Объединение независимых экспертов в области минеральных ресурсов, металлургии и химической промышленности

ИНФОМАЙН
исследовательская группа
www.infomine.ru

Обзор рынка топливных элементов для водородной энергетики в России и мире

Москва
август, 2020

Демонстрационная версия

С условиями приобретения полной версии отчета можно ознакомиться на странице сайта по адресу: http://www.infomine.ru/research/32/626

Общее количество страниц: 80 стр.
Стоимость отчета – 60 000 рублей

Этот отчет был подготовлен экспертами ООО «ИГ «Инфомайн» исключительно в целях информации. Содержащаяся в настоящем отчете информация была получена из источников, которые, по мнению экспертов Инфомайн, являются надежными, однако Инфомайн не гарантирует точности и полноты информации для любых целей. Инфомайн приложил все возможные усилия, чтобы проверить достоверность имеющихся сведений, показателей и информации, содержащихся в исследовании, однако клиенту следует учитывать наличие неустранимых сложностей в процессе получения информации, зачастую касающейся непрозрачных и закрытых коммерческих операций на рынке. Исследование может содержать данные и информацию, которые основаны на различных предположениях, некоторые из которых могут быть неточными или неполными в силу наличия изменяющихся и неопределенных событий и факторов. Кроме того, в ряде случаев из-за погрешности при округлении, различий в определениях, терминах и их толкованиях, а также использования большого числа источников, данные могут показаться противоречивыми. Инфомайн предпринял все меры для того, чтобы не допустить очевидных несоответствий, но некоторые из них могут сохраняться.
Информация, представленная в этом отчете, не должна быть истолкована, прямо или косвенно, как информация, содержащая рекомендации по инвестициям. Все мнения и оценки, содержащиеся в настоящем материале, отражают мнение авторов на день публикации и подлежат изменению без предупреждения. Инфомайн не проводит какую-либо последующую работу по обновлению, дополнению и изменению содержания исследования и проверке точности данных, содержащихся в нем. Инфомайн не несет ответственность за какие-либо убытки или ущерб, возникшие в результате использования любой третьей стороной информации, содержащейся в настоящем отчете, включая опубликованные мнения или заключения, а также последствия, вызванные неполнотой представленной информации.
Этот документ или любая его часть не может распространяться без письменного разрешения Инфомайн либо тиражироваться любыми способами. Заказчик имеет право проводить аудит (экспертизу) исследований рынков, полученных от Исполнителя только в компаниях, имеющих членство ассоциации промышленных маркетологов ПРОММАР (http://www.prommar.ru) или силами экспертно-сертификационного совета ассоциации ПРОММАР. В других случаях отправка исследований на аудит или экспертизу третьим лицам считается нарушением авторских прав.

Copyright © ООО «ИГ «Инфомайн»

Содержание

Аннотация **7**

Введение **9**

1. Классификация топливных элементов **11**
1.1. Принцип работы топливных элементов **11**
1.2. Техническая классификация ТЭ **14**
1.3. Коммерческая классификация ТЭ **19**
Стационарные системы *19*
Электростанции *19*
Домашние электрогенераторы *20*
Транспортная отрасль *21*
Портативные системы электропитания *23*
Микроскопические ТЭ *23*
1.4. Проблемы ТЭ **25**
Проблемы водородной инфраструктуры *25*
Физико-химические проблемы топливных элементов *27*

2. Стандарты топливных элементов **30**
Методы испытаний топливных элементов *31*
Требования к водороду *33*

3. Производство топливных элементов в мире в 2014-2019 гг. **36**

4. Производство топливных элементов в России в 2014-2019 гг. **39**
ООО «Завод Электрохимических Преобразователей» (Новоуральск, Свердловская обл.) 40
ООО «НПО Центротех» (Новоуральск, Свердловская обл.) 42
ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт судовой электротехники и технологии» (Санкт-Петербург) 44
ФГУП «Центральный институт авиационного моторостроения им. П. И. Баранова» (Москва) 50
ГНЦ ФГУП «Центр Келдыша» (Москва) 53
ООО «Уральская производственная компания» (Екатеринбург) 54
ООО «БИ ЭМ Пауэр» (Москва) 55
ООО «Эй Ти Энерджи» (Москва) 58
АО «Группа компаний «Инэнерджи» (Москва) 60
ООО «Хэндипауэр» (Москва) 64
АО «Роснано» (Москва) 65
АО «Русатом Оверсиз» (Москва) 66
Производители компонентов ТЭ в 2014-2019 гг. 67
АО «Чепецкий механический завод» (Глазов) *67*
ЗАО «НеоХим» (Москва) *68*

