**Топливные элементы**

Виктор Лаврус

Топливные элементы относятся к химическим источникам тока. Они осуществляют прямое превращение энергии топлива в электричество минуя малоэффективные, идущие с большими потерями, процессы горения. Это электрохимическое устройство в результате высокоэффективного «холодного» горения топлива непосредственно вырабатывает электроэнергию.

Биохимики установили, что биологический водородно-кислородный топливный элемент «вмонтирован» в каждую живую клетку (см. гл.2).

Источником водорода в организме служит пища – жиры, белки и углеводы. В желудке, кишечнике, клетках она в конечном счете раскладывается до мономеров, которые, в свою очередь, после ряда химических превращений дают водород, присоединенный к молекуле-носителю.

Кислород из воздуха попадает в кровь через легкие, соединяется с гемоглобином и разносится по всем тканям. Процесс соединения водорода с кислородом составляет основу биоэнергетики организма. Здесь, в мягких условиях (комнатная температура, нормальное давление, водная среда), химическая энергия с высоким КПД преобразуется в тепловую, механическую (движение мышц), электричество (электрический скат), свет (насекомые излучающие свет).

Человек в который раз повторил созданное природой устройство получения энергии. В то же время этот факт говорит о перспективности направления. Все процессы в природе очень рациональны, поэтому шаги по реальному использованию ТЭ вселяют надежду на энергетическое будущее.

Открытие в 1838 году водородно-кислородного топливного элемента принадлежит английскому ученому У.Грову. Исследуя разложение воды на водород и кислород он обнаружил побочный эффект – электролизер вырабатывал электрический ток.

Что горит в топливном элементе?

Ископаемое топливо (уголь, газ и нефть) состоит в основном из углерода. При сжигании атомы топлива теряют электроны, а атомы кислорода воздуха приобретают их. Так в процессе окисления атомы углерода и кислорода соединяются в продукты горения – молекулы углекислого газа. Этот процесс идет энергично: атомы и молекулы веществ, участвующих в горении, приобретают большие скорости, а это приводит к повышению их температуры. Они начинают испускать свет – появляется пламя.

Химическая реакция сжигания углерода имеет вид:

C + O2 = CO2 + тепло

В процессе горения химическая энергия переходит в тепловую энергию благодаря обмену электронами между атомами топлива и окислителя. Этот обмен происходит хаотически.

Горение – обмен электронов между атомами, а электрический ток – направленное движение электронов. Если в процессе химической реакции заставить электроны совершать работу, то температура процесса горения будет понижаться. В ТЭ электроны отбираются у реагирующих веществ на одном электроде, отдают свою энергию в виде электрического тока и присоединяются к реагирующим веществам на другом.

Основа любого ХИТ – два электрода соединенные электролитом. ТЭ состоит из анода, катода и электролита (см. гл.2). На аноде окисляется, т.е. отдает электроны, восстановитель (топливо CO или H2), свободные электроны с анода поступают во внешнюю цепь, а положительные ионы удерживаются на границе анод-электролит (CO+, H+). С другого конца цепи электроны подходят к катоду, на котором идет реакция восстановления (присоединение электронов окислителем O2–). Затем ионы окислителя переносятся электролитом к катоду.

В ТЭ вместе сведены вместе три фазы физико-химической системы:

газ (топливо, окислитель);

электролит (проводник ионов);

металлический электрод (проводник электронов).

В ТЭ происходит преобразование энергии окислительно-восстановительной реакции в электрическую, причем, процессы окисления и восстановления пространственно разделены электролитом. Электроды и электролит в реакции не участвуют, но в реальных конструкциях со временем загрязняются примесями топлива. Электрохимическое горение может идти при невысоких температурах и практически без потерь. На рис. p087 показана ситуация в которой в ТЭ поступает смесь газов (CO и H2), т.е. в нем можно сжигать газообразное топливо (см. гл.1). Таким образом, ТЭ оказывается «всеядным».

Усложняет использование ТЭ то, что для них топливо необходимо «готовить». Для ТЭ получают водород путем конверсии органического топлива или газификации угля. Поэтому структурная схема электростанции на ТЭ, кроме батарей ТЭ, преобразователя постоянного тока в переменный (см гл. 3) и вспомогательного оборудования включает блок получения водорода.

Два направления развития ТЭ

Существуют две сферы применения ТЭ: автономная и большая энергетика.

Для автономного использования основными являются удельные характеристики и удобство эксплуатации. Стоимость вырабатываемой энергии не является основным показателем.

Для большой энергетики решающим фактором является экономичность. Кроме того, установки должны быть долговечными, не содержать дорогих материалов и использовать природное топливо при минимальных затратах на подготовку.

Наибольшие выгоды сулит использование ТЭ в автомобиле. Здесь, как нигде, скажется компактность ТЭ.При непосредственном получении электроэнергии из топлива экономия последнего составит порядка 50%.

Впервые идея использования ТЭ в большой энергетике была сформулирована немецким ученым В.Освальдом в 1894 году. Позднее получила развитие идея создания эффективных источников автономной энергии на основе топливного элемента.

После этого предпринимались неоднократные попытки использовать уголь в качестве активного вещества в ТЭ.В 30-е годы немецкий исследователь Э.Бауэр создал лабораторный прототип ТЭ с твердым электролитом для прямого анодного окисления угля. В это же время исследовались кислородно-водородные ТЭ.

В 1958 году в Англии Ф.Бэкон создал первую кислородно-водородную установку мощностью 5кВт. Но она была громоздкой из-за использования высокого давления газов (2...4МПа).

