



АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Преподаватель:

Бекбаев А.Б., д-р. техн. наук, профессор кафедры
«Энергетика»

bekbaev_a@mail.ru

АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Лекция №13

Рациональное
использование энергии

После завершения урока вы будете знать:

- Об оптимизации структуры генерирующих мощностей. Сведения об аккумулирующих устройствах-накопителях энергии.

Энергетические установки конструируются таким образом, что они имеют наиболее оптимальные параметры (к.п.д. и удельный расход энергоносителя) при работе в номинальном режиме. При отклонениях от номинального режима в ту или другую сторону к.п.д. уменьшается, удельный расход топлива увеличивается, а на ТЭС одновременно увеличивается также количество вредных выбросов в атмосферу.

Иначе говоря, эффективность работы электростанций в значительной степени зависит от режима их работы, то есть от зоны расположения их мощности в суточном графике нагрузки энергосистемы (объединения).

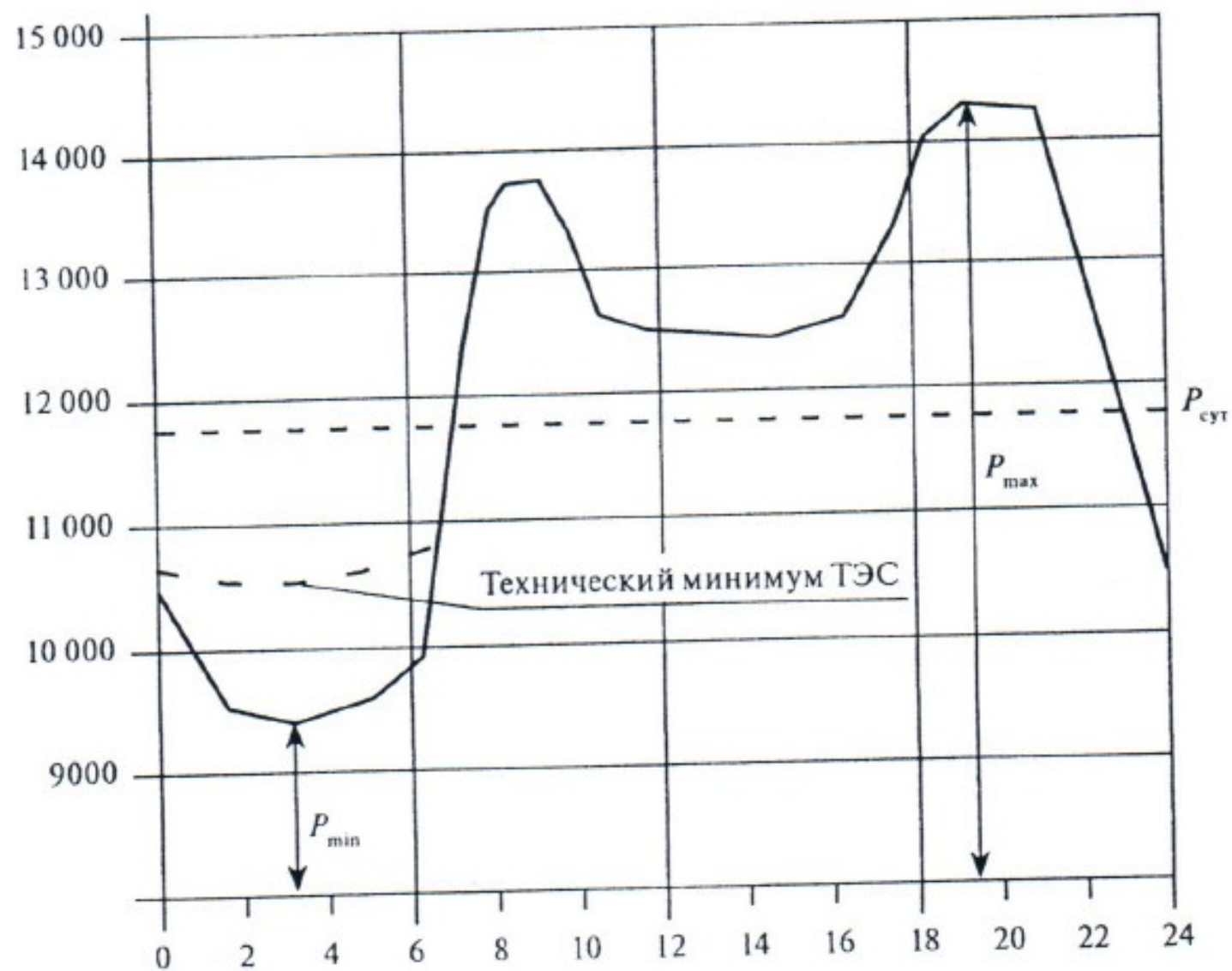


Рис. 4.1. Типичный суточный график нагрузки энергообъединения

Суточная неравномерность нагрузки, наличие пиков и резких снижений уровня электропотребления создает технические проблемы для энергопроизводителей, связанные с необходимостью обеспечения соответствия производства и потребления электроэнергии.

Для согласования этих процессов возможно использование следующих способов управления:

«подстраивание» процесса производства под процесс потребления и наоборот;

накопление излишков энергии в период минимального потребления (в провале графика нагрузки) и ее выдача в период максимального потребления, то есть аккумулялирование энергии.