ООО «Прометей РД» (Ростов-на-Дону) 69
АО «Пластполимер» (Санкт-Петербург)..... 70

5. Экспортно-импортные операции в 2014-2019 гг. 71

6. Потребление топливных элементов в России в 2014-2019 гг. 73

7. Прогноз потребления топливных элементов в России на 2020-2035 гг. 75

Приложение 1: Ключевые термины водородной энергетики 78
Приложение 2: Контактная информация предприятий-производителей ТЭ и их компонентов..... 79
Приложение 3. Список использованных источников..... 80

Список таблиц

Таблица 1: Основные типы топливных элементов
Таблица 2: Сравнение основных типов топливных элементов
Таблица 3: Максимальное содержание примесей в водородном топливе для топливных элементов с протонообменной мембраной дорожных транспортных средств, мкмоль/моль
Таблица 4: Общемировые поставки ТЭ на рынок в 2014-2019 гг., тыс. ед., МВт
Таблица 5: Структура потребления ТЭ по направлениям использования в 2014-2019 гг. по установленной мощности, МВт
Таблица 6: Распределение мирового потребления ТЭ по физико- химическим видам устройств в 2014-2019 гг., МВт
Таблица 7: Сравнительные характеристики ЭХГ фирмы Siemens для подводной лодки и ЭХГ разработки УЭХК для подводного аппарата
Таблица 8: Характеристики 2-х разновидностей системы «Гамма»
Таблица 9: Предельно допустимое содержание примесей в диоксиде циркония, стабилизированном оксидом иттрия, производства ЧМЗ (Глазов)
Таблица 10: Характеристики катализаторов для ТЭ производства ООО «Прометей РД» (Ростов-на-Дону)
Таблица 11: Импорт топливных элементов в 2014-2019 гг., ед., тыс. $, кг
Таблица 12: Закупки топливных элементов на открытых торгах в 2014-2019 гг., млн руб.

Список рисунков

Рисунок 1: Схема работы топливного элемента
Рисунок 2: Внешний вид энергоблока SureSource 1500 мощностью 1,4 МВт от компании FuelCell Energy (США)
Рисунок 3: Поезд Coradia iLint (Германия)
Рисунок 4: Региональная структура потребления ТЭ в 2014-2019 гг. по количеству, %
Рисунок 5: Региональная структура потребления ТЭ в 2014-2019 гг. по мощности, %
Рисунок 6: Схема компоновки КЭУ «Кристалл-27» мощностью 300 кВт
Рисунок 7: Береговой комплекс заправки водородом и кислородом КЭУ «Кристалл-27»
Рисунок 8: История создания образцов энергоустановок на топливных элементах ЦНИИ СЭТ в 1991-2017 гг.
Рисунок 9: Резервная энергоустановка «Кристалл» на твердополимерных водородно-кислородных ТЭ
Рисунок 10: Электротеплогенератор «Этг» мощностью 5 кВт
Рисунок 11: Военный автомобиль «УАЗ» с электрическим двигателем и ТПТЭ
Рисунок 12: Макетный образец водородного трамвая
Рисунок 13: Внешний вид БЛА «ЦИАМ-Рекорд»
Рисунок 14: Тетракоптер на ТЭ производства ООО «БИ ЭМ Пауэр» (Москва)
Рисунок 15: Водородный гусеничный мини-вездеход ООО «Сноубайк» (Самара)
Рисунок 16: Дрон ООО «ЮВЛ Роботикс» для инвентаризации складов
Рисунок 17: Пакет ТЭ производства AT Energy (Москва)
Рисунок 18: Малогабаритная установка «Топаз» мощностью до 30 Вт
Рисунок 19: Система «Гамма Трейлер» мощностью до 1 кВт
Рисунок 20: Система резервного электропитания «Астра» мощностью до 10 кВт
Рисунок 21: Зарядное устройство для смартфонов мощностью 5 Вт разработки ООО «Хэндипауэр» (Москва)
Рисунок 22: Водородная Toyota Mirai в России

Аннотация

Настоящий обзор является 1-м изданием исследования рынка **топливных элементов в России и мире**.

