

2 Энергия

2.1 Единицы измерения энергии

2.1.1 Джоуль

Универсальной единицей измерения энергии и количества работы является *джоуль* (*Дж*). Согласно курсу физики, 1 джоуль равен работе, совершаемой при перемещении предмета с силой 1 ньютон на расстояние 1 метр ($1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н}\cdot\text{м}$). Однако, исторически так сложилось, что различные виды энергии измеряются различными единицами измерения. Ниже приведены наиболее популярные единицы измерения различных видов энергии.

2.1.2 Ватт-секунда

Ватт-секунда ($\text{Вт}\cdot\text{с}$) – вторая по популярности единица измерения энергии. В этих единицах традиционно измеряется количество электрической энергии. А, поскольку электрическая энергия очень активно используется человеком, то энергоёмкость многих энергоносителей, для удобства расчетов, пересчитывают на эквивалентное количество электрической энергии. Эта единица измерения также удобна тем, что с ее помощью легко определить мощность, которая измеряется в ваттах (Вт). Количество энергии в ватт-секундах и количество энергии в джоулях численно равны:

$$1 \text{ Вт}\cdot\text{с} = 1 \text{ Дж}.$$

Поскольку 1 ватт-секунда это очень маленькое количество энергии (применительно к нуждам человека), то очень часто на практике используют кратную единицу измерения – *киловатт-час* ($\text{кВт}\cdot\text{ч}$).

$$1 \text{ кВт}\cdot\text{ч} = 1000 \text{ Вт}\cdot 3600 \text{ с} = 3\,600\,000 \text{ Дж} = 3,6 \text{ МДж}.$$

Многие студенты, и не только студенты, часто неправильно понимают и произносят эту единицу измерения, называя ее «киловатт в час» (обозначение $\text{кВт}/\text{ч}$) или «ватт в секунду» ($\text{Вт}/\text{с}$). Это является грубой ошибкой, поскольку данная единица измерения имеет совершенно другой физический смысл и не имеет никакого отношения к количеству энергии. Правильным произношением и написанием этой единицы измерения является «киловатт-час» ($\text{кВт}\cdot\text{ч}$) или «ватт-секунда» ($\text{Вт}\cdot\text{с}$).

2.1.3 Калория

Калория (*кал*) – традиционно, единица измерения количества теплоты. 1 калория равна количеству энергии, необходимой для нагрева 1 грамма (г) воды на 1 градус Цельсия ($^{\circ}\text{C}$). Связь между калорией и джоулем не является однозначной, поскольку теплоемкость воды зависит от ее температуры и давления. То есть, для нагрева 1 г воды с 0°C до 1°C и с 90°C до 91°C необходимо затратить разное количество энергии, которое, еще дополнительно зависит и от давления, при котором происходит нагревание воды. Исторически существуют три вида калории:

- калория международная, или просто калория $1 \text{ кал} = 4,1868 \text{ Дж}$;
- калория термохимическая, $1 \text{ кал} \approx 4,1840 \text{ Дж}$;
- калория 15-градусная, $1 \text{ кал} \approx 4,1855 \text{ Дж}$.

В калориях традиционно измеряют теплоту сгорания топлива, а также энергетическую ценность пищевых продуктов.

Поскольку 1 калория это очень маленькое количество энергии (применительно к нуждам человека), то очень часто на практике использую кратные единицы измерения: *килокалории* (*ккал*), $1 \text{ ккал} = 1\,000 \text{ кал}$, *мегакалории* (*Мкал*), $1 \text{ Мкал} = 1\,000\,000 \text{ кал}$ и *гигакалории* (*Гкал*), $1 \text{ Гкал} = 1\,000\,000\,000 \text{ кал}$.

2.1.4 Электронвольт

Электронвольт (*эВ*) – традиционно, единица измерения количества энергии, используемая в ядерной физике и в физике элементарных частиц. Один электронвольт равен энергии, необходимой для переноса элементарного заряда, равного $1,6021766208(98) \cdot 10^{-19}$ кулон (Кл) в электростатическом поле между точками с разницей потенциалов в 1 вольт (В):

$$1 \text{ эВ} = 1,6021766208(98) \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

Электронвольт, по сравнению с энергиями большинства процессов, является маленькой величина, поэтому в области физики обычно применяются кратные единицы: килоэлектронвольт (кэВ), мегаэлектронвольт (МэВ), гигаэлектронвольт (ГэВ), тераэлектронвольт (ТэВ). Один ТэВ (10^{12} эВ) приблизительно равен кинетической энергии летящего комара.

2.2 Мощность

Несмотря на то, что тело, вещество или поле может выполнить определенный объем работы, то есть обладает энергией, это не значит, что эту работу можно выполнить сколь угодно быстро.

