

## НАКОПИТЕЛИ ЭНЕРГИИ

**Введение.** Основное свойство энергоснабжения – одновременность генерации и потребления энергии. Все остальные качества этой связи (параметры и распределение энергопотоков, техническое и организационное оформление, экономические условия) можно считать вторичными, хотя и обязательными. Если конечные пункты этой цепи нарушают это равенство между производством и использованием, система выходит из строя. При аварийном или другом отключении источника энергии (электростанции, котельные, индивидуальные генераторы) наступает коллапс у потребителя; при остановке производства у потребителя следует отключать генерирующие мощности, что резко ухудшает технико-экономические показатели как энергосистемы, так и конкретного генератора, например, теплоты. Поэтому приходится дублировать, создавать сложные энергосистемы, привлекать автоматику, резервировать топливо или другой энергоноситель, идти на большие потери из-за недовыработки товарной продукции.

Поэтому в системе энергосбережения необходимо иметь звено, орган, воспринимающий колебания энергопотоков, некий демпфер, потребляющий излишек энергии, выдающий его при пиковых нагрузках у потребителя. С точки зрения потребителя – это вторичный генератор, возобновляемый источник энергии. С точки зрения производителя энергии – это надёжный потребитель, позволяющий вести выработку энергии в базовом оптимальном режиме.

Такой орган не просто аккумулятор в обычном понимании (лат. – «собираатель»), а имеет более широкий смысл – не просто собирать, но накапливать излишки и освобождаться от них в нужное время. Поэтому удобный термин – «накопитель энергии».

**Методы накопления энергии.** В общем случае следует рассмотреть различные способы сохранения потенциала исходной энергии, чтобы при необходимости реализовать некоторое её количество. Имея исходную энергию (электричество, теплота, гравитация, давление, осмос, механика движущихся тел, физические и химические потенциалы, биологические системы и т. д.), в процессе накопления или сохраняя свой вид, или преобразуясь в другие формы, вещества, тела, техническими средствами создавать расходуемый в будущем запас.

**Теплота** – это суммарная кинетическая энергия хаотически движущихся микрочастиц, её потенциал характеризуется температурой. При выработке теплоты (горение, ядерные и термоядерные процессы, трение через механику, лучевые потоки) её требуется передать с определёнными параметрами потребителю (отопление, производство, кондиционирование). Изменение внешних и внутренних условий (погода, политика, экономика, ремонты, реставрация, энергоресурсы) требует наличия в энергетической цепи временно теплопоглощающих устройств, которые обеспечивают теплоснабжение, сглаживая графики изменения нагрузок во времени. Теплота представляет интерес для потребителя тогда, когда температура теплоносителей выше определённого значения. Поэтому такие устройства должны быть защищены от теплотерь в окружающую среду. Это сложная задача: тепловые потоки существуют всегда, когда имеется разность температур  $\Delta t$  на термическом сопротивлении  $R$  теплоизоляции:  $q = \Delta t / R$ . Величина  $R$  – это уже и экономический показатель, для его увеличения требуются существенные затраты. При разработке тепловых накопителей это первоочередная задача. Общее количество занесённой теплоты  $Q$  зависит от теплосодержания накопителя, что обусловлено  $m$  массой, удельной теплоёмкостью  $c$ , структурой материала:  $Q = m \cdot c \cdot \delta t$ , где  $\delta t$  – нагрев материала. При нагреве теплосодержание может повышаться так же за счёт применения

агрегатного состояния (кипение, плавление). Тогда надо учитывать удельную теплоту переходного процесса.

Своеобразными накопителями теплоты являются запасы топлива в виде газгольдеров, ёмкостей, складов. В зависимости от назначения они могут действовать по часовому, суточному, сезонному графику. Количество запасённой теплоты общей массой топлива  $m$  с теплотой сгорания  $Q_H^P$  при КПД использования  $\eta$ :  $Q = m Q_H^P \eta$ .

**Электричество** – совокупность электромагнитных явлений, связанных с существованием, движением и взаимодействием электрических зарядов. Более жёсткая связь во времени между генерацией и потреблением этого вида энергии, чем для теплоты. Не зря даже частота переменного тока, основа электроснабжения, абсолютно одинакова для больших географических пространств.