Цель исследования – анализ российского рынка топливных элементов для водородной энергетики.

Мониторинг данного рынка ведется с 2014 г.

Объектом исследования являются топливные элементы разных видов и конструкций, их производство в России и мире, а также экспортно-импортные операции и потребление в 2014-2019 гг.

Хронологические рамки исследования: 2014-2019 гг., прогноз – 2020-2035 гг.

География исследования: Российская Федерация – комплексный подробный анализ, весь мир – краткая характеристика.

Данная работа является **кабинетным исследованием**. В качестве **источников информации** использовались данные Росстата, Минприроды, Федеральной таможенной службы РФ, Минэнерго РФ, научно-технической литературы, отраслевой, региональной и международной прессы, а также интернет-сайтов предприятий − производителей и потребителей топливных элементов.

Отчет состоит из введения и **7** глав, содержит **80** страниц, в том числе **12** таблиц и **22** рисунка, **3** приложения.

Первая глава посвящена классификации топливных элементов, в частности рассмотрена техническая и коммерческая классификация этих устройств.

Во **второй главе** отчета описаны российские стандарты на топливные элементы (они совместимы с международными), в том числе методы испытаний и требования к водороду как основному топливу.

Третья глава посвящена производству топливных элементов в мире в 2014-2019 гг.; дана региональная и коммерческая структура производства.

В **четвёртой главе** проведено исследование состояния производства топливных элементов в России в 2014-2019 гг.

В **пятой главе** рассматриваются внешнеторговые операции с топливными элементами в России в 2014-2019 гг.

В **шестой главе** приведены сведения по потреблению топливных элементов в России в 2014-2019 гг.

В **седьмой главе** дан прогноз потребления топливных элементов в России на 2020-2035 гг.

В **приложениях** приведены ключевые термины водородной энергетики, контактная информация производителей и список используемой литературы.

Особенностью отчёта, отличающего его от конкурентов, является анализ компетенций и возможностей российских предприятий по производству топливных элементов и их компонентов.

Целевая аудитория исследования:

- участники рынка топливных элементов и их компонентов – производители, потребители, трейдеры;
- потенциальные инвесторы.

Предлагаемое исследование претендует на роль **справочного пособия** для служб маркетинга и специалистов, принимающих управленческие решения, работающих на рынке топливных элементов и их компонентов.

Введение

В последнее десятилетие наблюдается активное развитие идей водородной энергетики. Драйверами развития водородной энергетики выступают следующие три фактора, связанные с климатической повесткой и возможным глобальным энергетическим переходом:

- мощное средство декарбонизации экономики (энергетики, транспорта, промышленности, ЖКХ), поскольку использование водорода в качестве энергоносителя не приводит к выбросам углекислого газа;
- одно из решений по накоплению энергии, необходимым в связи с широким распространением использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и ростом их доли в энергобалансах многих стран;
- рассматривается в качестве драйвера экономического роста, необходимого для выхода из текущего экономического кризиса, усиленного пандемией коронавируса.

Лидерами по водородным проектам являются промышленные страны без собственных энергоресурсов (Япония, Евросоюз). В частности, в Германии сооружается крупнейшая в мире установка по производству водорода методом электролиза и стартует эксперимент по частичному замещению водородом природного газа в отоплении жилья. В Нидерландах и Бельгии собираются протестировать речное судно на водородном топливе и создать для него систему заправки. В Австрии три ведущих концерна готовят сразу несколько совместных пилотных проектов, в том числе по использованию водорода вместо угля при производстве стали, а канцлер Себастьян Курц в ходе избирательной кампании выдвигает лозунг превращения своей страны в водородную державу №1.

Подавляющая часть водорода в настоящее время производится из ископаемого сырья, 75% мирового производства приходится на природный газ, почти весь остальной объем 23% – на уголь. На долю электролиза в настоящее время приходится 2% мирового производства водорода. С использованием электроэнергии ВИЭ производится менее 1% водорода. Более 95% мирового производства водорода приходится на традиционные отрасли, где производство водорода интегрировано в технологический процесс (основные потребители – нефтегазохимическая и химическая отрасли).

Глобальный рынок водорода как энергоносителя в настоящее время отсутствует.