Например, солевая батарейка R6, известная из курса электропитания, имеет емкость $C = 0,55 \text{ А} \cdot \text{ч}$ при напряжении $U = 1,5 \text{ В}$. Количество энергии E в ней составит:

$$E = CU = 0,55 \cdot 1,5 = 0,825 \text{ Вт} \cdot \text{ч} = 0,825 \cdot 3600 = 2970 \text{ Вт} \cdot \text{с} = 2970 \text{ Дж.}$$

Однако, если вы попытаетесь это количество энергии из нее быстро забрать, например за 1 секунду (разрядить ее), то у вас ничего не получится, поскольку батарейка имеет внутреннее сопротивление R , которое составляет единицы Ом (примем $R = 1 \text{ Ом}$). Если замкнуть батарейку накоротко, то максимальный ток I , который потечет через батарейку, согласно закону Ома, составит:

$$I = U/R = 1,5/1 = 1,5 \text{ А.}$$

При таком токе батарейка будет разряжаться за время t , которое равно:

$$t = C/I = 0,55 / 1,5 = 0,37 \text{ ч} = 1332 \text{ с.}$$

Следовательно, максимальная скорость получения энергии из батарейки, P :

$$P = E/t = 2970/1332 = 2,23 \text{ Дж/с.}$$

Это значит что батарейка не сможет отдать свою энергию за 1 секунду, для этого требуется не менее 22 минут.

Не пытайтесь повторить этот мысленный эксперимент в реальной жизни, поскольку при коротком замыкании батарейки вся энергия, накопленная в ней, будет потрачена на ее разогрев, что может привести к ее возгоранию или взрыву.

Из приведенного примера необходимо сделать следующий вывод: **энергия всегда передается или потребляется с некоторой скоростью**. То есть, для передачи энергии от одного объекта к другому требуется время t . Скорость передачи энергии или скорость выполнения работы называется мощностью:

$$P = E/t.$$

Мощность обычно обозначается буквой P (от лат. *potestas* – сила, мощь, действенность) и измеряется в *ваттах*:

$$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с.}$$

Устаревшей единицей измерения мощности является *лошадиная сила (л.с.)* – средняя мощность, которую развивает 1 лошадь в течение длительного времени. Эта единица измерения была введена Джеймсом Уаттом (Ваттом) до того, как в 1882 году Британская ассоциация инженеров решила присвоить его имя единице мощности. 1 лошадиная сила приблизительно равна приблизительно 735 Вт, хотя лошадь кратковременно может развивать мощность до 10 кВт. В настоящее время в лошадиных силах иногда измеряют мощность транспортных средств (автомобили, мотоциклы и т.п.). В современных расчетах данную единицу измерения рекомендуют не использовать.

Чем больше мощность, тем больше работы выполняется за единицу времени.

Приведем еще один пример для закрепления. Есть два электрических чайника одинакового объема $V = 2$ литра. Первый чайник, производства 80-х годов XX-го века имеет мощность $P_1 = 300$ Вт. Второй, производства XXI-го века, имеет мощность $P_2 = 2200$ Вт. Определим, за сколько времени можно приготовить чай с помощью данных чайников. Считаем, что начальная температура воды составляет 20°C .

Из п.1.2 известно, что для нагрева 1 литра воды от 20 до 100°C необходимо затратить $E_{1л} = 335$ кДж энергии. Следовательно, для нагрева 2 л воды необходимо потратить энергию E :

$$E = VE_{1л} = 2 \cdot 335 = 670 \text{ кДж.}$$

Чайник XX-го века нагреет воду за время t_1 :

$$t_1 = E/P_1 = 670000/300 = 2233 \text{ с} \approx 37 \text{ мин};$$

а чайник XXI-го века – за время t_2 :

$$t_2 = E/P_2 = 670000/2200 = 305 \text{ с} \approx 5 \text{ мин.}$$

То есть, из-за различной мощности, одно и то же количество работы будет выполняться за разное количество времени.

В реальной жизни человека скорость потребления энергии или является компромиссом, или должна находиться в определенных пределах. Например, для того чтобы нагреть те же 2 литра воды за одну секунду, нам бы потребовался чайник мощностью $P = E/t = 670/1 = 670$ кВт. С такой скоростью энергию потребляет 16-ти этажный жилой дом в часы пик, при этом из-за ограниченной скорости конвекции воды, скорее всего,

произошел бы взрыв чайника. В XX веке чайники делали малой мощности не потому, что не умели делать другие, а потому что существующие электрические сети просто не смогли бы выдержать подобную нагрузку.

2.3 Виды энергии

2.3.1 Химическая энергия

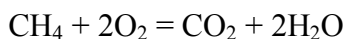
Химическая энергия – это энергия связи (как правило, валентной) атомов в молекулах вещества.