С 1955 года в США К.Кордеш разрабатывал низкотемпературные кислородно-водородные ТЭ.В них использовались угольные электроды с платиновыми катализаторами. В Германии Э.Юст работал над созданием неплатиновых катализаторов.

После 1960 года были созданы демонстрационные и рекламные образцы. Первое практическое применение ТЭ нашли на космических кораблях «Аполлон». Они были основными энергоустановками для питания бортовой аппаратуры и обеспечивали космонавтов водой и теплом.

Основными областями использования автономных установок с ТЭ были военные и военно-морские применения. В конце 60-х годов объем исследований по ТЭ сократился, а после 80-х вновь возрос применительно к большой энергетике.

Фирмой VARTA разработаны ТЭ с использованием двухсторонних газодифузионных электродов. Электроды такого типа называют «Янус». Фирма Siemens разработала электроды с удельной мощностью до 90Вт/кг. В США работы по кислородно-водородным элементам проводит United Technology Corp.

В большой энергетике очень перспективно применение ТЭ для крупномасштабного накопления энергии, например, получение водорода (см. гл. 1). Возобновляемые источники энергии (солнце и ветер) отличаются рассредоточеностью (см гл. 4). Их серьезное использование, без которого в будущем не обойтись, немыслимо без емких аккумуляторов, запасающих энергию в той или иной форме.

Проблема накопления актуальна уже сегодня: суточные и недельные колебания нагрузки энергосистем заметно снижают их эффективность и требуют так называемых маневренных мощностей. Один из вариантов электрохимического накопителя энергии – топливный элемент в сочетании с электролизерами и газгольдерами\*.

\* Газгольдер [газ + англ. holder держатель] – хранилище для больших количеств газа.

Первое поколение ТЭ

Наибольшего технологического совершенства достигли среднетемпературные ТЭ первого поколения, работающие при температуре 200...230°С на жидком топливе, природном газе либо на техническом водороде\*. Электролитом в них служит фосфорная кислота, которая заполняет пористую углеродную матрицу. Электроды выполнены из углерода, а катализатором является платина (платина используется в количествах порядка нескольких граммов на киловатт мощности).

\* Технический водород – продукт конверсии органического топлива, содержащий незначительные примеси окиси углерода.

Одна таких электростанций введена в строй в штате Калифорния 1991 году. Она состоит из восемнадцати батарей массой по 18 т каждая и размещается в корпусе диаметром чуть более 2м и высотой около 5м. Продумана процедура замены батареи с помощью рамной конструкции движущейся по рельсам.

Две электростанции на ТЭ США поставили в Японию. Первая из них была пущена еще в начале 1983 года. Эксплуатационные показатели станции соответствовали расчетным. Она работала с нагрузкой от 25 до 80% от номинальной. КПД достигал 30...37% – это близко к современным крупным ТЭС.Время ее пуска из холодного состояния – от 4ч до 10мин., а продолжительность изменения мощности от нулевой до полной составляет всего 15с.

Сейчас в разных районах США испытываются небольшие теплофикационные установки мощностью по 40кВт с коэффициентом использования топлива около 80%. Они могут нагревать воду до 130°С и размещаются в прачечных, спортивных комплексах, на пунктах связи и т.д. Около сотни установок уже проработали в общей сложности сотни тысяч часов. Экологическая чистота электростанций на ТЭ позволяет размещать их непосредственно в городах.

Первая топливная электростанция в Нью-Йорке, мощностью 4,5МВт, заняла территорию в 1,3га. Теперь для новых станций с мощностью в два с половиной раза большей нужна площадка размером 30x60м. Строятся несколько демонстрационных электростанций мощностью по 11МВт. Поражают сроки строительства (7 месяцев) и площадь (30х60м), занимаемая электростанцией. Расчетный срок службы новых электростанций – 30 лет.

**Второе и третье поколение ТЭ**

Лучшими характеристиками обладают уже проектирующиеся модульные установки мощностью 5 МВт со среднетемпературными топливными элементами второго поколения. Они работают при температурах 650...700°С.Их аноды делают из спеченных частиц никеля и хрома, катоды – из спеченного и окисленного алюминия, а электролитом служит расплав смеси карбонатов лития и калия. Повышенная температура помогает решить две крупные электрохимические проблемы:

снизить «отравляемость» катализатора окисью углерода;

повысить эффективность процесса восстановления окислителя на катоде.

Еще эффективнее будут высокотемпературные топливные элементы третьего поколения с электролитом из твердых оксидов (в основном двуокиси циркония). Их рабочая температура – до 1000°С.КПД энергоустановок с такими ТЭ близок к 50%. Здесь в качестве топлива пригодны и продукты газификации твердого угля со значительным содержанием окиси углерода. Не менее важно, что сбросовое тепло высокотемпературных установок можно использовать для производства пара, приводящего в движение турбины электрогенераторов.

Фирма Vestingaus занимается топливными элементами на твердых оксидах с 1958 года. Она разрабатывает энергоустановки мощностью 25...200кВт, в которых можно использовать газообразное топливо из угля. Готовятся к испытаниям экспериментальные установки мощностью в несколько мегаватт. Другая американская фирма Engelgurd проектирует топливные элементы мощностью 50кВт работающие на метаноле с фосфорной кислотой в качестве электролита.

В создание ТЭ включается все больше фирм во всем мире. Американская United Technology и японская Toshiba образовали корпорацию International Fuel Cells. В Европе топливными элементами занимаются бельгийско-нидерландский консорциум Elenko, западногерманская фирма Siemens, итальянская Fiat, английская Jonson Metju.