Наиболее оптимальной является работа электростанций в базовой части графика с номинальной нагрузкой без регулирования мощности в течение суток. Однако в связи со сложившейся структурой генерирующих мощностей в электроэнергетике России, в особенности ее европейской части, энергообъединения испытывают дефицит маневренных регулирующих мощностей. Поэтому для регулирования электрических режимов привлекаются ТЭС и АЭС, в результате чего их установленная мощность используется не самым оптимальным образом.

Интегральным показателем, характеризующим эффективность производственного процесса в электроэнергетике, является КИУМ.

Несоответствие маневренных возможностей современных энергосистем с преобладанием маломаневренных ТЭС и АЭС требованиям «отслеживания» суточного графика электропотребления приводит к значительным режимным затруднениям, особенно в осенне-зимний период, когда необходимо также выполнение графика тепловой нагрузки. Значительной проблемой становятся условия прохождения часов минимальной нагрузки. Например, в энергообъединении «Мосэнерго» в течение отопительного сезона вынужденно осуществляются сверхнормативные разгрузки как ТЭЦ (на 15–20 % и более), так и ГРЭС (на 50 % и более). Разгрузки по теплу в ряде случаев приходится производить с использованием водогрейных котлов, что в значительной степени ухудшает экономические показатели ТЭЦ и приводит к перерасходу топлива. При этом из-за неоптимальных режимов ТЭС ухудшаются эксплуатационные показатели, снижается надежность энергоснабжения, уменьшается ресурс оборудования.

Поскольку при дефиците маневренных мощностей для прохождения ночных минимумов ТЭС вынуждены разгружаться, резко уменьшаются их КИУМ. В табл. 4.1 приведены значения КИУМ за 2005 г., рассчитанные по данным Роскомстата России.

Таблица 4.1

Тип электростанций	КИУМ, %
ТЭС	45,3
ГЭС	41,8
АЭС	71,4
В среднем	47,3

В качестве наглядного примера рассмотрим с этой точки зрения итоги работы АЭС в 2007 г. На станциях концерна «Росэнергоатом» КИУМ по итогам 2007 г. составил 77,7 % (рис. 4.2), в то время как среднемировой показатель КИУМ на АЭС – 87 %. У ряда стран (Япония, США, Германия, Республика Корея, Финляндия, Чехия, КНР) КИУМ на АЭС достигает 91–93 %. Разница между значениями среднемирового уровня КИУМ с показателями «Росэнергоатома» составляет около 10 % или около 20 млрд кВт·ч в год недовыработки электроэнергии на действующих АЭС.

«Стратегия развития атомной энергетики до 2050 г.» (принята в 2000 г.) и «Энергетическая стратегия России до 2020 г.» (принята в 2003 г.) предусматривали выход на среднемировой уровень КИУМ к 2007 г. Реальность столь значительного увеличения КИУМ подтверждает опыт США. В атомной энергетике США за пять лет с 1997 по 2002 г. КИУМ был повышен на 13 % – с 78 % до 91 %. При этом установленная мощность АЭС в США в пять раз больше, чем мощность АЭС в России, а средний возраст эксплуатируемых АЭС в США на 5 лет больше.

Рост КИУМ российских АЭС с 1998 по 2003 г. также составил 13 %. В последующие годы он остался практически на одном уровне. В результате в период 2004–2007 гг. российские АЭС недовыработали около 70 млрд кВт·ч электроэнергии. Для отрасли в целом это означает недополученную выручку в сумме около 2,3 млрд долларов.



Рис. 4.2. Динамика изменения КИУМ АЭС

Основным оборудованием КЭС, привлекаемых к регулированию в отсутствие других маневренных мощностей, являются блочные агрегаты со сверхвысокими и закритическими параметрами пара мощностью 160, 200, 300, 500 МВт и более.

В случае невозможности сведения баланса мощности блочные агрегаты могут быть остановлены как на выходные дни, так и на время ночного провала нагрузки. Однако следует учитывать реальное время обратного пуска и пусковые потери топлива. В табл. 4.2 приведены ориентировочные данные по времени пуска и усредненные пусковые потери топлива.

Таблица 4.2

Тип блока	Время простоя, ч	Время пуска, ч		Пусковые потери условного топлива, т
		Включение генератора	Набор полной нагрузки	
К-160-130	6—8	1,5	2,5	35
	45—50	2,5	4,5	60
К-200-130	6—8	1,5	2,5	45
	45—50	2,5	4,5	70
К-300-240	6—8	2,0	3,5	60
	45—50	4,0	8,0	125

Кроме того, элементарный анализ суточного графика нагрузок (рис. 4.1) показывает, что наряду с необходимостью глубокой разгрузки ночью при отсутствии маневренных мощностей энергообъединение вынуждено располагать суммарной мощностью, обеспечивающей покрытие максимального спроса во время вечернего пика потребления, не считая аварийного резерва. Наиболее эффективным решением проблемы было бы наличие устройств, позволяющих ночью аккумулировать часть излишней электроэнергии, а днем — по мере необходимости — выдавать ее. Иначе говоря, в составе энергообъединений необходимы мощные накопители — аккумуляторы электроэнергии.

Существует достаточно много практически реализуемых систем аккумулирования, предполагающих сохранение энергии в виде тепловой, механической или электрической энергии.