Из курсов физики и химии известно, что вещество состоит из атомов, которые могут соединяться в молекулы. При соединении атомов в молекулу энергия может поглощаться или выделяться. Например:

- при создании молекул кислорода O_2 или водорода H_2 , которые состоят из двух одинаковых атомов, энергия не потребляется и не выделяется;
- при создании молекулы воды H_2O выделяется 2,962 эВ энергии;
- при создании молекулы метана (основной компонент природного газа) CH_4 выделяется 0,775 эВ энергии;
- при создании молекулы углекислого газа CO_2 выделяется 4,078 эВ энергии;
- при создании молекулы оксида азота NO поглощается 0,935 эВ энергии.

Если при создании молекулы энергия выделяется, то для того чтобы снова разобрать молекулу на атомы требуется затратить столько же энергии, сколько выделилось при ее создании. Если при создании молекулы энергия поглощается, то при ее разрушении будет выделено столько же энергии, сколько было потрачено на ее создание.

А теперь рассмотрим химическую реакцию горения природного газа в газовой плите. Из курса химии известно, что эта химическая реакция горения метана записывается следующим образом:



Исходными веществами являются метан CH_4 и кислород O_2 . Для того чтобы произошла химическая реакция молекулы вначале необходимо разобрать на атомы. Для разборки 2-х молекул кислорода O_2 энергия не требуется, а вот для разборки молекулы метана необходимо затратить 0,775 эВ энергии. Поэтому при нормальных условиях природный газ не соединяется с кислородом. Для того чтобы началась химическая реакция необходимо вначале затратить энергию, например, поднести зажженную спичку, которая сообщит молекулам метана необходимое количество энергии для их разборки.

После того как молекулы метана и кислорода будут разобраны на атомы, они перегруппируются в два новых вещества: углекислый газ CO_2 и воду H_2O . При создании молекулы углекислого газа CO_2 выделится 4,078 эВ, а при создании 2 молекул воды H_2O – $2 \cdot 2,962 = 5,924$ эВ энергии. Энергетически реакция горения природного газа будет выглядеть следующим образом:

$$4,078 + 2 \cdot 2,962 - 0,775 - 2 \cdot 0 = 9,227 \text{ эВ.}$$

Таким образом, горение 1 молекулы природного газа сопровождается выделением энергии в размере 9,227 эВ.

На практике никто не считает молекулы. Из курса химии известно, что количество вещества измеряется в молях. 1 моль это $\approx 6,022 \cdot 10^{23}$ молекул (число Авогадро) или 22,4 литра газа при нормальных условиях. Поскольку 1 эВ это $\approx 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж, то получим количество энергии, которое выделится при сгорании 1 моля природного газа:

$$9,227 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \approx 890 \text{ кДж.}$$

Следовательно, при сгорании 1 м^3 (1000 л) природного газа выделится $890 \cdot 1000 / 22,4 \approx 40$ МДж энергии в виде света и тепла.

Химическая энергия является основным видом энергии, необходимым человеку для жизни. Внутри организма человека (и всех животных) непрерывно происходят реакции горения углеводов (остатков растений и животных). Углеводы поступают вместе с пищей, а кислород поступает в процессе дыхания. Образующийся углекислый газ выводится из организмов животных в атмосферу через легкие.

Основным источником химической энергии являются растения, которые в своих листьях производят обратную химическую реакцию: поглощая свет, они из углекислого газа и воды они синтезируют углеводы и кислород. Из углеводов они формируют свое тело, а кислород выводят в атмосферу. Большинство существующих источников химической энергии: дрова, торф, каменный уголь, нефть, природный газ, биотопливо, дизельное топливо, бензин являются остатками растений, которые росли на Земле миллионы лет тому назад.

Достоинствами химической энергии является: высокая удельная энергоемкость (малый объем энергоносителя содержит большое количество энергии), длительный срок хранения (миллионы лет), возможность транспортировки. Также немаловажную роль играет ее доступность и распространенность энергоносителей (растения растут везде).

К недостаткам следует отнести в первую очередь загрязнение окружающей среды продуктами горения, в первую очередь углекислым газом CO_2 . Выделение энергии происходит в основном в виде тепла, частично света. Кроме тепла и света химическую энергию очень сложно преобразовать в другие виды энергии.

Несмотря на ряд серьезных недостатков, химическая энергия является основным видом энергии, используемым человеком. В большинстве случаев эта энергия расходуется нерационально. Коэффициент полезного действия многих машин, в основе работы которых лежит реакция горения имеют коэффициент полезного действия (КПД) не превышающий 50%.

Активное использование химической энергии человечеством в XX веке привело к увеличению концентрации углекислого газа в атмосфере в сотни раз, что вызвало парниковый эффект и привело к глобальному изменению климата. Поэтому одной из основных задач энергосбережения является уменьшение выбросов CO_2 , что является прямым следствием уменьшения использования химической энергии.