Аналитический Центр ТЭК РЭА Минэнерго РФ изучил стратегии и дорожные карты стран по развитию водородной энергетики, после чего пришёл к выводу, что мировой спрос на водород в качестве энергоносителя прогнозируется на уровне 8-22 млн т к 2030 году и 40-220 млн т к 2050 году в базовом и оптимистичном сценариях соответственно.

Крупные российские компании уже высказались о своих возможностях поддержать на коммерческой основе западные водородные инициативы. Так, поставку водорода в смеси с трубопроводным метаном готов осуществлять

Газпром. Планируется, что Германия подготовит трубопроводы и арматуру к 2030 г. В новом проекте будут задействованы оба «Северных потока», а также их сухопутные нити Eugal и Opal. Кроме того, РФ может строить электролизные предприятия на своей территории для обеспечения водородом европейского топливного рынка. В частности, на Кольской АЭС Росатома могут реализовать проект инфраструктуры для отработки технологий водородной энергетики.

Популярным способом повышения эффективности получения электрической энергии из водорода являются в ряде стран топливные элементы (ТЭ) – устройства прямого преобразования химической энергии в электрическую. Эффективность современных ТЭ достигает 75%, показана практическая достижимость и 80% значений, что уже на текущем уровне развития технологии позволяет создавать энергетические установки с $КПД_{эл}$ до 65%.

Электрогенерирующие установки с топливными элементами пока дороги по сравнению с традиционными техническими решениями, например дизель-генераторами. Однако электрохимические технологии обладают большим потенциалом технического совершенствования и снижения стоимости. В ряде стран (Япония, Китай, Ю. Корея, США, Евросоюз) уже производится широкий спектр массовых изделий на основе ТЭ мощностью от 1 Вт до 2 МВт. В мире отгружено потребителям в 2012-2019 гг. всего около 500 тыс. ед. ТЭ разного вида и назначения общей мощностью 3 ГВт.

Россия пока специально не стимулирует проекты в массовом освоении ТЭ, ограничиваясь концептуальными проработками. Так, 29 августа 2019 г. в Минэнерго прошло совещание, посвященное использованию водорода в качестве источника топлива в России, на котором собрались представители научных центров и компаний – «Газпрома», «Ростеха», «Росатома», «Сибура». Рабочая группа по развитию водородной энергетики образована приказом Минэнерго России от 18.11.2019 № 1231. Её основными задачами являются выработка системных мер поддержки водородной энергетики, экспертиза пилотных проектов в области водородной энергетики, устранение регуляторных барьеров для формирования рынка водородной энергетики, а также формирование плана мероприятий («дорожной карты») развития водородной энергетики в России.

Целью настоящего обзора является обобщение опыта производства и применения ТЭ в мире и России за 2014-2019 гг., а также прогноз на 2020-2035 гг.

1. Классификация топливных элементов

Топливный элемент – это устройство, которое преобразует химическую энергию топлива в электрическую энергию и тепло. Реагентами являются топливо (водород и водородосодержащие газы, спирты, углеводороды) и окислитель. В отличие от аккумуляторов реагенты топливных элементов хранятся вне устройства. Это позволяет осуществлять непрерывное и продолжительное производство электроэнергии. Когда возникает потребность в электроэнергии, топливо и окислитель подают в топливные элемент и одновременно отводят продукты реакции – воду и тепло.

Топливные элементы обладают рядом преимуществ. КПД топливных элементов выше, чем у двигателей внутреннего сгорания, так как преобразование химической энергии в электрическую происходит напрямую, минуя тепловые и механические стадии. Большинство ТЭ не имеют подвижных частей и работают практически бесшумно, поэтому могут быть установлены внутри зданий (школ, больниц) или на крышах. В случае, когда топливом является чистый водород, продуктом реакции ТЭ является вода. Не происходит выбросов CO_2 и загрязнения окружающей среды продуктами горения. Более того, можно осуществлять производство водорода электролизом воды за счет других возобновляемых источников энергии. В отличие от аккумуляторов и батареек (химических источников тока), которые со временем истощаются, реакции в ТЭ не деградируют со временем и теоретически могут стабильно генерировать электричество.

Высокотемпературные ТЭ наряду с электричеством производят довольно большое количество теплоты, поэтому могут быть использованы помимо генерации электричества в качестве обогревающих элементов.