Для удобства генерации, передачи, потребления электроэнергии в ветроэнергетике, например, переменный ток генератора выпрямляется в постоянный, который передаётся на аккумуляторы в основном химического типа, и затем снова переводится в переменный ток общепринятых параметров 220/380 вольт, 50 герц. Постоянных стационарных накопителей электроэнергии большой мощности, сопоставимой с мощностью энергосистемы, в настоящее время не существует. Ведутся разработки таких накопителей, но сейчас запас электроэнергии обеспечивается через другие методы с переходом энергоносителей с одного на другой и обратно (электроэнергия производит, например, закачку газа в некоторый объём, газ, расширяясь, производит электроэнергию в специальном электрогенераторе). Электроэнергию в чистом виде в небольших масштабах можно запастись в компенсаторах. Но основной метод – это использование электрохимических аккумуляторов в виде различного типа батарей.

**Гравитация** – взаимное притяжение  $F$  двух тел массой  $m_1$  и  $m_2$  на расстоянии  $L$  при гравитационной постоянной  $G$ :  $F = G m_1 m_2 / L^2$ . Изменяя расстояние  $L$ , затрачивается на это энергия, которая возвращается при переходе на прежнее  $L$ . Тело, поднятое на высоту  $h$  над поверхностью Земли, обладает потенциальной энергией  $E = mgh$  ( $g$  – ускорение свободного падения). Эта энергия срабатывает в гравитационном накопителе энергии. В нём можно запастись большим количеством энергии, но при этом нужно соблюдать жёсткие строительные и эксплуатационные условия. Метод хорошо физически сочетается с аккумулярованием электрической энергии, поэтому используется в ряде случаев.

**Механическая энергия** – это кинетическая энергия движущихся тел и потенциальная энергия сжатых ил, наоборот, расширенных рабочих органов. Наиболее употребительны вращающиеся маховики, обладающие энергией, пропорциональной массе  $m$  и угловой скорости вращения  $\omega$ :  $E = m\omega^2$ . Маховики широко используются в механике, приборостроении, двигателестроении, малой энергетике. Прецизионные условия (вакуум, магнитные подшипники, гидравлические передачи и др.) позволяют запастись механическую энергию на длительное время, но мощность расходуется относительно быстро. Поэтому в большой энергетике их применение ограничено. Кроме того, сами турбогенераторы со скоростью вращения 3000 об/мин, обладая массой в сотни тонн, являются хорошими накопителями механической энергии. В частности, цель Чернобыльского эксперимента (неправильно проведённого организационно) состояла в том, чтобы определить, какое время турбогенератор АЭС, блок № 4, может снабжать энергией собственные нужды при отключении подачи пара на турбину.

Другим накопителем могут служить различные пружинные устройства. Усилие  $F$  для изменения относительной длины  $\Delta l$

**Северянин Виталий Степанович**, д.т.н., профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

пружины сечением  $S$  длиной  $l$  с модулем упругости  $E$ :  $F = ES\Delta l / l$ , может быть возвращено для затраченной энергии.

Накопителем потенциальной энергии, образованной механической энергией, будут также вспомогательные объёмы, заполненные сжатым газом (воздухом), или наоборот, поставленные под глубокое разрежение. Давление  $P$ , температура  $T$ , объём  $V$  с массой  $m$  для газовой постоянной  $R$  связаны соотношением:  $Pv = RTm$ . При адиабатном расширении (сжатии) производится механическая работа  $A = C_v(T_1 - T_2) = -\Delta u$  ( $C_v$  – удельная теплоёмкость на постоянном объёме,  $\Delta u$  – изменение внутренней энергии газа). Эффективность таких накопителей, кроме качества герметизации объёмов, обусловлена действием компрессоров и турбин.

Движущееся тело обладает кинетической энергией, зависящей от его скорости  $w$  и массы  $m$ :  $E = mw^2/2$ . Так называемые инерционные двигатели реализуют этот потенциал, вырабатывая механическую работу. В отличие от энергии вращения линейный принцип пока ещё не нашёл применения, во всяком случае в земных условиях. Но в космических передвижениях такое накопление энергии вполне приемлемо.

Примером химического накопления энергии, кроме упомянутых электрохимических батарей, можно назвать выработку водорода из воды и других сред электричеством или теплотой. Выработанный и накопленный водород при избытках электроэнергии срабатывает при необходимости в тепловых двигателях, возвращая затраченную энергию, при сгорании.

