

УДК 621.35

## ПРИМЕНЕНИЕ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Радцевич В.Ф., Родик А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Качан С.А.

Топливный элемент (ТЭ) или топливная ячейка – электрохимическое устройство, подобное гальваническому элементу, но отличающееся тем, что вещества для электрохимической реакции подаются извне (в отличие от ограниченного количества энергии, запасенного в гальваническом элементе или аккумуляторе) [2].

Топливный элемент имеет два электрода: анод (отрицательный электрод) и катод (положительный электрод), на которых происходит химическая реакция. Чтобы ее ускорить, поверхность электродов покрывается катализатором. Превращение химической энергии топлива непосредственно в электричество, происходит благодаря работе электролитической мембраны, которая отделяет две камеры элемента, в которые подают топливо и окислитель. Мембрана позволяет проходить из одной камеры в другую только протонам, которые получают в результате расщепления топлива, на электроде, покрытом катализатором (электроны при этом пробегают по внешней цепи). Во второй камере протоны воссоединяются с электронами (и атомами кислорода), образуя воду.

На химическом уровне процесс превращения энергии топлива в электроэнергию схож с обычным процессом горения (окисления). При обычном горении химическая энергия топлива переходит в теплоту. При окислении водорода кислородом в среде электролита и при наличии электродов результирующая реакция  $2H_2 + O_2 \rightarrow H_2O$  – та же, что и при обычном горении, но **в топливном элементе получается электрический ток и частично теплота**.

Области применения топливных элементов различны, например:

- транспорт (электромобили, авто-, морской и железнодорожный транспорт, горная и шахтная техника; вспомогательный транспорт – складские погрузчики и т.д.);
- бортовое питание (авиация, космос, подводные лодки и пр.);
- мобильные устройства (портативная электроника, питание сотовых телефонов, армейские зарядные устройства и пр.).

Топливные элементы находят все более широкое применение и в энергетике [1–3].

К настоящему времени в США, Японии, странах Евросоюза распространяются установочные партии когенерационных низкотемпературных и среднетемпературных топливных элементов, соответственно, с протонообменной мембраной (PEFC) и фосфорноокислотных (PAFC).

Преимущества мини-ТЭС на топливных элементах:

- отсутствие вибрации и минимум шума вследствие отсутствия движущихся частей (суммарный шум силового модуля совместно с модулем охлаждения менее 60 дБ на 10 м);
- высокая экологичность, поскольку уходящие газы мало отличаются от чистого воздуха (для установки средней мощности вредные выбросы составляют:  $NO_x < 1 \text{ ppm}$ ,  $SO_x < 1 \text{ ppm}$ ,  $CO < 2 \text{ ppm}$ , углеводороды – менее 1 ppm);
- широкий диапазон изменения нагрузки (от 10 до 100 %, при этом возможен быстрый наброс нагрузки во всем диапазоне);
- простота монтажа и запуска (контейнерное исполнение), гарантийный срок не менее 10 лет; благодаря небольшому количеству сменных деталей практически отсутствуют затраты на техническое обслуживание, а коэффициент готовности составляет до 98 %;
- ТЭ не требовательны к топливу: в качестве топливного газа, наряду с природным газом в ТЭ можно использовать биогаз, угольный газ, рудничный газ, синтезгазы и даже метанол. Это значит, что ТЭ могут работать на возобновляемых источниках энергии.

Эффективность выработки электроэнергии достаточно высока: электрический КПД установки с ТЭ составляет 47 %, а при ее дооснащении паровой турбиной возможно достижение суммарного электрического КПД до 65 %.

Перспективы масштабного применения когенерационных ТЭ связаны с уменьшением их удельной стоимости.

Возможно также применение гибридных энергоустановок на базе ГТУ и ПГУ, в которых камера сгорания заменяется высокотемпературными топливными элементами: твердооксидными (*SOFС*) или на основе расплавленных карбонатов (*MCFC*), работающими при температуре 850 °С и 650 °С. Уже созданы образцы высокотемпературных энергетических топливных элементов единичной мощностью от 200 кВт до 20 МВт с КПД на уровне 60 – 70 %. В перспективе намечается достижение КПД на уровне 75 % с созданием энергетических установок мощностью до 300 МВт и более.

В большой энергетике актуально перспективное применение топливных элементов для крупномасштабного аккумулирования энергии.

Рост неравномерности суточных графиков электрических нагрузок усложняет регулирование частоты и мощности в энергосистеме, в особенности при дефиците в ней маневренных мощностей и избытке базовых. Эксплуатация оборудования в переменных режимах снижает его надежность и экономичность, а применение аккумуляторов энергии позволяет улучшить условия работы энергосистемы. Все более широкое применение возобновляемых источников, использующих энергию солнца и ветра и характеризующихся неравномерностью генерации, также невозможно без применения емких аккумуляторов, запасующих энергию в той или иной форме.

Одним из вариантов электрохимического накопителя энергии может быть топливный элемент в сочетании с электролизерами и газгольдерами. При снижении электрической нагрузки в энергосистеме избыточная (по сравнению с требуемой по графику) энергия идет на гидролиз воды для получения  $O_2$  и  $H_2$ . В периоды пиковой нагрузки в системе, полученные  $O_2$  и  $H_2$ , направляются в топливный элемент для выработки дополнительной электроэнергии.

При этом повышается коэффициент заполнения графика электрической нагрузки, и улучшаются условия работы оборудования ТЭС и АЭС.

Возможно также применение топливных элементов в действующей энергетике для получения электроэнергии за счет утилизации водорода, сбрасываемого в атмосферу из водородного хозяйства электростанций, на которых  $H_2$  используется для охлаждения электрических машин (генераторов и синхронных компенсаторов) на ТЭС, ГЭС и других промышленных объектах.

Таким образом, топливные элементы, могут использоваться, как для повышения эффективности действующих электростанций, так и в качестве перспективных энергогенерирующих источников. ТЭ могут помочь в преодолении ограничений 2-го и 3-го начал термодинамики, поскольку для них теоретический КПД может достигать 80 %, что значительно выше, чем КПД цикла Карно, составляющий 50 % для тепловых машин и зависящий от разницы температур рабочего тела в цикле. КПД ТЭ, определенный по теплоте химической реакции, теоретически может быть и выше 100 %, если в работу будет превращаться и теплота окружающей среды.

### Литература

1. Гринбаум, М. Программа исследований, разработок и демонстраций новых технологий по экологически чистому использованию угля // Электрические станции. – 2002. – № 1. – С. 72–81.
2. Коровин, Н.В. Топливные элементы и электрохимические энергоустановки. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 280 с.
3. Международное энергетическое агентство. Перспективные технологии в области энергетики. – В поддержку Плана действий G-8. – Сценарии и стратегии до 2050 года.