Электрические аккумуляторы. Принцип действия аккумулятора основан на обратимости химической реакции. Работоспособность аккумулятора может быть восстановлена путем заряда, то есть пропусканием тока в направлении, обратном направлению тока при разряде. Применяются, как правило, в группе из однотипных батарей (многократных гальванических элементов), соединенных электрически и конструктивно. Электрические и эксплуатационные характеристики аккумуляторов зависят от материала электродов и состава электролита. Наиболее распространенные типы аккумуляторов представлены в табл. 4.3.



Рис. 4.3. Классификация аккумулярующих систем

Таблица 4.3

Типы электрических аккумуляторов

Тип	ЭДС на элементе, В	Область применения
Свинцово-кислот- ные	2,1	Аварийное электроснабжение, источники бесперебойного питания, автомобили, передвижные механизмы – шахтные электровозы, электропогрузчики, электротягачи, штабелеры и т. п.
Никель-кад- миевые (NiCd)	1,2	Замена стандартного гальваниче- ского элемента
Никель-металл- гидридные (NiMH)	1,2	Электромобили
Литий-ионные (Li-ion)	3,6	Электромобили, мобильные устройства
Литий-полимер- ные (Li-pol)	3,6	Мобильные устройства

По мере истощения химической энергии напряжение и ток уменьшаются, и аккумулятор следует зарядить. Зарядить батарею аккумуляторов можно от любого источника постоянного тока с большим напряжением при ограничении тока. Стандартным считается зарядный ток, равный $1/10$ емкости аккумулятора. Многие типы аккумуляторов имеют различные ограничения, которые необходимо учитывать при зарядке и последующей эксплуатации. Например, никель-металлгидридные аккумуляторы чувствительны к перезаряду; литиевые — к перезаряду, напряжению и температуре; никель-кадмиевые и никель-металлгидридные аккумуляторы имеют так называемый *эффект памяти*, заключающийся в снижении емкости в случае, когда зарядка осуществляется при не полностью разряженном аккумуляторе, а также обладают заметным саморазрядом.

Щелочные аккумуляторы (никель-кадмиевые, железо-никелевые) имеют ряд преимуществ по сравнению с кислотными: в частности, они не боятся перегрузок и коротких замыканий, более прочны, работают в более широком диапазоне температур, имеют больший срок службы, чем свинцово-кислотные и при правильной эксплуатации выдерживают 1000 и более циклов заряд-разряд.

Мощные химические аккумуляторные батареи применяются в комплекте с тиристорными выпрямительно-инверторными установками.

Диапазон применения химических аккумуляторов очень широк, однако в силу ограниченной емкости для целей регулирования электрических режимов современных энергообъединений они непригодны. Но в автономных маломощных генерирующих устройствах, использующих энергию ветра, солнца и т. п., аккумуляторные батареи находят широкое применение.

сверхпроводящие аккумуляторы — электронакопительные системы, состоящие из бесконечно длинного замкнутого проводника с нулевым сопротивлением. Плюс этой системы — компактность, энергоемкость, способность хранить энергию без потерь на протяжении сколь угодно долгого времени, пока в проводнике будет сохраняться состояние сверхпроводимости. Однако, учитывая, что в настоящее время широко производятся только так называемые холодные и теплые сверхпроводники (с хладагентами гелием и азотом соответственно), при длительном использовании такого аккумулятора понадобятся дополнительные расходы электроэнергии на охлаждение сверхпроводников;

плазменные аккумуляторы, которые для хранения большого количества энергии используют свойства и способность плазмы создавать долгоживущие сгустки энергии в виде шаровой молнии. Несмотря на очевидно многообещающие перспективы этого способа аккумуляции, широкомасштабных исследований в этом направлении не проводилось.

Конденсаторные аккумуляторы — системы, накапливающие электрические заряды и состоящие из двух и более подвижных или неподвижных электродов (обкладок), разделенных диэлектриком. Особенностью конденсаторов — накопителей энергии является возможность создания отдельных блоков конденсаторов для получения высокого напряжения (последовательное соединение) или больших импульсных токов при малых напряжениях (параллельное соединение). При таких соединениях импульсные напряжения могут достигать нескольких мегавольт, а импульсные токи — нескольких мегаампер.

Индуктивные (электродинамические) накопители. Катушка индуктивности, или дроссель, также является накопителем энергии, только здесь, в отличие от конденсатора, энергия электрического тока преобразуется в энергию магнитного поля. Вокруг проводника с током образуется магнитное поле; если проводник свернуть в катушку, то магнитное поле возрастает пропорционально количеству витков в катушке.

Еще в 1911 г. голландский физик Хейке Камерлинг-Оннес обнаружил, что при охлаждении ртути до температуры, превышающей абсолютный ноль на 4,1 градусов Кельвина (К), она полностью теряет свое электрическое сопротивление. Так же, как и ртуть, теряли сопротивление свинец, алюминий, олово, цинк и ряд других металлов. Явление это было названо сверхпроводимостью. В кольцо из такого сверхпроводника ток мог «крутиться» сколь угодно долго, сохраняя энергию магнитного поля. Но даже при небольшом возрастании тока или внешних магнитных полей перечисленные металлы утрачивали свойство сверхпроводимости.

