

Хацкевич Ю.В., канд. техн. наук, Лавренова Н.С.

(Украина, г. Днепрпетровск, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», )

## РАБОТА ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ЗА СЧЕТ ВОДОРОДА, ПОЛУЧАЕМОГО ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ

**Вступление.** На сегодняшний день одной из важнейших мировых проблем является нехватка энерго-ресурсов, что приводит к дефициту энергии. Существующие методы производства энергии и высокие темпы роста ее потребления приводят к разрушению окружающей среды. Поэтому одной из главных задач является переход к новым источникам энергии и возможность иметь "чистую энергетику". С этой целью разрабатывается технология использования топливных элементов (ТЭ), которые представляют собой эффективный, надежный, долговечный и экологически чистый источник энергии [1]. Одна из проблем при работе ТЭ – это получение исходных ресурсов для их работы. Для ее решения предлагается использовать технологию подземной газификации угля с целью получения топлива для работы ТЭ.

**Цель работы:** проанализировать характеристики ТЭ и выбрать тип ТЭ, позволяющий использовать в качестве исходного сырья газы, полученные при газификации угля.

**Основная часть.** Рассмотрим принцип действия топливных элементов на примере типа *SOFC* [1] (см. рис. 1). Элемент состоит из двух электродов, разделенных электролитом, системы подвода топлива ( $H_2$ ) на один электрод и окислителя ( $O_2$ ) – на другой, системы для удаления продуктов реакции. При протекании в электролите реакции синтеза возникает ЭДС. Внешней электрической цепью топливный элемент соединен с нагрузкой, которая потребляет вырабатываемую электроэнергию.

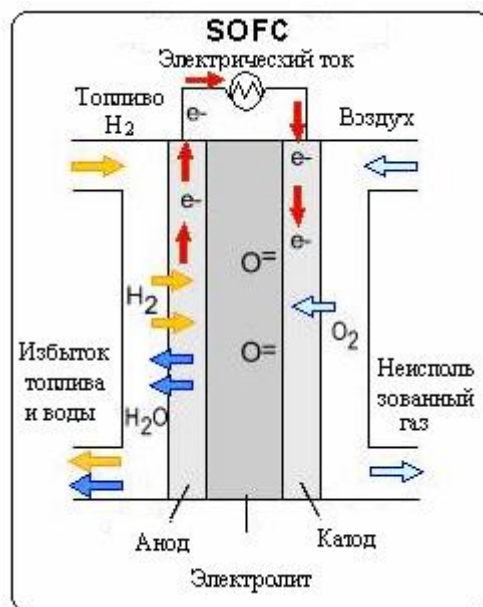


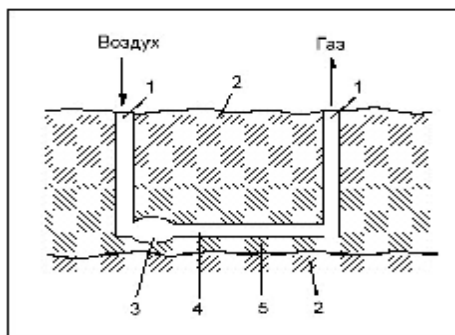
Рис. 1. Принцип действия топливного элемента SOFC

В отличие от обычных батарей топливные элементы не аккумулируют электрическую энергию, а преобразуют в нее часть энергии топлива, поступающего от внешнего источника. В процессе работы химический состав топливного элемента не изменяется, т.е. он не нуждается в перезарядке. При использовании чистого водорода в качестве топлива продуктами реакции, помимо электрической энергии, являются тепло и вода (или водяной пар), т.е. в атмосферу не выбрасываются газы, вызывающие загрязнение окружающей среды. В связи с высокой химической активностью водорода процесс его получения представляет сложность и ограничивает развитие технологии ТЭ.

Украина обладает ограниченными запасами нефти и газа, которых при современном уровне добычи хватит на 25 – 30 лет. Основным энергетическим ресурсом Украины является уголь, запасы которого не менее 300 млрд т, и его добыча может продлиться несколько столетий. Поэтому уголь должен рассматриваться не только как энергетическое топливо, но и как сырье для получения водорода. Поэтому предлагается использовать процесс газификации угля для получения водорода в качестве топлива для работы топливных элементов.

Сущность технологии подземной газификации угля [2] заключается в бурении с поверхности земли скважин до угольного пласта, последующем розжиге пласта и обеспечении условий для превращения угля непо-

средственно в недрах в горючий газ и выдаче произведенного газа по скважинам на земную поверхность (см. рис. 2).



**Рис. 2. Схема подземной газификации угля:**

1 – вертикальные скважины; 2 – порода; 3 – очаг горения;  
4 – горизонтальный штрек; 5 – угольный пласт

В результате подземной газификации угля с использованием парокислородного дутья получаем состав газов, %: CO – 35,0; H<sub>2</sub> – 50,0; CH<sub>4</sub> – 7,5; C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> – 1,2; O<sub>2</sub> – 0,3; N<sub>2</sub> – 5,0. По данным специалистов [2] при подземной газификации угля с помощью мембранных водородных установок можно концентрировать водород в сбросных, остаточных, топливных и других газах до 99,5 % при продуктивном потоке до 50000 нм<sup>3</sup>/ч (см. табл. 1).