2.3.2 Кинетическая энергия

Кинетическая энергия (механическая энергия) – это энергия движения.

Любое тело, с массой m , и движущееся со скоростью v , имеет энергию E :

$$E = \frac{mv^2}{2}$$

Например, транспортное средство (автомобиль) массой 2 т (2000 кг), движущееся со скоростью 100 км/ч (27,78 м/с), имеет энергию E :

$$E = \frac{2000 \cdot 27,78^2}{2} = 772 \text{ кДж}$$

Для разгона транспортного средства до такой скорости эту энергию необходимо затратить. При остановке транспортного средства эта энергия может превратиться в тепло

(нагрев тормозных колодок в автомобиле), вернуться в аккумулятор (электромобиль, гибридный автомобиль), или использоваться для разгона другого транспортного средства (трамвай, троллейбусы, метро).

Кинетическая энергия необходима человеку в первую очередь для перемещения, как собственного тела, так и различных предметов. Исторически человек освоил природные источники кинетической энергии одними из первых, поскольку всегда испытывает потребность в перемещении различных предметов.

Природными источниками кинетической энергии являются ветер (движущиеся воздушные массы), реки (движущиеся водные массы), волны морей и океанов (как обычные, так и приливные), животные и человек. Устройствами для использования природных источников кинетической энергии являются парус, водяное колесо, пропеллер, турбина и многие другие.

Искусственными источниками кинетической энергии являются различного рода двигатели. Двигатели осуществляют преобразование в кинетическую энергию других видов. В основном используются двигатели, преобразующие в кинетическую энергию тепловую (паровые двигатели, двигатели внутреннего сгорания и дизельные двигатели) и электрическую (электродвигатели) энергию. Преобразователи энергии других видов в кинетическую энергию на сегодняшний день малоэффективны.

Кинетическую энергию в условиях Земли очень сложно сохранить и передать на большие расстояния из-за наличия трения движущего тела о воздух или твердые поверхности. В космосе проблем сохранения кинетической энергии меньше. Устройствами для хранения кинетической энергии являются различного рода маховики – вращающиеся устройства с большой массой и малым трением, однако на сегодняшний день они дороги и малоэффективны.

Вследствие трения кинетическая энергия преобразуется в тепло. На сегодняшний день кинетическую энергию с малыми потерями можно преобразовать только в электрическую энергию с помощью генераторов. Преобразователи кинетической энергии в энергию других видов, кроме электрической энергии, пока малоэффективны.

На сегодняшний день использование природных источников кинетической энергии, в первую очередь энергии ветра, рек, морей и океанов, незаслуженно забытое в XX-м веке из-за активного использования углеводородов, активно возрождается. Использование природных источников кинетической энергии в большинстве случаев является экологически чистым и попадает под категорию энергосберегающих технологий.

2.3.3 Тепловая энергия

Тепловая энергия (теплота) – внутренняя энергия тела. Из курса физики известно, что атомы и молекулы любого вещества находятся в постоянном движении. В твердых телах они колеблются возле некоторой точки, а в жидкостях и газах постоянно перемещаются. Чем больше скорость перемещений атомов и молекул в веществе, тем больше температура вещества, то есть температура характеризует среднюю кинетическую энергию частиц вещества.

Когда атомы и молекулы вещества не двигаются, а стоят на месте, это значит, что вещество не имеет внутренней энергии и его температура равна температуре абсолютного нуля 0 К ($-273\text{ }^{\circ}\text{C}$). Меньше этого значения температура быть не может. Как только молекулы и атомы начинают двигаться, происходит нагрев вещества и оно приобретает внутреннюю энергию.

Таким образом, любое вещество, имеющее температуру больше температуры абсолютного нуля, может рассматриваться как источник энергии. Количество энергии, которое требуется для нагрева вещества, зависит только от конкретного вещества и его состояния (твердое, жидкое газообразное) и характеризуется удельной теплоемкостью.

Удельная теплоемкость обычно имеет размерность кДж/(кг·К) или кДж/(кг·°С). Она показывает, какое количество энергии поглотится при нагревании 1 кг вещества на 1 °С (1 К). Это же количество энергии выделится веществом при его остывании на такую же температуру. В качестве примера приведем удельные теплоемкости некоторых веществ:

- медь – 0,385 кДж/(кг·°С);
- железо – 0,444 кДж/(кг·°С);
- чугун – 0,54 кДж/(кг·°С);
- воздух – 1 кДж/(кг·°С);
- вода (пар) – 2,02 кДж/(кг·°С);
- вода (жидкость) – 4,187 кДж/(кг·°С);
- водород (газ) – 14,3 кДж/(кг·°С).