Время работы ТЭ выше, чем у батарей. Удвоение плотности энергии заключается в удвоении количества топлива без изменения размеров самого ТЭ. У топливных элементов отсутствует эффект памяти.

1.1. Принцип работы топливных элементов

Принцип работы топливных элементов был заложен в опытах Уильяма Гроува 1839 г. по электролизу воды. Было установлено, что диссоциация воды является обратимой, поэтому водород и кислород можно соединить с получением воды и электричества. В опыте Гроува два электрода размещались в камере, в которую подавались под давлением ограниченные порции чистого водорода и кислорода. В силу небольших объемов газа, а также благодаря химическим свойствам угольных электродов, в камере происходила медленная реакция с выделением тепла, воды и, самое главное, с образованием разности потенциалов между электродами.

Простейший топливный элемент состоит из специальной мембраны, используемой как электролит, по обе стороны которой нанесены порошкообразные электроды. Водород поступает на анод, а кислород (воздух) –

на катод. На каждом электроде происходят разные химические реакции. На аноде водород распадается на смесь протонов и электронов. В некоторых топливных элементах электроды окружены катализатором, обычно выполненным из платины или других благородных металлов, способствующих протеканию реакции диссоциации:

$H_2 \rightarrow 2H^+ + 4e^-$,

где H_2 – двухатомная молекула водорода (форма, в которой водород присутствует в виде газа); H^+ – ионизированный водород (протон); e^- – электрон.

С катодной стороны топливного элемента протоны (прошедшие через электролит) и электроны (которые прошли через внешнюю нагрузку) воссоединяются и вступают в реакцию с подаваемым на катод кислородом с образованием воды:

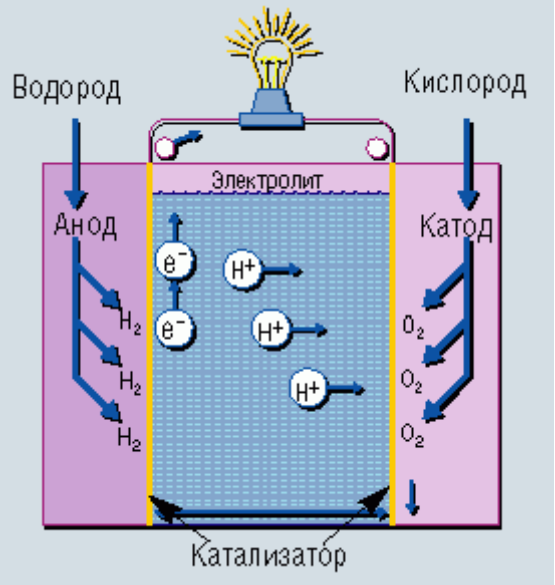
$4H^+ + 4e^- + O_2 \rightarrow 2H_2O$

Суммарная реакция в топливном элементе записывается так:

$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$

Работа топливного элемента основана на том, что электролит пропускает через себя протоны (по направлению к катоду), а электроны – нет. Электроны движутся к катоду по внешнему проводящему контуру. Это движение электронов и есть электрический ток, который может быть использован для приведения в действие внешнего устройства, подсоединенного к топливному элементу, например, лампочка (рисунок 1).

Рисунок 1: Схема работы топливного элемента



Источник: научно-техническая литература

В своей работе топливные элементы используют водородное топливо и кислород, который забирается из воздуха. Водород может подаваться непосредственно из некой ёмкости или путем выделения его из внешнего источника топлива (природного газа, бензина или метанола). В случае внешнего

источника его необходимо химически преобразовать, чтобы извлечь чистый водород.

Топливные элементы являются аналогами существующих аккумуляторов: в обоих случаях электрическая энергия получается из химической. Но есть и принципиальные отличия:

- ТЭ работают, пока топливо и окислитель поступают от внешнего источника (т.е. они не могут накапливать электрическую энергию);
- химический состав электролита в процессе работы не изменяется (топливный элемент не нуждается в перезарядке);
- ТЭ полностью независимы от электричества (аккумуляторы запасают энергию из электросети).

Каждый топливный элемент создаёт напряжение в 1 Вольт. Большее напряжение достигается последовательным их соединением. Увеличение мощности (тока) реализуется через параллельное соединение каскадов из последовательно соединенных топливных элементов.

