

Преимущества ТФП-40-2УЗ и ТЗФП-110-2УЗ: малые эксплуатационные и ремонтные затраты, небольшое количество вспомогательного оборудования, сокращённое время подготовки к пуску, увеличенный межремонтный период, упрощённое ведение режима эксплуатации.

### Литература

1. Энергетика Беларуси.
2. Техническая документация турбогенератора ТФП-40-2УЗ.

УДК 621.313

## ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ: УСТРОЙСТВО, НАЗНАЧЕНИЕ И КОНСТРУКЦИИ

Кабанов А.А.

Научный руководитель – ОЛЕШКЕВИЧ В.М.

Топливные элементы относятся к химическим источникам тока. Топливный элемент, или электрохимический генератор – это устройство, обеспечивающее прямое преобразование химической энергии топлива в электричество, минуя малоэффективные, идущие с большими потерями, процессы горения. Хотя то же происходит в электрических аккумуляторах, топливные элементы имеют два важных отличия:

1) они функционируют до тех пор, пока топливо и окислитель поступают из внешнего источника;

2) химический состав электролита в процессе работы не изменяется, т. е. топливный элемент не нуждается в перезарядке.

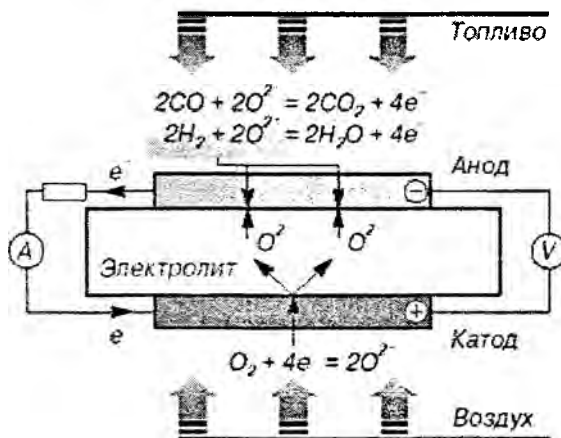
Это электрохимическое устройство в результате высокоэффективного «холодного» горения топлива непосредственно вырабатывает электроэнергию.

Человек повторил созданное природой устройство получения энергии. Этот факт говорит о перспективности направления. Все процессы в природе очень рациональны, поэтому шаги по реальному использованию ТЭ вселяют надежду на энергетическое будущее.

Первый топливный элемент (вернее, его действующая модель) был собран в 1839 году англичанином Уильямом Гроувом. Исследуя разложение воды на водород и кислород, он обнаружил побочный эффект – электролизер вырабатывал электрический ток.

Топливный элемент состоит из двух электродов, разделенных электролитом, и систем подвода топлива на один электрод и окислителя на другой, а также системы для удаления продуктов реакции. В большинстве случаев для ускорения химической реакции используются катализаторы. Внешней электрической цепью топливный элемент соединен с нагрузкой, которая потребляет электроэнергию.

Топливный элемент работает при поступлении на анод любого водородосодержащего топлива (природного газа, сжиженного газа, синтетического газа,



биогаза, метанола, дизельного топлива, продуктов газификации угля) после соответствующей обработки. В современных топливных элементах действующим началом является чистый водород. При его дозированной подаче в емкость, заполненную кислородом, возникает электрический ток (материал электродов замедляет реакцию, препятствуя взрыву). Процесс сопровождается образованием воды и выделением тепловой энергии.

Помимо водородного топлива в ТЭ используют и ископаемое топливо, состоящее в основном из углерода (уголь, газ и нефть). 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.

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.

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.

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 и вспомогательного оборудования включает блок получения водорода.

Топливные элементы можно классифицировать по используемому топливу, рабочему давлению и температуре, по характеру применения.

В топливном элементе на водородном топливе водород и кислород переходят в электролит через микропористые углеродные или металлические электроды. Высокая плотность тока достигается в элементах, работающих при повышенной температуре (около 250 °С) и высоком давлении. Элементы, использующие водородное топливо, получаемое при переработке углеводородного топлива, например природного газа или нефтепродуктов, по-видимому, найдут наиболее широкое коммерческое применение. Объединяя большое число элементов, можно создавать мощные энергетические установки. В этих установках постоянный ток, вырабатываемый элементами, преобразуется в переменный со стандартными параметрами. Новым типом элементов, способным работать на водороде и кислороде при нормальных температуре и давлении, являются элементы с ионообменными мембранами. В этих элементах вместо жидкого электролита между электродами располагается полимерная мембрана, через которую свободно проходят ионы. В таких элементах наряду с кислородом может использоваться воздух. Образующаяся при работе элемента вода не растворяет твердый электролит и может быть легко удалена.