Таким образом, для того чтобы нагреть 1 л ($m = 1$ кг) воды с удельной теплоемкостью $C = 4,187$ кДж/(кг·°С) от комнатной температуры ($t_1 = 20$ °С) до температуры кипения ($t_2 = 100$ °С) для необходимо затратить энергию E :

$$E = Cm(t_2 - t_1) = 4,187 \cdot 1 \cdot (100 - 20) = 335 \text{ кДж.}$$

Тепловая энергия воспринимается человеком и животными непосредственно через органы чувств. Человек комфортно себя чувствует, когда температура окружающей среды находится в диапазоне 15...25 °С, в противном случае самочувствие человека и, соответственно, производительность труда существенно снижаются. Тепловая энергия необходима человеку для приготовления пищи, выполнения гигиенических процедур (комфортная температура для принятия ванны 33...36 °С), выполнения различных технологических процессов, выращивания растений и т.д. Помимо необходимости увеличения температуры, человек также испытывает необходимость в удалении избытков тепла, например, при хранении продуктов, охлаждении помещений, устройств и механизмов.

На пределах Земли тепловая энергия в основном передается конвекцией – при непосредственном контакте молекул веществ с различной температурой (например, чашки с чаем и воздуха) температура этих веществ постепенно выравнивается. Поэтому тепловую энергию в условиях Земли сложно хранить и передавать на большие расстояния. Также тепловая энергия передается *излучением* (более подробно см. п.2.3.4). Передача излучением происходит через электромагнитное поле, поэтому тепловая энергия может передаваться в космосе, где нет молекул.

Основным источником тепловой энергии является Солнце и Земля. Энергия теплового излучения Солнца нагревает поверхность Земли, в результате чего происходит нагрев и испарение воды, а также конвекция воздуха. В результате этого тепловая энергия Солнца превращается в кинетическую энергию ветра и воды (дождь, волны, течение рек). Поскольку температура внутри Земли высока (в центре Земли температура достигает 6000 °С), то на участках Земли с тонким слоем коры могут присутствовать природные источники горячей воды (геотермальные источники), которые также могут выступать в роли источников тепловой энергии.

Тепловая энергия выделяется в результате химических реакций (в первую очередь реакции горения). Тепло выделяется при поглощении различного рода излучений и при протекании электрического тока.

Поскольку температура тела человека (37 °С) выше температуры окружающей среды, то сам человек (как и теплокровные животные) является источником тепловой энергии. Человеческий организм в состоянии покоя выделяет около 60 Вт, во время выполнения несложной работы – 180 Вт, при большой физической нагрузке (занятия спортом, тяжелая физическая работа) – до 600 Вт тепловой энергии. Таким образом, за сутки человек выделяет в среднем $100 \cdot 86400 = 8640$ кДж тепла (этой энергии достаточно, чтобы вскипятить 25 л воды).

На сегодняшний день человек может аккумулировать тепловую энергию с помощью *солнечных коллекторов*, а с помощью *тепловых насосов* может получать тепловую энергию от источников, как с высокой, так и с низкой температурой. Тепловая энергия может быть преобразована с помощью тепловых машин в кинетическую (*двигатели внутреннего сгорания, дизельные двигатели, паровые машины*), а с помощью *термопар или элементов Пельтье* – в электрическую, однако коэффициент полезного действия таких устройств невысок.

2.3.4 Энергия излучения

Излучение – процесс испускания и распространения энергии в виде волн и частиц. Излучение поглощается и излучается атомами вещества.

Из курса физики известно, что атом состоит из положительно заряженного ядра и некоторого количества электронов, которые расположены вокруг него. В нормальном (основном) состоянии энергия системы ядро-электроны постоянна. Если атом получит дополнительную энергию, например, при соударении с другим атомом, он переходит в возбужденное состояние, при котором один или несколько электронов переходят на более энергоемкие орбитали. Такое состояние атома нестабильно и возбужденные электроны рано или поздно вернуться на свои места. При этом «лишняя» энергия в виде электромагнитной волны будет передана в окружающее пространство и рано или поздно поглотится другим атомом.

Человека в первую очередь интересует инфракрасное и световое излучение. Оба эти излучения имеют электромагнитную природу и отличаются только длиной волны. Инфракрасное излучение воспринимается органами чувств как тепло, световое – как видимый свет, который необходим человеку для нормальной жизнедеятельности. Вид излучения тела напрямую зависит от его температуры. При нагревании вещества оно вначале излучает инфракрасное (тепловое) излучение, а затем, по мере нагрева, начинает светиться (вначале красным, постепенно доходя до белого).