Таким образом, изменяя физическое и химическое состояние, можно затрачивать и возвращать энергию, естественно, как всегда – с некоторыми потерями.

**Фотосинтез**, потребляя материальные объекты – углекислоту и воду и энергию в виде лучистого потока, вырабатывает органическое горючее, являющееся энергетическим запасом для получения теплоты, например, сжиганием. Формула фотосинтеза:  $(6CO_2 + 6H_2O)$  **хлорофилл+квант** света  $\rightarrow C_2H_{12}O_6$  (**клетчатка**) +  $6O_2$ . Нарращивание растительной массы (древесина, трава, водоросли) – это накопление энергии в виде потенциального рабочего тела. Известные методы древесной энергетики предусматривают специальные плантации и технику, причем нередко используется искусственное освещение добавочно или взамен солнечному.

Аналогичные пояснения можно дать применительно к животному миру. Общепринято мнение о возникновении нефти из материала животного происхождения.

И флора, и фауна в принципе являются накопителем энергии.

**Осмоз** (греч. – толчок, давление) – это явление повышения давления в объёме, заполненном раствором, отделённой полупроницаемой перегородкой от растворителя. Чаще всего растворитель – чистая вода, за перегородкой – раствор в воде некоторых солей. Молекулы воды, стремясь разбавить крепкий раствор, проходят через мельчайшие отверстия в перегородке (размер отверстий – порядка 0,01 нм), проникают в пространство между гидратированными ионами солей и молекулами органических соединений, создавая осмотическое давление. Такое давление может достигать значительных величин. Так, сочетание пресной речной и солёной морской вод даёт до 25 атмосфер. Очевидно, такой потенциал желательно использовать для производства электроэнергии. Например, осмотическая энергия при реагировании с морской океанской водой составляет для рек (млн кВт): Амазонка – 470, Ла-Плата – 170, Янцзы – 47 (журнал «Энергетика», Известия ВУЗов, №8, 1985).

Накопление энергии при помощи осмоса можно организовать следующим образом. Так как концентрация солей за перегородкой со временем снижается, выработка энергии тоже, то регенерировать процесс надо увеличением концентрации, затрачивая на это исходную энергию. Затем создаются начальные условия, и работает обычная схема. Осмотические накопители – разновидность физических, в которых изменяется физическое состояние рабочего тела.

Накопители энергии, работающие на разных принципах, имеют свои достоинства, преимущества и недостатки, ограничения. Поэтому они могут подходить для различных целей. Одни

оптимальны в поддержке электростанций, крупных котельных, другие – на этапе передачи и распределения энергии, как электричества, так и теплоты, третьи – для крупных потребителей, промышленных и коммунальных, четвёртые – для конечных пользователей коллективного и индивидуального порядка.

**Конструкторское техническое оформление.** Наиболее употребительны тепловые накопители, основанные на нагреве и последующем охлаждении различных физических тел, твёрдых, жидких, газообразных. В технической литературе имеется обширная информация по конструкциям и действию тепловых аккумуляторов в виде накопителей горячей воды в системах отопления. Такие теплоизолированные резервуары со смесительными или поверхностными теплообменниками позволяют вести оптимальные тепловые режимы, способствуют энергосбережению. Однако крупных накопителей тепла, соизмеримых по мощности с целыми тепловыми городскими сетями, в настоящее время в эксплуатации нет. Поэтому представляют интерес перспективные разработки в этом направлении.

Предлагается (Северянин В.С., Тимошук А.Л. Возможности использования солнечной энергии в Республике Беларусь. Журнал «Вестник» БрГТУ, №2, 2007) геотеплоцентрали, в которой нагретая солнечными установками вода с высокой температурой и давлением закачивается в подземный пласт, вытесняя из него воду в другой вспомогательный бассейн. Так создаётся искусственный геотермальный источник с требуемым объёмом теплоносителя. Благодаря низкой теплопроводности горных пород, наличию антиклинальных структур, незначительному смешиванию с пластовой водой сохранность теплоты в таком термостате следует считать высокой. В зимнее время теплота используется в паросиловой установке (пар получается в результате дросселирования), отработавшая вода сливается во вспомогательный бассейн, откуда летом через солнечную установку возвращается в подземный пласт. Станция работает как большой тепловой двигатель с периодом 1 год, – благодаря огромному накопителю теплоты.