Ученые в своих проектах отдают предпочтение гигантским сверхпроводящим накопителям, поскольку чем больше объем и меньше площадь криостата, тем экономичнее накопитель. Японские ученые подсчитали, что сверхпроводящие накопители становятся выгодными лишь тогда, когда их энергоемкость превышает 1 млн МДж (278 тыс. кВт·ч). Масса такого накопителя достигла бы десятков тысяч тонн. А пока самые крупные сверхпроводящие накопители в России способны запасать сотни мегаджоулей, причем их обмотки весят сотни тонн.

В традиционной энергетике сверхпроводниковые индуктивные накопители энергии могут применяться для регулирования потоков активной и реактивной мощности по линиям электропередачи, в системах противоаварийной автоматики, в узлах концентрированной синхронной нагрузки для повышения динамической устойчивости энергосистемы с синхронной нагрузкой, на тяговых подстанциях и т. п. Иначе говоря, они с успехом могут быть использованы для повышения надежности энергосистем путем регулирования быстротекущих процессов, но для целей регулирования суточного графика нагрузки (и, соответственно, оптимизации работы ТЭС и экономии энергоресурсов) их применение вряд ли возможно, поскольку длительность режимных изменений измеряется часами, а характер работы накопителей — импульсный.

Электрохимические накопители — электролиз воды для получения водорода и кислорода. В связи с прогнозируемым исчерпанием в ближайшие десятилетия углеводородного топлива проблема поиска альтернативных ресурсов становится все более актуальной, а идея перейти на водородную энергетику — все более привлекательной. Водород уже в ближайшее время мог бы стать «второй нефтью», но проблема заключается в дороговизне его производства. К.п.д. современных электролизных установок не превышает 40 %, поэтому для получения водорода в промышленных масштабах требуется построить большое количество новых электростанций, которые будут работать только на диссоциацию воды. Подробнее о проблемах водородной энергетики поговорим в четвертой части книги.

Пневматические накопители — аккумуляирование электроэнергии с помощью сжатого воздуха в воздухо непроницаемом подземном резервуаре. При пиковой нагрузке запасенный сжатый воздух пропускается через турбину, вращающую генератор. В настоящее время могут быть созданы пневматические аккумуляторы мощностью от 5 до 350 МВт.

Маховичные (инерционные) накопители работают за счет разгона ротора (махового колеса) до высокой скорости и накапливают энергию в качестве энергии вращения. При торможении махового колеса происходит возвращение энергии.

Одной из проблем при создании маховичных накопителей является обеспечение механической прочности ротора при достижении высоких оборотов (20–50 тыс. об/мин). В первых системах маховичных накопителей использовались большие стальные диски, вращающиеся на механических подшипниках. В современных системах применяются роторы из углеродоволокнистых композиционных материалов, которые отличаются большей прочностью на разрыв, чем сталь, и на порядок легче. Кроме того, повышенная механическая прочность современных маховиков на разрыв обеспечивается применением конструкции *супермаховика* — накопителя энергии, выполненного не из сплошного диска, а намотанного из сотен и даже тысяч слоев тонкой стальной (позже — пластиковой) ленты и помещенного для сокращения потерь на трение в вакуумированный кожух.

Beacon Power предлагает объединять супермаховичные накопители в кластеры с соответствующей управляющей электроникой. Например, система регулирования частоты (Frequency Regulation Plant), созданная этой компанией, представляет собой кластер из 200 маховичных накопителей номинальной мощностью 100 кВт каждый, то есть суммарной мощностью 20 МВт. Однако емкость этой модели невелика — 5 МВт·ч, что позволяет работать с полной мощностью как в режиме заряда, так и в режиме разряда всего лишь по 15 мин. Этого может оказаться достаточным в качестве дозированного противоаварийного воздействия, но явно недостаточно для долговременного регулирования электрических режимов.

Практически во всем мире в современных энергообъединениях почти исключительное распространение получило *гидроаккумулирование* — благодаря соизмеримости мощности и количества перераспределяемой энергии ГАЭС с потребностями энергосистем.

Проблема покрытия пиковых нагрузок и прохождения периодов сниженного электропотребления в последние десятилетия во всем мире становится все более актуальной в связи с разуплотнением графиков нагрузок современных энергосистем, увеличением количества маломаневренных турбоагрегатов повышенной мощности ТЭС и АЭС, а также значительной степенью освоения экономически выгодных для использования гидроресурсов.

Работа ГАЭС, как и других аккумуляторов энергии, заключается в смене двух режимов: накопления энергии (заряда) и ее выдачи потребителям (разряда).

Заряд ГАЭС осуществляется путем подъема воды гидромашинами с электрическим приводом из нижнего водохранилища в верхнее (верхний аккумулирующий бассейн). Заряд производится, как правило, во время ночных провалов электропотребления, когда в энергосистеме в связи с проблемами регулирования или необходимостью выполнения теплового графика нагрузки образуется излишняя генерирующая мощность. При разряде, осуществляемом в часы максимума нагрузки или в аварийной ситуации в энергосистеме, потенциальная энергия поднятой воды преобразуется в электрическую. При этом вода, сбрасываемая из верхнего бассейна в нижний, пропускается через турбины или обратимые гидромшины в турбинном режиме, работающие совместно с реверсивными электромашинами, которые генерируют электрический ток, как и на обычных ГЭС. Таким образом, ГАЭС при заряде работают как насосные станции, а при разряде — как ГЭС.