Энергия светового излучения необходима растениям для жизни. На свету в листьях растений происходит реакция фотосинтеза, в результате которой из углекислого газа CO_2 и воды H_2O синтезируются углеводороды. Образующийся кислород O_2 выводится из растений в атмосферу, а углеводороды служат источником энергии животным и человеку. Таким образом, растения являются основными преобразователями энергии излучения Солнца в химическую энергию.

Основным источником теплового и светового излучения на Земле является Солнце. Суммарная мощность солнечного излучения (с учетом всех видов излучений) на расстоянии одной астрономической единицы (≈ 150000000 км), на которой находится орбита Земли, составляет $P_c = 1367$ Вт/м². Для солнечного излучения Земля представляет собой диск площадью $S_3 = \pi d^2 = 3,14 \cdot (12,7 \cdot 10^6)^2 = 510 \cdot 10^{12}$ м², где $d = 12742$ км – диаметр Земли. Таким образом, Земля за сутки ($t = 86400$ с) получает от Солнца количество энергии E :

$$E = P_c S_3 t = 1367 \cdot 510 \cdot 10^{12} \cdot 86400 = 60,2 \cdot 10^{18} \text{ кДж.}$$

На сегодняшний день основная доля искусственного инфракрасного и светового излучения генерируется из электрической энергии с помощью *инфракрасных обогревателей и ламп*.

На сегодняшний день устройства для хранения энергии излучения не существуют. Энергия излучения передается без каких-либо систем передачи на большие расстояния, используя в качестве среды распространения электромагнитное поле.

Энергию излучения можно эффективно преобразовать в тепловую энергию (поглощается непосредственно веществом) или в электрическую (с помощью

фотоэлементов). Технические устройства для эффективного преобразования энергии излучения в энергию других видов (например, кинетическую) на сегодняшний день отсутствуют.

2.3.5 Электрическая энергия

Электрическая энергия – энергия, содержащаяся в электромагнитном поле. Из курса физики известно, что поле (не обязательно электромагнитное) существует во всех точках пространства. В нормальном состоянии поле однородно и количество энергии в любой его точке одинаково. В поле можно создать возмущение, например, увеличив его напряженность в некоторой точке. На создание этого возмущения требуется некоторое количество энергии других видов в поле. При восстановлении исходного состояния поля, энергия возмущения, хранящаяся в поле, будет возвращена и преобразована в энергию других видов. Таким образом, поле можно использовать как место для хранения энергии, а также как промежуточное звено при преобразовании ее вида.

Электрическая энергия передается в основном с помощью *электрического тока* – упорядоченного движения заряженных частиц. Особенностью электрической энергии является высокая скорость распространения (практически равная скорости света 300000 км/с), удобство транспортировки, а также эффективное преобразование в энергию других видов: световое и инфракрасное излучение, тепловую и механическую энергию.

Таким образом, электромагнитное поле выступает в качестве промежуточного звена на этапе передачи и потребления энергии. Энергия источника (неважно какого вида) преобразуется в электрическую энергию, передается в нужное место, а затем эффективно преобразовывается в необходимый человеку вид энергии.

В чистом виде электрическая энергия человеку не нужна, несмотря на то, что сигналы нервной системы человека имеют электрическую природу. У человека отсутствуют органы чувств, распознающих электрическую энергию. Тем не менее в настоящее время электрическая энергия используется практически в каждом искусственном аппарате или механизме созданном человеком.

Природными источниками электрической энергии на Земле являются молнии и атмосферное электричество, однако они на сегодняшний день человеком не освоены. Также человеком не изобретены устройства для хранения электрической энергии в промышленных масштабах. *Химические аккумуляторы* (обратимые преобразователи электрической энергии в химическую) и *суперконденсаторы (ионисторы)* на сегодняшний день малоэффективны. Они имеют высокую стоимость и малые удельные характеристики.

Электрическая энергия может быть преобразована из механической энергии (с помощью *генераторов*), светового излучения (с помощью *фотоэлементов*), тепловой энергии (с помощью *термопар* или *элементов Пельтье*) или химической энергии (с помощью *гальванических* или *топливных элементов*). Электрическая энергия может быть преобразована в механическую энергию (с помощью *электродвигателей* или *электромагнитов*), световое излучение (с помощью *ламп*), инфракрасное излучение (с помощью *инфракрасных нагревателей*), тепловую энергию (с помощью *нагревателей*). Как видно из приведенного списка у электрической энергии самый большой список преобразователей, как из энергии других видов, так и в энергию других видов.

2.3.6 Ядерная энергия

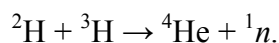
Ядерная энергия (атомная энергия) – энергия, содержащаяся в атомных ядрах и выделяемая при ядерных реакциях.

Из курса физики известно, что ядро атома состоит из элементарных частиц, называемых нуклонами. К нуклонам относятся положительно заряженные протоны и

электрически нейтральные нейтроны. От количества и состава нуклонов зависит физические и химические характеристики атома.