В топливном элементе на углеводородном и угольном топливе химическая энергия таких широко доступных и сравнительно недорогих топлив, как пропан, природный

газ, метиловый спирт, керосин или бензин, непосредственно преобразуется в электричество. Однако, пока не достигнуто заметных успехов в создании топливных элементов, работающих на газах, получаемых из углеводородного топлива, при нормальной температуре. Для повышения скорости реакции углеводородного и угольного топлива приходится повышать рабочую температуру топливного элемента. Электролитами служат расплавы карбонатов или других солей, которые заключаются в пористую керамическую матрицу. Топливо «расщепляется» внутри элемента с образованием водорода и оксида углерода, которые поддерживают протекание токообразующей реакции в элементе.

В топливных элементах, работающих на других видах топлива реакция не обязательно должны быть реакцией окисления. В перспективе могут быть найдены и другие химические реакции, которые позволят осуществить эффективное непосредственное получение электричества. В некоторых устройствах электроэнергия получается при окислении, например, цинка, натрия или магния, из которых изготавливаются расходуемые электроды.

Превращение энергии обычных топлив (угля, нефти, природного газа) в электричество было до сих пор многоступенчатым процессом. Сжигание топлива, позволяющее получить пар или газ, необходимые для работы турбины или двигателя внутреннего сгорания, которые, в свою очередь, вращают электрический генератор, – процесс не очень эффективный. Действительно, коэффициент использования энергии такого превращения ограничен по второму закону термодинамики, и его вряд ли можно существенно поднять выше существующего уровня. Коэффициент использования энергии топлива самых современных паротурбинных энергетических установок не превышает 40 %. Для топливных элементов нет термодинамического ограничения коэффициента использования энергии. В существующих топливных элементах от 60 до 70 % энергии топлива непосредственно превращается в электричество, и энергетические установки на топливных элементах, использующие водород из углеводородного топлива, проектируются на КПД 40–45 %.

Топливные элементы очень эффективны: они обладают чрезвычайно высоким коэффициентом полезного действия (до 34–36 %). Использование технологии топливных элементов позволит повысить КПД до 75 % по электроэнергии. Прибавим к этому, что топливный элемент одновременно вырабатывает еще и тепло, которое может быть утилизировано непосредственно или использовано для запуска турбины с целью получения дополнительного количества электроэнергии. В результате суммарный КПД системы может достигать 90–95 %. Более эффективной энергетической системы человечество пока не знает.

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.

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.

В большой энергетике очень перспективно применение ТЭ для крупномасштабного накопления энергии, например, получение водорода. Возобновляемые источники

энергии (солнце и ветер) отличаются рассредоточенностью. Их серьезное использование, без которого в будущем не обойтись, немислимо без емких аккумуляторов, запаасающих 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 (хранилище для больших количеств газа).

Топливные элементы могут стать широко используемым источником энергии на транспорте, в промышленности и домашнем хозяйстве. Обладая высоким КПД, топливные элементы имеют еще одно важное качество – экологическая чистота. Все ныне существующие энергоустановки уступают установкам на топливных элементах по экологической чистоте в десятки и сотни раз.

Высокая стоимость топливных элементов ограничивала их применение военными и космическими приложениями.

Предполагаемые применения топливных элементов включают их применение в качестве переносных источников энергии для армейских нужд и компактных альтернативных источников энергии для околоземных спутников с солнечными батареями при прохождении ими протяженных теневых участков орбиты. Небольшие размеры и масса топливных элементов позволили использовать их при пилотируемых полетах к Луне. Топливные элементы на борту трехместных кораблей «Аполлон» применялись для питания бортовых компьютеров и систем радиосвязи. Топливные элементы можно использовать в качестве источников питания оборудования в удаленных районах, для внедорожных транспортных средств, например в строительстве. В сочетании с электродвигателем постоянного тока топливный элемент будет эффективным источником движущей силы автомобиля.

Энергоустановки на топливных элементах наряду с АЭС нового поколения, возобновляемыми источниками энергии (ветер, вода, солнце) будут определять облик энергетики первой половины XXI века. Япония, например, уже к 2010 году планирует 13 % всей энергии вырабатывать за счет топливных элементов.

Для широкого применения топливных элементов необходим значительный технический прогресс, снижение их стоимости и возможность эффективного использования дешевого топлива. При выполнении этих условий топливные элементы сделают электрическую и механическую энергию широко доступными во всем мире.

УДК 621.313

## **ОБ ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА КАБЕЛЕЙ С ИЗОЛЯЦИЕЙ ИЗ СШИТОГО ПОЛИЭТИЛЕНА**

*Романов Р.В.*

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент РАДКЕВИЧ В.Н.

В системах электроснабжения все большее применение находят кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ). К началу 2007 года в городе Минске эксплуатировалось более 40 км таких линий на напряжении 10 кВ. Все питающие линии, прокладываемые от шин 10 кВ понижающих подстанций до распределительных пунктов, как правило, проектируются в однофазном исполнении с применением кабелей, изоляция которых выполнена из СПЭ. Кабели такого типа существенно отличаются от кабелей традиционного исполнения с бумажной изоляцией, как по конструкции, так и по при-