Теплота, выработанная при помощи другого непостоянного энергоисточника – ветра – также может накапливаться в виде горячей воды в специальных резервуарах. Для этого механическая энергия, снятая с ротора ветроэнергостанции, подаётся в триботеплогенератор, где за счёт внутреннего и внешнего трения получается требуемый теплоноситель, который накапливается в другом объёме (Патент РБ №15444, С-1). Так обеспечивается надёжное теплоснабжение объекта в безветрие. Для увеличения тепловой мощности теплогенерации и количества запасённой теплоты нагреваемая трением масса выполняется с увеличенной удельной поверхностью (Патент РБ №11608-У).

В качестве теплового аккумулятора следует считать теплоёмкость строительных конструкций и всего внутреннего содержания отапливаемых объектов. Это позволяет с упреждением включать/отключать системы отопления, экономя значительное количество энергоресурсов.

Искусственные накопители электричества в явном виде большой энергоёмкости в настоящее время отсутствуют. Энергосистемы вынуждены обеспечивать электропотребителей «в данный момент». Большое количество электрогенерирующих источников в энергосистемах создаёт надёжное дублирование, это одно из достоинств крупных энергосистем. Поэтому отдалённые электростанции чреваты риском отказа. Примером служит Саяно-Шушенская ГЭС, авария на которой остановила производство алюминия, который в основном вырабатывается на соседних заводах.

Электроэнергия может накапливаться в специальных сложных устройствах – конденсаторах, генераторах Ван-де-Граффа и т. п., где количество «электрических частиц» характеризуется напряжением и силой тока разряда. Такие накопители редко используются (в основном для научных целей). Поэтому электроэнергию запасают через цепочку, например, химических превращений. Сейчас популярны литий-ионные батареи. Однако литий-ионные аккумуляторы дорогие, недостаточно ёмкие, но главное – взрывоопасные и токсичные.

В настоящее время в Академии Наук Республики Беларусь ведутся интенсивные работы по созданию сверхёмких аккумуляторов электроэнергии.

Поэтому промышленная электроэнергетика идёт по пути создания более совершенных электростанций, повышая их надёжность, экономическую эффективность, экологичность, взаимозаменяемость. С этой точки зрения ярким примером является ядерная энергетика, своим базовым характером режима работы помогая обычным электростанциям служить своеобразными накопителями резервной энергии при больших переменах потребления энергии.

Новый тип электростанций – гидроаккумулирующие электростанции – ГАЭС – используют гравитационный принцип накопления энергии. Во времена «провала нагрузок» гидроагрегаты работают в насосном режиме, поднимая воду с нижнего бьефа на верхний, из которого при «пике нагрузок» вода подаётся вниз, вырабатывая электроэнергию в гидроагрегатах. Для эффективной работы требуется большой перепад высот (сотни метров), большой расход воды (десятки тыс. тонн в минуту), а главное – подходящий ландшафт местности. Кроме того, испарение снижает общую вырабатываемую мощность (десятки процентов). Вместе с тем ГАЭС успешно действует в ряде стран.

В Сибирском отделении Российской Академии наук создаётся гравитационный твердотельный накопитель энергии, разработан проект «твердотельной аккумулирующей электростанции» – ТАЭС. Это система грузов (ёмкости из местного грунта), поднятых по специальной программе на высоту 300 м. Опускаясь, они вырабатывают в механических электрогенераторах 1 ГВт электроэнергии (журнал «Популярная механика», № 4, 2018).

Изменяя физическое состояние рабочего тела, например, путём плавления, можно затем выделить теплоту плавления. Такие тепловые аккумуляторы применяются на солнечных электростанциях термодинамического типа, когда теплота плавления передаётся воде, образуется пар, который работает в турбогенераторе.

Если продукты сгорания обычной тепловой электростанции (это в основном  $CO_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2O$ ) подавать на растительные плантации, можно при помощи фотосинтеза вести воспроизводство горючего. Такую плантацию удобно расположить на месте выработанного удельного гектара с искусственным освещением и соответствующим питанием. Это горючее – накопленная химическая энергия для последующего использования в тонких котлах или других огневых аппаратах (Патент РФ № 2023170). Использование древесных отходов, соломы, навоза и т.п. в виде брикетов, гранул, азросмеси также подтверждает принцип накопления энергии биологическим путём.