Масса ядра атома меньше чем сумма масс его нуклонов. Это явление известно как *дефект массы*. Оно возникает из-за того, что нуклоны часть массы в виде *энергии связи* тратят на то, чтобы объединиться в ядро атома.

В качестве примера рассмотрим реакцию термоядерного синтеза дейтерия ${}^2\text{H}$ (*дейтерий* – изотоп водорода, ядро которого содержит 2 нуклона: протон и нейтрон) и трития ${}^3\text{H}$ (*тритий* – изотоп водорода, ядро которого состоит из 3 нуклонов: протона и 2 нейтронов). В результате реакции образуется ядро атома гелия ${}^4\text{He}$ (в состав ядра гелия входит 4 нуклона: 2 протона и 2 нейтрона) и свободный нейтрон ${}^1_0\text{n}$.



Масса ядра дейтерия равна 2,0141 а.е.м., ядра трития – 3,016 а.е.м., ядра гелия – 4,0026 а.е.м., нейтрона – 1,0087 а.е.м. (а.е.м. – атомная единица массы, которая равна $1,6605402(10) \cdot 10^{-24}$ г). До реакции сумма масс ядер атомов дейтерия и трития составляла $2,0141 + 3,016 = 5,0301$ а.е.м.. После реакции сумма масс ядра гелия и нейтрона составляет $4,0026 + 1,0087 = 5,0113$ а.е.м.. Таким образом, в результате реакции общая масса веществ уменьшилась на $5,0301 - 5,0113 = 0,0188$ а.е.м.. Эта масса превратилась в тепловую энергию, количество которой, согласно формуле Эйнштейна, составляет 17,6 МэВ (1 а.е.м = 931,5 МэВ).

Аналогично энергия выделяется и при распаде ядер атомов. Например, при распаде ядра урана ${}^{235}\text{U}$ на ядра атомов бария ${}^{139}\text{Ba}$ и криптона ${}^{95}\text{Kr}$ происходит уменьшение массы на 0,2147 а.е.м., в результате чего выделяется около 200 МэВ тепловой энергии.

Благодаря ядерным реакциям, происходящим на Солнце, где происходит слияние ядер водорода в ядра гелия, выделяется огромное количество энергии (мощность излучения Солнца составляет около $3,827 \cdot 10^{26}$ Вт). На Землю попадает всего лишь $5 \cdot 10^{-10}$ часть этого излучения. Поэтому Солнце, которое выделяет энергию в результате ядерных реакций, является основным источником энергии на Земле.

Природными источниками ядерной энергии на Земле являются радиоактивные элементы – элементы, ядра которых нестабильны и со временем распадаются. Радиоактивными элементами являются все элементы, идущие в таблице Менделеева после свинца. Некоторые элементы могут иметь радиоактивные изотопы (ядра, в которых содержатся дополнительные нейтроны), например калий или кальций.

Распад радиоактивных элементов, который происходит в природных условиях, не приводит к выделению большого количества энергии и относительно безопасен. Для выделения большого количества энергии, требуется выполнить сложные технические условия, в результате которых начнется *цепная ядерная реакция*, когда распад одного атома приводит к распаду другого. На сегодняшний день человечеством изучены и освоены условия для распада урана и плутония. Эти элементы являются топливом для атомных электростанций и ядерного оружия.

Перспективным направлением для человечества является освоение термоядерного синтеза в условиях Земли. Однако, в настоящее время эта задача далека от завершения.

Достоинствами ядерной энергетики, теоретически, является экологическая чистота. Атомные электростанции при нормальной работе не выделяют в атмосферу вредных веществ. 1 килограмм ядерного топлива (обогащенного урана) по своей энергетической емкости эквивалентен 100 тоннам высококачественного каменного угля (1,5 железнодорожных вагона) или 60 тоннам нефти (1 цистерна).

Основным недостатком ядерной энергетики является загрязнение окружающей среды радиоактивными веществами в случае аварии. После серии аварий на атомных электростанциях, самой крупной из которых является авария на Чернобыльской АЭС, во

во всем мире наблюдается снижение темпов строительства атомных электростанций, вплоть до полного запрета их использования.

Ядерная энергия в основном превращается в тепловую энергию. Некоторая часть энергии выделяется в виде излучения. Устройства для превращения ядерной энергии в тепловую энергию называются *ядерными реакторами*. На сегодняшний день устройств, для превращения энергии других видов в ядерную энергию не существует.

2.3.7 Преобразование энергии

Человеку требуется не абстрактная энергия, как способность совершать работу, а энергия вполне конкретного вида. Например, человеческий организм не может питаться электрической энергией – ему требуется химическая энергия в виде продуктов питания конкретного состава и качества. Точно также компьютер не может питаться кинетической или атомной энергией – ему необходима электрическая энергия с вполне конкретными параметрами.