Основными предпосылками применения гидроаккумулирования энергии и развития в России этого вида гидроэнергетики являются:

- потребность в маневренной мощности для покрытия пиков нагрузки и компенсации ее кратковременных изменений;
- уплотнение суточного графика нагрузки с использованием дешевой ночной электроэнергии;
- увеличение мощности и оптимизация работы базовых электростанций;
- экономия топлива в энергосистеме в сравнении с другими вариантами пиковой мощности;
- обеспечение быстрого оперативного и аварийного резерва;
- участие в регулировании режимных параметров с целью обеспечения нормативного качества электроэнергии.

Строительство ГАЭС было начато в Западной Европе в конце XIX века: в 1882 г. в Швейцарии близ г. Цюриха была сооружена установка Леттем с двумя насосами мощностью по 51,5 кВт, накачивающими воду на высоту 153 м в резервуар емкостью 18 тыс. м³. В 1894 г. на прядильной фабрике в Италии была введена в работу установка Крева-Луино мощностью 50 кВт с напором 64 м, работавшая по недельному циклу аккумуляирования: запасенный в субботу и воскресенье объем воды сбрасывался в рабочие дни.

В настоящее время во всем мире находится в эксплуатации более 460 ГАЭС и около 30 ГАЭС – в стадии проектирования и строительства.

На рис. 4.4 показана динамика мирового строительства ГАЭС.

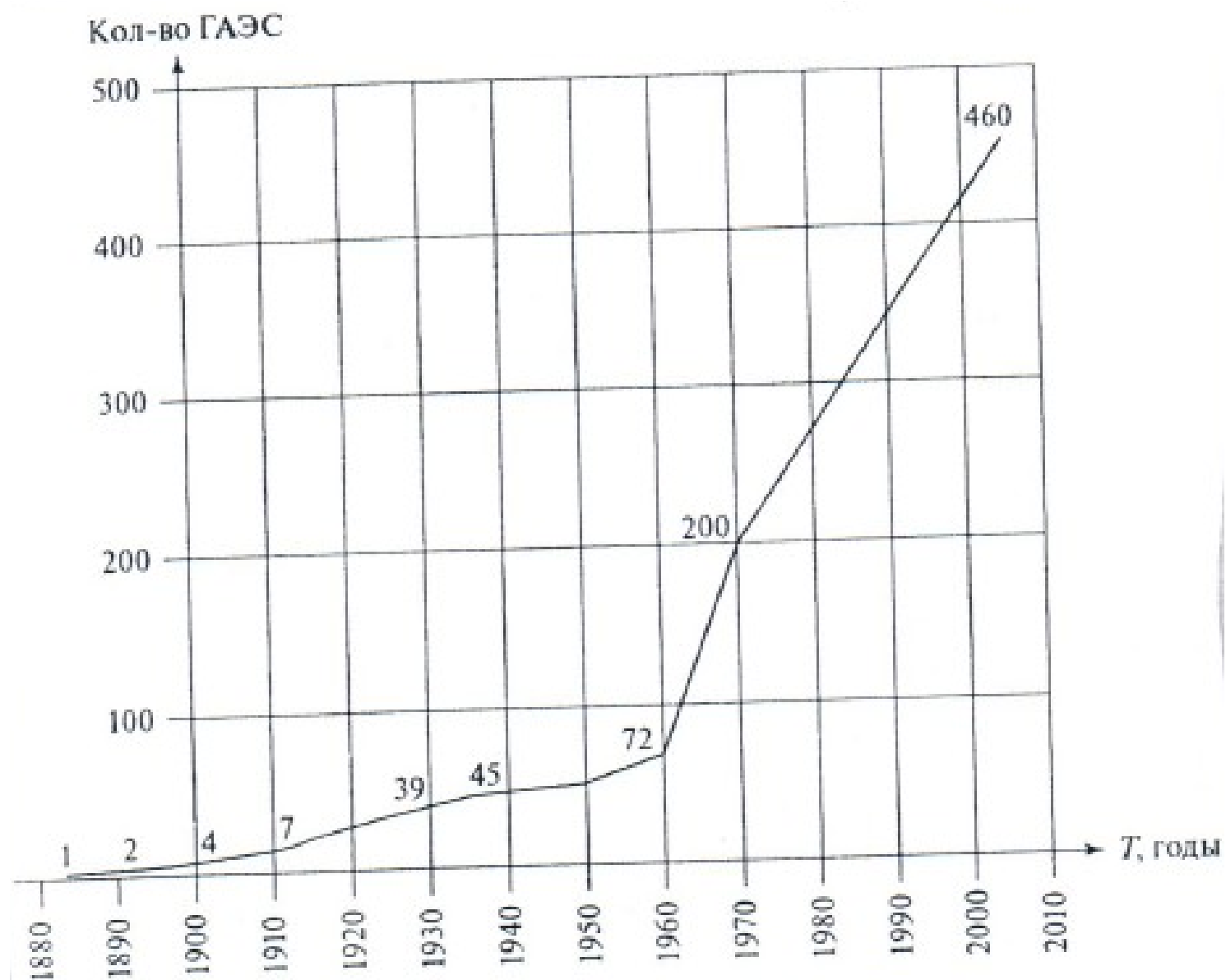


Рис. 4.4. Динамика мирового строительства ГАЭС

Технико-экономические показатели ГАЭС зависят в основном от следующих факторов: величины установленной мощности и напора, топогеологических условий места строительства, наличия готовых естественных или искусственных водохранилищ, длины и типа подводяще-отводящих водоводов, а также от конкретных условий работы энергообъединения — конфигурации графика электрических нагрузок, типа и мощности электростанций, входящих в состав энергообъединения, наличия резервов мощности.