Солнечный свет как вид энергии также можно собирать, хранить и использовать вне солнечного сияния. Для этого можно использовать аккумуляторы света – люминофоры (например, сульфид цинка, активированный медью, иттрий-алюминиевый оксид, легированный редкоземельными элементами).

Разработаны осветители с «запасённым солнечным светом», использующие твёрдый, или жидкий, или порошкообразный люминофор (Патенты РБ № 6369, 6524).

Осмотическое давление можно использовать с целью накопления энергии следующим образом. В морской акватории сооружается вертикальный канал, шахта, в нижней части которой монтируется разветвлённая система полупроницаемых перегородок. В шахту подаётся пресная речная вода, осмосом создаётся разность уровней, поток воды работает в гидрогенераторе.

Если внешней энергией повысить концентрацию солей после мембраны (т. к. она понимается в процессе работы, разбавляемая чистой водой), то можно провести регенерацию процесса осмоса. Повышенная концентрация соли, тем более перевод её в твёрдое состояние – это запасённая энергия при последующей работе осмотического энергетического устройства.

Естественно, вышеприведённым перечислением не исчерпывается количество новых и существующих разработок накопителей энергии. Имеющиеся технологические и организационные проблемы в энергетике побуждают интенсифицировать это направление создания новых технических решений.

В нижеследующей таблице представлена краткая характеристика ситуации по обсуждаемой проблеме, где обозначено: А – тип накопителя, Б – порядок рабочей мощности, В – время отклика, Г – продолжительность накопления и отдачи, Д – эффективность накопления/отдачи, Е – типичные сроки службы, Ж – оптимальные участки в цепи энергоснабжения, З – плюсы метода, И – минусы метода.

**Заключение**

1. Действие энергетических систем разных масштабов требует наличия временных или постоянных хранилищ энергии для надёжного энергосбережения потребителей.
2. Для хранения наиболее потребляемых форм энергии – теплоты и электричества – используются различные физические и химические методы, конструктивно оформленные техническими устройствами, позволяющими вести выбор для конкретных условий.
3. С началом действия ядерной энергетике не должно ослабевать внимание к разработкам как крупных, так и малых накопителей энергии. Полагая, что ядерная энергетика – мощный надёжный источник электроэнергии, остаётся проблема теплоснабжения, особенно отдалённых потребителей. Требуемая базовая оптимальная нагрузка ядерных реакторов означает необходимость удовлетворения меняющегося графика энергопотребления, что обеспечивается переменным режимом работы обычных энергопроизводителей. Намного проще и выгодней «пик» и «провалы» «срезать» накопителями энергии.
4. Необходимо помнить, что зарядка (накопление энергии) идёт за счёт энергии, вырабатываемой другими источниками (электростанции, котельные), эффективность которых далека от приемлемой величины. То есть использование накопителей ощутимо затратно, помимо капитальных вложений. Однако общий социально-экономический эффект положительный.
5. Применение накопителей энергии позволяет диверсифицировать, разнообразить производителей энергии, смягчать топливные проблемы, решать социально-политические задачи, способствовать развитию энергетики базы стран и регионов.

**Таблица 1 – Сопоставление накопителей энергии**

А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И
1. Термические	МВт, ГВт	минуты	часы, недели	70-80%	десятилетия	генерация, распределение	Техн. готовность	высокая требов-сть к стр-ву, работе
2. Электрические	Вт, МВт	миллисекунды	минуты, дни	до 98%	годы	все	высокая плотность энергии	электро-опасность
3. Гравитационные	МВт, ГВт	минуты, секунды	часы, дни	60-70%	десятилетия	генерация	дешевизна	большие габариты
4. Механические	Вт, кВт	доли секунд	секунды, минуты	Более 90%	годы	потребление	точность, надёжность	малая энергоёмкость
5. Физические	Вт, кВт	секунды, минуты	часы, минуты	50%	месяцы, годы	генерация	масштабируемость	малая энергоёмкость
6. Биологические	кВт, МВт	месяц, годы	месяц, годы	60%	месяцы, годы	генерация	часть общей экономики	большие отходы

Материал поступил в редакцию 07.05.2018

**SEVERYANIN V.S. The keepers of energy**

Necessity of the keepers of energy in energysystems is shown in order to raise reliable of energy provision. Various methods of energy accumulation are discussed, new installations are presented.