




# Разработка и изготовление ТОТЭ с использованием нанотехнологий

По мнению ряда ученых, при реформировании энергетики наиболее целесообразно применять технологии получения электроэнергии с использованием твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ). Аналитики предсказывают, что уже в 2010 году на международном рынке энергосистем этих элементов будет продано на сумму около 443 млн. \$US

 According to a number of scientists, at power reforming it is the most expedient to apply technologies of the electric power production with use of solid oxidation fuel elements (SOFE). Analysts foretell that already in 2010 these elements will be sold for the sum about 443 million \$US in the international market of power supply systems.

Развитие цивилизации неразрывно связано с увеличением электропотребления обществом в целом и каждым человеком в отдельности. Созданная в прошлом веке централизованная система электрообеспечения исправно отслужила свой срок и в настоящее время уже не отвечает современным требованиям ни по эффективности преобразования топлива, ни по эффективности передачи электроэнергии, а также по экологии этих процессов.

КПД перевода химической энергии топлива в электрическую энергию на традиционных электростанциях составляет 30-35%. Передача выработанной электроэнергии от электростанций на большие расстояния также приводит к безвозвратным ее потерям. Эти потери электроэнергии преобразуются в выделяемое проходящим током джоулево тепло. Кроме того, при химическом горении топлива (уголь, природный

газ) на электростанции образуются  $\text{CO}_2$  и  $\text{NO}_x$ , загрязняющие атмосферу и приводящие к глобальным экологическим проблемам.

В этой ситуации наиболее разумной и целесообразной является планомерная замена централизованной системы системой распределенной энергетики, которая предполагает, что генераторы электрического тока расположены непосредственно у потребителя электроэнергии, к которому по трубопроводу приходит топливо-энергоноситель — водород (природный газ). Потребитель сжигает топливо в соответствии с собственным графиком потребления электроэнергии. Это приводит к разумному энергосбережению и к экономному использованию топлива.

При этом использование в качестве генераторов электроэнергии электрохимических генераторов тока на твердооксидных топливных элементах (ТОТЭ) позволяет существенно повысить энергосбережение и экономию топлива. ТОТЭ имеют высокий КПД прямого преобразования химической энергии топлива в электричество. Их КПД достигает 70%, а с учетом использования высокопотенциальной тепловой энергии — 90%. Транспортировка топлива по трубопроводу на те же расстояния требует существенно меньших энергозатрат, чем электроэнергии, а потери возникают только при физическом нарушении целостности трубопровода.

Кроме того, электрохимическое, «низкотемпературное» сжигание топлива обеспечивает высокую экологичность процесса. Это реально чистая энергосберегающая технология, требующая для производства такого же количества электричества в два-три раза меньшего количества топлива.

Твердооксидные топливные элементы, по международной термина-

логии SOFC (Solid Oxide Fuel Cells) эффективно работают при высоких рабочих температурах — 700-950°C. Поэтому скорость протекания электрохимических реакций достаточно высока и не требуется использование дорогостоящих катализаторов. Одним из преимуществ ТОТЭ является их невысокая требовательность к чистоте топлива. В качестве топлива, кроме водорода, могут быть использованы любые углеводороды, преобразованные в синтез-газ ( $\text{H}_2\text{-CO}$ ).

Основным компонентом ТОТЭ является твердый электролит, который проводит ток благодаря переносу ионов кислорода. Чаще всего используют в качестве твердого электролита керамику на основе  $\text{ZrO}_2$ . С противоположных сторон электролита расположены электроды. На одном из электродов (катоде) кислород воздуха ионизируется, проходит через электролит, а затем на другом электроде (аноде) электрохимически окисляет топливо (рис. 1).

Чаще всего в ТОТЭ используют аноды на основе никелевого кермета и оксидные катоды на основе, например, манганита, лантана, стронция. Все используемые в ТОТЭ материалы (элементы) достаточно распространены в земной коре. Сами материалы при относительно низких рабочих температурах 600-900°C термодинамически устойчивы, т.е. практически вечны. Таким образом, срок службы ТОТЭ обусловлен не основными материалами, а конкретными конструкциями и используемыми технологиями. Ресурсные испытания единичных элементов, проводимые за рубежом, уже превысили 80000 тысяч часов. Ресурсные испытания батарей элементов (модулей, стеков) превысили 40000 тысяч часов и продолжаются...