В отличие от обычных ГЭС, ГАЭС представляют собой комплекс сооружений и оборудования, предназначенный не только для генерирования электроэнергии, но и для ее аккумуляции. Поэтому, во многом сохраняя конструктивное и компоновочное сходство с обычными ГЭС, они имеют и свои особенности. Но независимо от индивидуальных особенностей все ГАЭС имеют в том или ином конструктивном виде основной набор компоновочных элементов: верхний аккумулирующий и нижний бассейны, здание ГАЭС, водоприемник (один или два), напорные водоводы.

Широкий диапазон напоров и разнообразие применяемых схем ГАЭС обуславливают большое количество возможных компоновочных решений, которые в первую очередь зависят от рельефа местности и геологических условий.

Классификация ГАЭС может быть выполнена по ряду признаков:

- по совмещению ГАЭС с обычными ГЭС — *совмещенные и несовмещенные*;
- по схеме концентрации напора — *приплотинные и деривационные*;
- по величине действующего напора — *низконапорные* (40–60 м), *средненапорные* (120–150 м) и *высоконапорные* (свыше 200 м);
- по компоновке элементов гидроузла — *с наземными, подземными или полуподземными* машинными зданиями;
- по конструкции напорных водоводов — *с открытым или подземным* расположением;
- по конструкции верхнего и нижнего бассейнов — *с искусственно сооружаемыми или естественными* бассейнами (в том числе могут быть использованы бассейны ГЭС, ТЭС или АЭС);
- по наличию естественной приточности — *с приточностью в верхний бассейн, с приточностью в нижний бассейн*;
- по типу (компоновке) основного гидроэнергетического оборудования — *с двухмашинными, трехмашинными или четырехмашинными* гидроагрегатами;
- по длительности цикла насосного аккумуляирования — *с суточным, недельным и сезонным (годовым) циклом работы*.

Немаловажным фактором с точки зрения оптимизации структуры генерирующих мощностей может быть широкое применение в составе электростанций *асинхронизированных синхронных электрических машин*, которые предоставляют дополнительные возможности регулирования активной и реактивной мощности и значительно повышают устойчивость и надежность генераторов. Главные недостатки электрических машин этого типа — повышенные сложность и стоимость. Однако эти недостатки с лихвой могут быть компенсированы за счет повышения маневренности энергосистем при условии, что предусмотрен соответствующий экономический механизм, стимулирующий применение более дорогого, но и более совершенного генерирующего оборудования.