В большинстве случаев тип существующих источников энергии отличается от того типа энергии, который необходим человеку, то есть перед человеком всегда стоит задача *преобразования энергии*. Некоторые преобразования энергии производятся непосредственно веществом. Так, например, при поглощении любого вида излучения вещество, как правило, нагревается, то есть энергия излучения преобразуется в тепловую энергию.

В тепловую энергию (хаотическое движение атомов и молекул вещества), в конечном счете, превратятся все виды энергии, вследствие явления диссипации и постоянного увеличения уровня энтропии нашей Вселенной.

При преобразовании энергии всегда выполняется *закон сохранения энергии*, который гласит, что энергия никуда не исчезает, а переходит из одного вида в другой. Однако, на практике преобразование энергии сопровождается *потерями*. Под потерями следует понимать не уничтожение энергии как таковой, а превращение части энергии в вид, который в данном преобразователе не используется. Чаще всего, побочным продуктом любого преобразования энергии является тепло. Например, любая лампа (преобразователь электрической энергии в световое излучение) часть электрической энергии преобразует в свет (полезная энергия), а часть – в тепло (потери энергии). При этом сумма полезной энергии и потерь, вследствие закона сохранения энергии, равна количеству электрической энергии, потребленной лампой.

Чем меньше уровень потерь, тем эффективнее преобразователь. Эффективность преобразователя определяется *коэффициентом полезного действия*, η – отношением величины полезной энергии $E_{\text{вых}}$ (выходной энергии преобразователя) к величине энергии, потраченной на преобразование $E_{\text{вх}}$ (полной энергии, входной энергии преобразователя):

$$\eta = E_{\text{вых}}/E_{\text{вх}} \cdot 100\%.$$

Согласно закону сохранения энергии величина КПД не может быть больше 100% – нельзя получить на выходе энергии больше, чем было потрачено. Большинство преобразователей имеет КПД меньше 100%, поскольку при преобразовании энергии возникают потери, в основном, в виде тепла. Исключением могут быть преобразователи в тепловую энергию, которые имеют КПД = 100% (например, электронагреватели), поскольку в этом случае даже потери энергии в соединительных проводах все равно превращаются в полезный, в данном случае, вид энергии – тепло.

Не все виды энергии можно эффективно преобразовать друг в друга. В таблице (Таблица 1.1) приведены устройства и явления, в результате которых происходит превращение вида энергии. Из таблицы видно, что некоторые виды энергии, например атомную энергию, можно преобразовать эффективно только в тепло, при этом атомную

энергию, на существующем уровне развития технологии человечеством получить из других видов энергии невозможно.

Таблица 2.1 – Преобразователи энергии

		Конечный вид энергии				
		Химическая	Кинетическая	Тепловая	Световая	Электрическая
Начальный вид энергии	Химическая	Химические реакции		Химические реакции	Химические реакции	Топливный элемент, гальванический элемент, аккумулятор
	Кинетическая		Турбина	Трение		Электродвигатель
	Тепловая		Двигатель внутреннего сгорания, дизельный двигатель	Тепловой насос		Термопара, элемент Пельтье
	Световая	Реакция фотосинтеза в листьях растений		Поглощение веществом, солнечный коллектор		Фотоэлемент
	Электрическая	Аккумулятор	Электродвигатель	Конвекционный обогреватель, инфракрасный обогреватель	Лампа	Преобразователь электрической энергии
	Ядерная			Атомный реактор		

Наибольшее количество преобразователей существует для электрической энергии. Простота и высокая скорость передачи ее на большие расстояния, простота контроля и управления, обусловило бурное развитие электротехники и радиоэлектроники в XX-веке, что привело к повсеместному распространению устройств, использующих электричество.

Несмотря на широкое распространение, следует понимать, что в большинстве случаев электрическая энергия является промежуточным носителем энергии других видов, которую можно легко доставить в нужное место (с помощью двух изолированных проводов), чтобы потом преобразовать в энергию другого вида, которая необходима человеку. Непосредственно электрическая энергия на практике требуется достаточно редко, в основном при проведении некоторых химических реакций, например, разложения воды.

В случаях, когда один вид энергии в другой напрямую эффективно преобразовать сложно или невозможно используют многоступенчатое преобразование. Например, в атомной электростанции тепловая энергия, выделившаяся при распаде атомов топлива в активной зоне реактора, передается теплоносителю в качестве которого выступает вода. Разогретая вода (пар) вращает лопасти турбины, преобразуя тепловую энергию в механическую. На валу турбины установлены электродвигатели, которые преобразуют механическую энергию в электрическую. Полученная электрическая энергия с помощью линий электропередач транспортируется в нужное место и преобразуется в энергию необходимого вида.