

УДК 620.98-62-622

DOI 10.34755/IROK.2022.96.53.039

*Орлов А.А., студент  
Нестеренко Г.А., кандидат технических наук, доцент  
Нестеренко И.С., старший преподаватель  
кафедра «Гидромеханика и транспортные машины»  
ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет»  
Россия, Омск*

## **Обзор перспектив водородной энергетики**

### **Review of prospects for hydrogen energy**

**Аннотация:** в статье рассматриваются перспективные виды построения водородной энергетической системы, обозначены основные разрешаемые ей проблемы. Рассмотрены основные методы генерации электроэнергии на текущий момент и наиболее перспективных вида в рамках концепции водородной энергетики. Обзорно обозначены основные технические и технологические проблемы и возможные направления их решения. Рассмотрены обзорно логистические проблемы водородного топлива.

**Ключевые слова:** водород, топливный элемент, водородная энергетика, водородная ячейка.

**Annotation:** The article discusses promising types of building a hydrogen energy system, identifies the main problems it can solve. The main methods of generating electricity at the moment and the most promising types within the framework of the concept of hydrogen energy are considered. The main technical and technological problems and possible directions for their solution are outlined. Review and logistic problems of hydrogen fuel are considered.

**Key words:** hydrogen, fuel cell, hydrogen energy, hydrogen cell.

#### **Введение**

В связи с все возрастающим потреблением электроэнергии и увеличением негативного влияния на экологическую обстановку встает вопрос о поиске новых способов генерации. В мировой практике принято делить источники энергии на возобновляемые и невозобновляемые. К возобновляемым источникам относятся ветряные электростанции, солнечные панели, гидроэлектростанции, геотермальные электростанции. Также успехи последних лет в области атомной промышленности позволяют предположить, что в относительно скором времени появятся новые практически неиссякаемые источники энергии. К невозобновляемым источникам энергии относят нефтяные, угольные и газовые электростанции. Стоит отметить, что потребление невозобновляемой энергии сильнее всего сказывается на экологической обстановке. В настоящее время многие государства движутся по пути снижения вредного воздействия на экологию путем полного перехода

на возобновляемые источники энергии [1]. В связи с этим достаточно перспективно выглядит вариант перехода от углеводородной энергетики к водородной.

Данный путь подразумевает создание инфраструктуры для выделения, транспортировки и потребления водорода взамен привычным углеводородам. В первую очередь создание пригодных для массового производства топливных элементов.

Водородный топливный элемент – источник тока, использующий энергию химической реакции диссоциации водорода и его последующего восстановления с кислородом с конечным продуктом реакции в виде воды и водяного пара без процесса горения. КПД топливного элемента на водороде может достигать 60-75%. В отличие от привычных аккумуляторов в топливных элементах реагирующие вещества подаются на анод и катод извне, и реакция протекает до тех пор, пока не прекратиться поток топлива. Электролитом могут выступать различные вещества, обладающие способностью проводить протоны. В твердооксидных топливных элементах (ТОТЭ) это, как правило, оксид циркония. В топливных элементах с протонообменной мембраной (ПОМТЭ) это полимерные мембраны по типу Nafion. Также существуют элементы с расплавами электролита, например карбоната, фосфорной кислоты, или щелочи.

#### **Перспективные виды топливных элементов**

Уже существующие технологии позволяют использовать ТОТЭ для обеспечения тепло- и электроэнергией удаленных потребителей [2] и для промышленной генерации. Ключевые особенности ТОТЭ такие как высокий ресурс работы, высокий КПД (до 70%), высокая вырабатываемая мощность, относительная простота, невосприимчивость к качеству топлива делают этот вид топливных элементов идеальным для промышленной генерации электроэнергии. В то же время их недостатки, такие как высокая рабочая температура, невозможность быстро подстраиваться под нагрузку, нивелируются. Существуют проекты по созданию гибридных силовых установок включающих в свой состав ТОТЭ, паровые турбины, отопительное оборудование. КПД такой установки может приближаться к 80% за счет более полного использования энергии химической реакции: как электрической для непосредственной генерации, так и тепловой для отопления и дополнительной генерации посредством паротурбинного агрегата.

Одним из важнейших преимуществ ТОТЭ является его нечувствительность к низкокачественному топливу. За счет высоких температур (600-1000 градусов Цельсия) элементу не требуется предварительная очистка поступающего топлива, что позволяет работать на топливе, полученном методом газификации угля и другими «грязными» способами. При рабочей температуре выше 700 градусов Цельсия нет необходимости отчищать поступающее топливо от серы. Помимо непосредственно водорода ТОТЭ может работать на различных видах топлива: метане, пропане, бутане, биогазе. Даже в случае работы на углеводородном топливе КПД процесса позволяет получить более чистую

энергию с меньшими выбросами оксидов углерода на единицу выработки. Все это в совокупности с относительно хорошо отработанной технологией и обширной теоретической базой, делает этот вид топливных элементов идеальным для начала перехода к водородной энергетике.

### **Топливные элементы для транспортной инфраструктуры**

Для применения на транспортных средствах хорошо подходят топливные элементы с протоннообменной мембраной (ПОМТЭ). Они имеют относительно низкую рабочую температуру (до 100 градусов Цельсия), КПД до 60% и способны относительно быстро подстраиваться под нагрузку. Малый вес и габариты позволяют монтировать такие ячейки на транспортные средства, в том числе и гражданского назначения. В связке с буферным аккумулятором и рекуперативной системой торможения такой топливный элемент позволит обеспечить запас хода сопоставимый с современными автомобилями с ДВС, что особенно актуально для коммерческого транспорта дальних перевозок – шоссейных седельных тягачей. В перспективе нет технических трудностей для использования таких элементов в авиации и морском и железнодорожном транспорте.