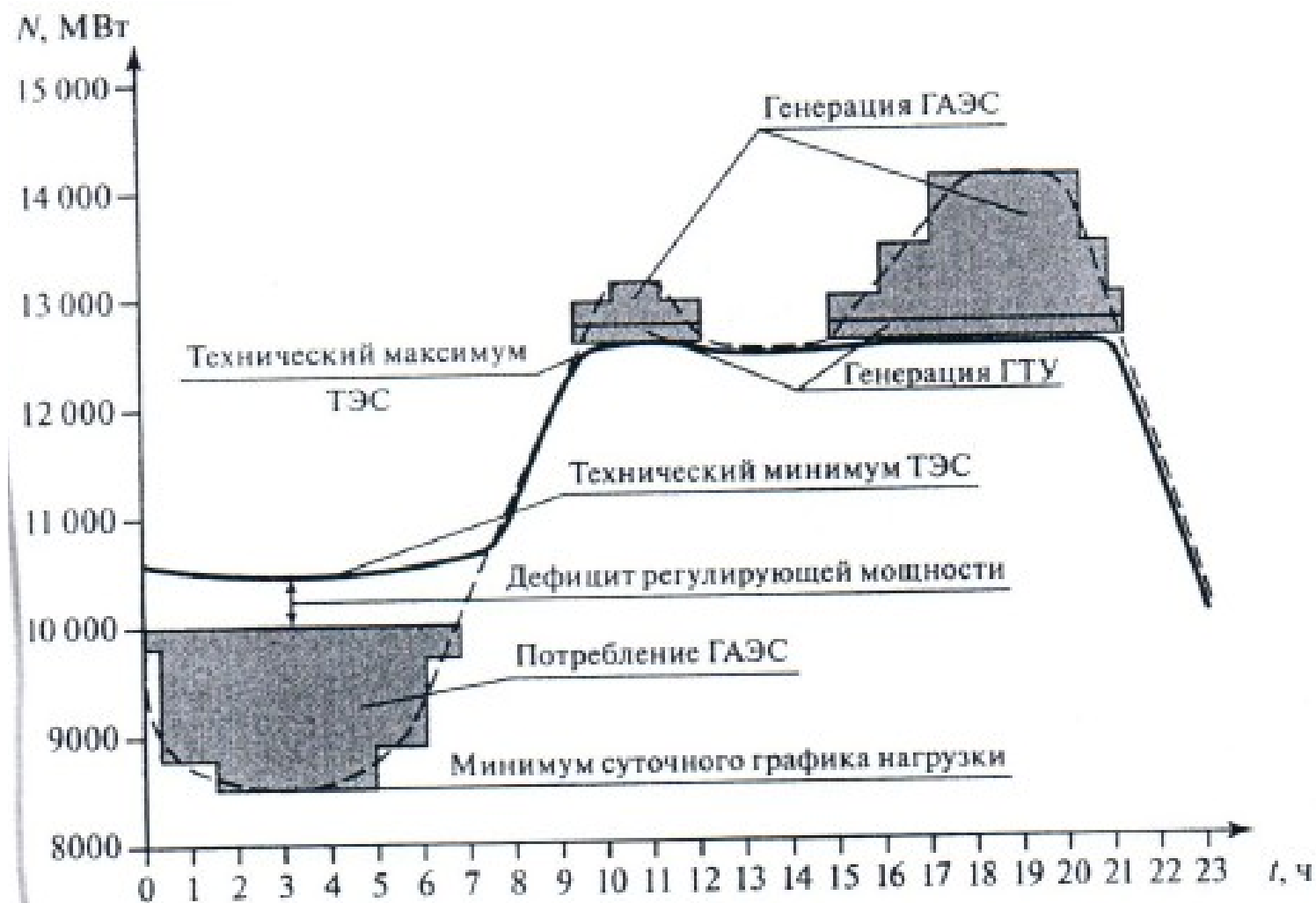


Рис. 4.5. Суточный график работы энергообъединения и участие ГАЭС

Выше упоминалось, что укрупнение единичной мощности турбогенераторов ухудшает регулирующие возможности и при отсутствии в энергообъединении резервных маневренных мощностей способствует ухудшению эксплуатационных показателей. Однако в условиях оптимальной структуры генерирующих мощностей увеличение единичной мощности турбогенераторов дает существенную экономию средств. Допустим, необходимо построить электростанцию мощностью 2400 МВт. Обычно такую мощность обеспечивают восемь блоков по 300 МВт. А если взять более мощные машины? Укрупнение мощности энергоблоков с 300 до 800 МВт уменьшает удельные капиталовложения на 10,6 %, снижает трудозатраты при строительстве на 30 %, повышает производительность труда в эксплуатации на 42 % и уменьшает расход условного топлива на 4 %.

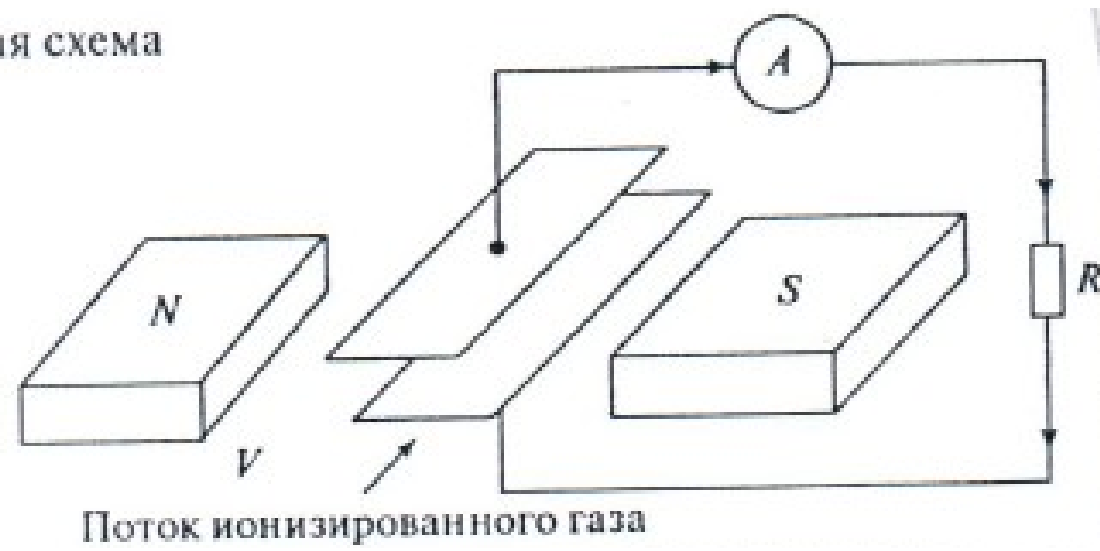
Однако дальнейший рост единичной мощности турбогенераторов ограничивается прочностью роторов и бандажных колец. При частоте вращения 3000 об/мин на них действуют громадные центробежные усилия, которые тем больше, чем больше диаметр ротора. По этой причине в турбогенераторе мощностью 100 МВт диаметр ротора составляет 1000 мм, а в генераторе 1200 МВт — 1250 мм, то есть при увеличении мощности в 12 раз диаметр ротора увеличился лишь в 1,25 раза. При дальнейшем увеличении диаметра ротора его могут разорвать центробежные силы.