Таблица 1

**Параметры водорода мембранных установок**

Параметры водорода на выходе из установки			Температура окружающей среды во время работы, °С
Чистота, %	Производительность*, нм <sup>3</sup> /ч	Давление, ати	
90 – 99,5	До 50000	До 110	– 45...+ 45

\* Производительность приведена к нормальным условиям (t=20 °С, P=1 атм).

Значительное преимущество мембранных водородных установок (см. рис. 3) заключается в возможности работы при различных давлениях разделяемого газа. Кроме того, на мембранных установках, в отличие от адсорбционных и криогенных систем, легко осуществляется регулирование чистоты получаемого водорода, что позволяет подобрать для установки наиболее оптимальный режим работы. Водородные установки на основе мембранного разделения не содержат изнашиваемых узлов, по этой причине они практически не требуют обслуживания. Полное отсутствие движущихся деталей в составе установок также является большим достоинством [4]. Благодаря этому стало возможным производить исключительно надежное и неприхотливое в эксплуатации оборудование. При этом установки полностью автоматизированы, обладают отличными техническими характеристиками и очень компактны. Эксплуатировать мембранные водородные установки может персонал без специальной подготовки: поддержка и контроль всех рабочих параметров осуществляется электроникой. Срок службы водородных мембран составляет от 120 до 180 тыс. часов непрерывной работы.



**Рис. 3. Общий вид мембранной водородной установки**

Существуют различные виды ТЭ [4], которые выдвигают определенные требования к топливу и характеру его применения.

Были изучены характеристики ТЭ, их анализ позволил определить, какой тип ТЭ целесообразно использовать совместно с газификацией (см. табл. 2). Наиболее подходящим типом ТЭ является *SOFC* (твердоокисные топливные элементы) с номинальной мощностью 5 МВт. А поскольку элементы этого типа не требуют высокой чистоты водородного топлива, то могут использовать газы из угля. Дополнительное преимущество элементов этого типа – отсутствие драгоценных металлов в катализаторе и, как следствие, невысокая стоимость.

Таблица 2

### Основные характеристики топливных элементов

Тип ТЭ	Рабочая температура, °С	КПД, %	Номинальная мощность, кВт	Требования к топливу
<i>PEMFC</i> с протоно-обменной мембраной	60 – 160	50 – 70	1 – 100	Высокие требования к качеству топлива, поскольку загрязненное топливо может вывести из строя мембрану, катализатор-платина
<i>PAFC</i> на основе ортофосфорной кислоты	150 – 200	70 – 80	200	Терпимы к примесям в ископаемых видах топлива, катализатор – платина
<i>MCFC</i> на основе расплавленного карбоната	600 – 700	70 – 85	250	Не склонен к окиси углерода и двуокиси углерода, устойчив к примесям топлива, не требует драгоценных металлов катализатора
<i>SOFC</i> твердооксидные топливные элементы	700 – 1000	80 – 85	250 – 5000	Не отравляются угарным газом (CO), который может быть использован в качестве топлива. Позволяют использовать газы из угля, не требуют драгоценных металлов катализатора. Допускают на несколько порядков больше серы, чем другие типы клеток

Режим работы топливных элементов типа *SOFC*, с высокой температурой и высоким давлением, позволит создать гибридные установки [5], в которых выбросы топливных элементов будут вращать газовые турбины, используемые для выработки электрической энергии.

Топливные элементы, генерирующие электроэнергию, могут использоваться как автономные источники тепло- и электроснабжения зданий, двигателей транспортных средств и т. д.

**Выводы.** Предложено использовать технологию подземной газификации угля с целью получения водорода для работы топливных элементов. При исследовании было установлено, что наиболее подходящий для совместной работы с технологией подземной газификации угля является ТЭ типа *SOFC*.

### Список литературы

1. Табунщиков Ю.А. Энергоснабжение высотного здания с использованием топливных элементов "Авок" [Текст]/ Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач, Н.В. Шилкин // Энергосбережение. – 2003. – № 3. – С.44.
2. Энергетическая безопасность человечества в XXI веке [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://mikrasna.narod.ru/russian/energy\\_2.htm](http://mikrasna.narod.ru/russian/energy_2.htm)
3. Грасис. Газоразделительные системы. Мембранные водородные установки [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.grasys.ru/products/gas/hydrogen/membrane/>
4. U.S. Department of energy. Energy efficiency and renewable energy. Fuel cells [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/fuelcells/fc\\_types.html](http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/fuelcells/fc_types.html)
5. Бродач М.М. Использование топливных элементов для энергоснабжения зданий "Авок" [Текст]/ М.М. Бродач, Н.В. Шилкин. // Энергосбережение. Часть 1. – 2004. – № 2. – С.52 – 61.

Рекомендовано до друку проф. Випанасенко С.І.