Твердое состояние всех компонентов ТОТЭ позволяет иметь бесконечное многообразие форм и размеров элементов, каждому техническому применению ТОТЭ можно, в зависимости от требований Заказчика и расставленных приоритетов, найти оптимальное техническое решение.

Относительно низкие рабочие температуры исключают межслойную диффузию. Интерфейсные слои между функциональными слоями компонентов ТОТЭ исключают твердофазное взаимодействие. Относительно простые конструкции элемента (трубка, пластинка) и доработанные промышленные технологии (такие как Tape Casting, плазменное напыление, трафаретная печать, совместное спекание в туннельных печах) уже в 2006 году снизили себестоимость установленной мощности у ведущих американских фирм до 700 \$US, а к 2010 году прогнозируется дальнейшее ее снижение до 400 \$US.

ТОТЭ-технология сохраняет топливные ресурсы и это обеспечивает ей заманчивую перспективу использования для обеспечения все возрастающей потребности в электроэнергии. В ближайшие 10-20 лет ожидается увеличение спроса на ТОТЭ-технология, по отношению к другим технологиям производства электроэнергии.

Таким образом, планируемая в РФ разработка и создание промышленного производства энергосистем на основе твердооксидных топливных элементов становится первоочередной задачей распределенной энергетики, энергосбережения, когенерации, экономии топливных ресурсов нашей страны. Развитие такой перспективной энергетики неразрывно связано с развитием

электрохимической энергетики, с развитием твердооксидных топливных элементов, с развитием высокотемпературных электролизеров на твердых электролитах.

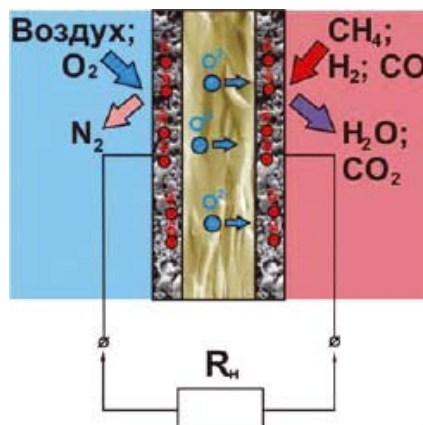


Рис. 1. Принцип работы метан ( $H_2$ -CO) – воздушного ТОТЭ

Автономные бесшумные энергосистемы, генерирующие электрическую и тепловую энергию (когенерация) имеют двойное применение — как для гражданского населения, так и для нужд Министерства обороны. Этим, по-видимому, и объясняется острая заинтересованность зарубежных государств в развитии перспективных ТОТЭ. Так, в США шесть конкурирующих разработчиков энергосистем на ТОТЭ были объединены государством в единой Программе SECA. Эта программа предусматривает создание в 2010-2012 гг. коммерческих энергосистем на ТОТЭ для гражданского применения мощностью до 5 кВт, удельной мощностью не менее 400 мВт/см<sup>2</sup> с деградацией характеристик менее 1%, стоимость киловатта установки — не более 400 \$US.

Разработку ТОТЭ в настоящее время нельзя представить без исполь-

зования наноконструкций и нанотехнологий. В Институте электрофизики (РФ) были разработаны технологии получения уникальных слабоагрегированных нанопорошков твердого электролита. Совершенно естественно, что используя компоненты ТОТЭ в наноразмерном состоянии, мы не только снижаем технологические энергозатраты, но и улучшаем основные потребительские свойства ТОТЭ. Анодные и катодные материалы с добавлением нанопорошков оксидов не только уменьшают слоевое сопротивление электродов, синтезированных при пониженных температурах, но и существенно снижают электродные поляризационные потери. Наноструктурный твердый электролит с уменьшением размера нанокристаллитов повышает свою кислородно-ионную проводимость. И совсем не случайно то, что новые материалы электролита на основе диоксида циркония, способного работать в ТОТЭ при комнатных температурах, тоже имеют наноструктуру.

На мой взгляд, энергосистемы на ТОТЭ, изготовленные с использованием наноматериалов и нанотехнологий, системы когенерации с использованием ТОТЭ, распределенная водородная энергетика, безусловно, необходимы для повышения энергетической безопасности России. И поэтому вызывает одобрение заинтересованность ГК «Российская корпорация нанотехнологий» в создании в стране промышленного производства энергосистем на твердооксидных топливных элементах.

*А. С. Липилин, к.т.н*