Не меньшая проблема — нагрев конструктивных частей ротора при увеличении токовой нагрузки. Для создания генераторов мощностью более 1500 МВт потребуются новые конструктивные решения и материалы. В этой сфере ученые и конструкторы особые надежды возлагают на сверхпроводимость. У генераторов нового типа сверхпроводящая обмотка возбуждения выполняется из провода со сверхпроводящими жилами из ниобий-титана в медной матрице. Центробежные и электродинамические усилия в обмотке воспринимаются бандажом из нержавеющей стали. Между наружной толстостенной оболочкой из нержавеющей стали и бандажом размещается медный электротермический экран, охлаждаемый потоком проходящего в канале холодного газообразного гелия. По расчетам конструкторов, машина мощностью 1300 МВт будет иметь длину около 10 м при массе 280 т, в то время как аналогичная по мощности машина обычного исполнения имеет длину 20 м при массе 700 т.

Магнитогидродинамический генератор (МГД-генератор) – это энергоустановка, в которой энергия рабочего тела (жидкой или газообразной электропроводящей среды), движущегося в магнитном поле, преобразуется непосредственно в электрическую энергию. Название установки объясняется тем, что движение таких сред описывается магнитной гидродинамикой. Прямое (непосредственное) преобразование энергии составляет главную особенность МГД-генератора, отличающую его от генераторов электромашинных. Так же как и в электромашинных генераторах, процесс генерирования электрического тока в МГД-генераторах основан на явлении электромагнитной индукции, то есть на возникновении тока в проводнике, пересекающем силовые линии магнитного поля; отличие МГД-генератора в том, что в нем проводником является само рабочее тело, в котором при движении поперек магнитного поля возникают противоположно направленные потоки носителей зарядов противоположных знаков. Рабочими телами МГД-генераторов могут служить электролиты, жидкие металлы и ионизированные газы (плазма).

Принцип действия МГД-генератора показан на рис. 4.6. В этой схеме между металлическими пластинами, расположенными в сильном магнитном поле, пропускается струя ионизированного газа, который имеет кинетическую энергию движения частиц. При этом в соответствии с законом электромагнитной индукции появляется ЭДС, которая создает протекание тока между электродами внутри канала генератора и по внешнему кругу. Поток ионизированного газа — плазма — тормозится под действием электродинамических сил, которые возникают при взаимодействии протекающего в плазме тока и магнитного потока. Преобразование энергии происходит за счет работы по преодолению сил торможения.

Рис. 4.6. Принципиальная схема
МГД-генератора



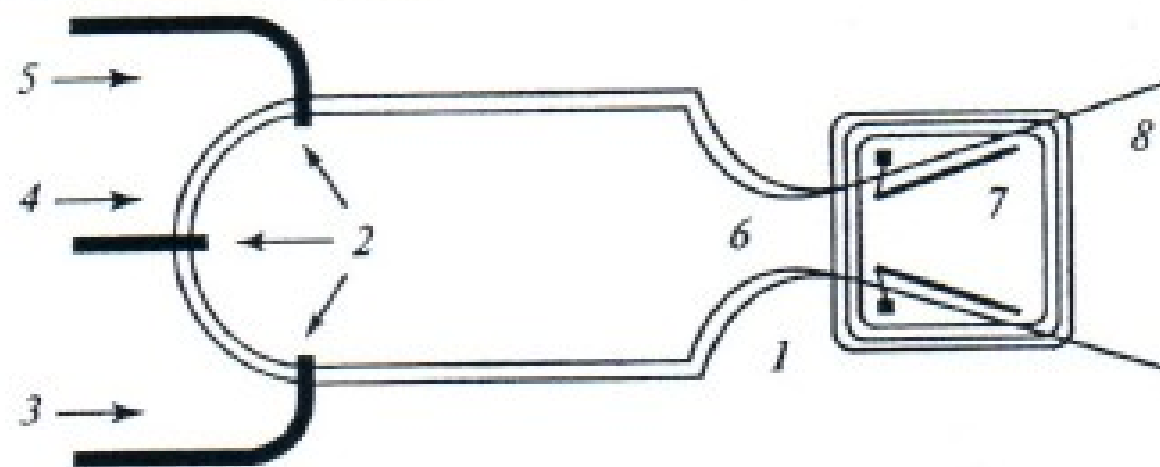


Рис. 4.7. Принципиальная конструктивная схема МГД-генератора:

1 – обмотка электромагнита; 2 – камера сгорания; 3 – присадка; 4 – воздух;
5 – топливо; 6 – сопло; 7 – электроды; 8 – выход продуктов сгорания

МГД-генераторами занялись всерьез во многих странах, потому что в таких машинах можно использовать плазму, в 8–10 раз более горячую, чем пар в турбинах ТЭС, и при этом, в соответствии с принципом Карно, к.п.д. будет уже не 40, а 60 %. Одновременно с зарубежными специалистами МГД-генераторами занялись и отечественные ученые; первый промышленный МГД-генератор мощностью 500 МВт должен был заработать недалеко от Рязани.

Перспективным представляется направление, связанное с совместным использованием МГД-генератора и термоядерного реактора как источника раскаленной плазмы. Но это направление может быть реализовано только после создания промышленных термоядерных реакторов.

Тестовые вопросы

1.

1.1

1.2

1.3

1.4

2.

2.1

2.2

2.3

2.4

3.

3.1

3.2

3.3

3.4

4.

4.1

4.2

4.3

4.4

5.

5.1

5.2

5.3

5.4