Главной проблемой, как и в случае со стационарными установками остается способ хранения водорода непосредственно на транспортном средстве. Тяжелый резервуар значительно снижает динамические характеристики и усложняет управление. В случае с ПОМТЭ возникает еще одна проблема – чувствительность к качеству топлива. Существующие образцы используют, в основном, платиновые катализаторы, которые подвержены отравлению из-за примесей углеродсодержащих соединений, присутствующих в водороде. По этой же причине использование в данном типе элементов углеводородов в качестве топлива нецелесообразно.

В настоящее время идет активное совершенствование конструкции ПОМТЭ с целью замены дорогостоящей платины на более пригодный для массового производства аналог [3,4]. Также идут работы по поиску более совершенной протонообменной мембраны [5], материала электродов [6] и в целом по совершенствованию конструкции данного типа элементов.

### **Получение и транспортировка водородного топлива**

Существующие технологии позволяют получать сравнительно недорогой газообразный водород низкой чистоты путем газификации угля. Наиболее распространенная технология – конверсия метана водяным паром и каталитическое окисление кислородом. Перспективной является технология пиролиза промышленных и бытовых отходов, разработанная курчатовским институтом [7]. Установка позволяет получать до 25000 т/год газообразного водорода. При этом установка может работать по замкнутому циклу  $\text{CO}_2$  что является важным преимуществом в борьбе за экологию. Метод электролиза пока что позволяет получить самый чистый водород, но по самой высокой цене за единицу массы. В дальней перспективе возможно применение биотехнологий, например получение водорода из водорослей. Современные методы очистки позволяют получать водород чистотой до 99% методом адсорбции на цеолитах, что важно для использования в ПОМТЭ.

На сегодняшний день одной из основных проблем водородной энергетики является транспортировка и хранение водорода. Из-за своих физико-химических свойств предъявляются высокие требования к герметичности и прочности емкостей (актуально для водорода в несвязанном состоянии).

В несвязанном состоянии водород перевозиться и хранится в жидкой и газообразной форме. Газообразная форма требует поддержания высокого давления (около 20 МПа), что предъявляет требования по прочности к резервуарам [8], но имеет минимальные потери. Водород в жидкой форме требует поддержания низкой температуры в очень узком диапазоне (-253 до -259 градусов Цельсия). К тому же потери жидкого водорода из резервуара выше, а масса различается незначительно. В целом перевозка в жидком состоянии более выгодна для крупных потребителей – электростанций, и промышленных предприятий. В газообразном для заправочных станций, либо домашних хозяйств.

Транспортировка в связанном состоянии оправдана, когда носитель водорода, например гидрид металла, будет многократным, что позволит использовать его многократно. В таком виде водород можно хранить в больших объемах, не опасаясь за потери. В случае же повреждения резервуара не будет происходить взрыва. Однако при таком виде транспортировки снижается масса перевозимого водорода.

#### **Заключение и выводы**

Необходимость перехода к водородной энергетике обусловлена серьезными экономическими и экологическими факторами. В первую очередь становится все более очевидно, что приближается новый энергетический кризис, связанный с существующими энергоносителями такими как нефть и газ. Также очевидно негативное влияние на экологическую обстановку текущей энергетической концепции – это относится как к транспортному, так и к энергетическому сектору. Современная промышленность имеет все необходимые базовые технологии чтобы начать переход. Несомненно, это займет не одно десятилетие и потребует решения многих инженерных, научных, технологических и логистических задач. Однако переход на возобновляемые источники позволит решить многие накопившиеся проблемы и, в теории, может избавить человечество от энергетических кризисов.

#### **Библиографический список**

1. План мероприятий («дорожная карта») по развитию водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года
2. Веселов Леонид Евгеньевич, Крюков Евгений Валерьевич, Соснина Елена Николаевна, Шашкин Антон Павлович О применении энергоустановок на основе твердооксидных топливных элементов // Вестник НГИЭИ. 2015. №4 (47). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-primenenii-energoustanovok-na-osnove-tverdooksidnyh-toplivnyh-elementov> (дата обращения: 16.03.2022)
3. Электрокаталитические свойства бинарных систем на основе платины и палладия в реакции окисления водорода с примесями CO / М. Р.

- Тарасевич, В. А. Богдановская, Б. М. Графов [и др.] // Электрохимия. – 2005. – Т. 41. – № 7. – С. 840-851.
4. Разработка и исследования наноструктурных анодных электрокатализаторов на основе палладия для водородных топливных элементов с твердым полимерным электролитом / С. А. Григорьев, Е. К. Лютикова, Е. Г. Притуленко [и др.] // Электрохимия. – 2006. – Т. 42. – № 11. – С. 1393-1396.
  5. Влияние содержания цеолита на протонную проводимость и технические характеристики мембран на основе сшитого поливинилового спирта / А. Н. Чеснокова, Т. Д. Жамсаранжапова, С. А. Закарчевский [и др.] // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2020. – Т. 10. – № 2(33). – С. 360-367. – DOI 10.21285/2227-2925-2020-10-2-360-367.
  6. Влияние метана и двуокиси углерода на работу ферментного электрода на основе гидрогеназы / Л. А. Кошкарлова, О. Г. Воронин, С. М. Абрамов [и др.] // Биотехнология. – 2015. – Т. 31. – № 6. – С. 86-90.
  7. Производство водорода при плазменной переработке отходов / А. В. Артемов, А. В. Переславцев, С. А. Воцинин [и др.] // Русский инженер. – 2021. – № 3(72). – С. 40-42.
  8. Семенова И.В., Флорианович Г.М., Хорошилов А.В. Коррозия и защита от коррозии - Москва: Физматлит, 2002. - С.20-59.