикационное» тепло. Тепло $Q_{ПВК}^{макс}$ получено в водогрейном котле за счет сжигания дополнительного топлива.

Отношение $\alpha_{ТЭЦ} = \frac{Q_{отб}^{макс}}{Q_T^{макс}}$ называется коэффициентом теплофикации ТЭЦ.

Тестовые задания

1. Максимальный отпуск тепла ТЭЦ ...
2. Коэффициент теплофикации ТЭЦ ...
3. Паропроводы отопительных отборов подают пар из турбины в ...

РАЗДЕЛ 12. МАЛАЯ ЭНЕРГЕТИКА

Методические указания. Дать краткую характеристику малой энергетики. Отметить ее положительные и отрицательные аспекты. Подробно описать ветроэнергетику и солнечную энергетику. Следует знать, что при проектировании систем электроснабжения необходимо учитывать и развитие малой энергетики.

Малая энергетика включает в себя:

- энергию малых рек
- горючие отходы
- ветроэнергетику
- тепло земли
- энергию солнца

Солнечная энергетика, по многим прогнозам, является одной из самых перспективных отраслей возобновляемой энергетики.

Существуют два основных способа преобразования солнечной энергии:

1. фототермический;
2. фотоэлектрический.

В первом, простейшем, теплоноситель (чаще всего вода) нагревается в коллекторе (системе поглощающих труб) до высокой температуры и используется для отопления помещений. Коллектор устанавливают на крыше здания так, чтобы его освещенность в течение дня была наибольшей. Часть тепловой энергии аккумулируется: краткосрочно (на несколько дней) - тепловыми аккумуляторами, долгосрочно (на зимний период) - химическими. Солнечный коллектор простой конструкции площадью 1 м² за день может нагреть 50-70 л воды до температуры 80-90°С.

И все же, будущее солнечной энергетики - за прямым преобразованием солнечного излучения в электрический ток с помощью полупроводниковых фотоэлементов - солнечных батарей.

Солнечная энергетика еще в самом начале пути. Ее вклад в общее мировое энергопотребление не превышает 0,1%, а среди возобновляемых источников ей принадлежит около 1%. Но ее уже считают ее главной альтернативой традиционным энергоносителям.

Согласно современным исследованиям, солнечная энергия составляет порядка 1367 Ватт на 1 кв.м. На экваторе через атмосферу до земли доходит лишь 1020 Ватт. На территории России с помощью солнечных электростанций (при условии, что КПД солнечных элементов составляет сегодня 16%) в среднем можно получить 163,2 Ватта на квадратный метр. В мире в настоящее время работает более 140 млн. м² солнечных коллекторов. Большая их часть построена в Китае – 59 %, на втором месте Европа – 14 %.

Тестовые задания

1. При проектировании системы электроснабжения необходимо учитывать...
2. Солнечная энергетика ...
3. Солнечная энергия на Земле используется с помощью ...

ЛИТЕРАТУРА

1. Данилов О.Л, Костюченко П.А. Практическое пособие по выбору и разработке энергосберегающих проектов – М: 2006. 668с
2. Бортников П.М, Бурман А.П. Основы современной энергетики.: учебник для вузов. –М: МЭИ 2010.-632 с.
3. Амирова С.С.Тестовый подход к изучению электротехники и электроники: Учебно-методическое пособие/ Амирова С.С., Елизаров Д.В.и др. – М: Казань., 2008. – 128 с.
4. Быстрицкий Г.Ф. Общая энергетика: Учеб.пособие для студентов высших учеб.заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 208с.
5. Попов М.Х. Терминологический словарь по технетике – М: Технетика. 2009. -396 с.
6. Основы современной энергетики под редакцией Е.В. Аметистова – М: Изд-во МЭИ, 2010.
7. Общая электротехника: Учебно-методическое пособие/С.С.Амирова, В.И. Елизаров, Р.Н. Галиахметов; КГТУ,Казань, 2003, 136 с.

Учебное издание

Амирова Савия Султановна

доктор пед. наук, профессор

Горбунова Диана Валерьевна

ОБЩАЯ ЭНЕРГЕТИКА

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

Корректор Белова И.М.
Худ. редактор Федорова Л.Г.

Сдано в набор 14.11.2014.
Подписано в печать 25.11.2014.
Бумага писчая. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 2,75. Тираж 100.
Заказ №9.

НХТИ (филиал) ФГБОУ ВПО «КНИТУ»,
г. Нижнекамск, 423570, ул. 30 лет Победы, д. 5а.