У топливных элементов нет жёсткого ограничения на КПД, как у тепловых машин. Высокий КПД достигается благодаря прямому превращению энергии топлива в электроэнергию. В дизель-генераторных установках топливо сначала сжигается, полученный пар или газ вращает турбину или вал двигателя внутреннего сгорания, которые в свою очередь вращают электрический генератор. Результатом становится КПД максимум в 42%, обычно он составляет 35-38%. Более того, из-за множества звеньев, а также из-за термодинамических ограничений по максимальному КПД тепловых машин, существующий КПД вряд ли удастся поднять выше. У существующих топливных элементов КПД составляет 60-80%, при этом КПД почти не зависит от коэффициента загрузки.

1.2. Техническая классификация ТЭ

Топливные элементы классифицируются на 6 типов (таблица 1).

Таблица 1: Основные типы топливных элементов

Тип	Реакция на аноде	Электролит	Реакция на катоде	T, °C
ТЭ с протонно-обменной мембраной	$2\,H_2 \rightarrow 4\,H^+ + 4\,e^-$	Протонообменная мембрана*	$O_2 + 4\,H^+ + 4\,e^- \rightarrow 2\,H_2O$	80
Метанольный ТЭ	$2\,CH_3OH + 2\,H_2O \rightarrow 2\,CO_2 + 12\,H^+ + 12\,e^-$	Протонообменная мембрана*	$3\,O_2 + 12\,H^+ + 12\,e^- \rightarrow 6\,H_2O$	60
Щелочной ТЭ	$2\,H_2 + OH^- \rightarrow 2\,H_2O + 4\,e^-$	Раствор КОН	$O_2 + 2\,H_2O + 4\,e^- \rightarrow 4\,OH^-$	200
ТЭ на основе ортофосфорной кислоты	$2\,H_2 \rightarrow 4\,H^+ + 4\,e^-$	Раствор фосфорной кислоты	$O_2 + 4\,H^+ + 4\,e^- \rightarrow 2\,H_2O$	200
ТЭ на основе расплавленного карбоната	$2\,H_2 + 2\,CO_3^{2-} \rightarrow 2\,H_2O + 2\,CO_2 + 4\,e^-$	Расплавленный Li_2CO_3, Na_2CO_3	$O_2 + 2\,CO_2 + 4\,e^- \rightarrow 2\,CO_3^{2-}$	650
Твердотельный оксидный	$2\,H_2 + 2\,O_2^- \rightarrow 2\,H_2O + 4\,e^-$	ZrO_2 (Yt)	$O_2 + 4\,e^- \rightarrow 2\,O_2^-$	1000
Протонно-керамический	$2\,H_2 \rightarrow 4\,H^+ + 4\,e^-$	$La_{1-x}Sr_xScO_{3-\alpha}$	$O_2 + 4\,H^+ + 4\,e^- \rightarrow 2\,H_2O$	400-700

**например, Nafion, Aquion*

Источник: «Инфомайн» на основе монографии С.И. Бредихин, А.Э. Голодницкий, О.А. Дрожжин, С.Я. Истомин, В.П. Ковалевский, С.П. Филиппов// «Стационарные энергетические установки с топливными элементами: материалы, технологии, рынки». Монография. НТФ «Энергопрогресс» Корпорации «ЕЭЭК», М., 2017 г.

К низко температурным (рабочая температура до 100 °C) относятся метанольный ТЭ и ТЭ с полимерной протонобменной мембраной (ПОМТЭ), к среднетемпературным (рабочая температура 150-250 °C) – фосфорно-кислотные (ФКТЭ) и щелочные (ЩТЭ), к высокотемпературным (рабочая температура 500-900 °C) – расплавкарбонатные (РКТЭ), керамические твёрдооксидные (ТОТЭ) и, перспективная разновидность последних, протон-керамические (ПКТЭ). Наибольшее распространение получили ПОМТЭ и ТОТЭ.

Существенным компонентом ТЭ является электролит. При этом ТЭ, работающие при низких температурах, используют два основных типа мембран – пористые среды, пропитанные водным раствором щелочей, и полимерные протон проводящие мембраны. Несмотря на то, что именно щелочные ТЭ положили начало успешному использованию водородной энергетики в космосе, в настоящее время они не выдерживают конкуренции с твердополимерными ТЭ, доминирующими на мировом рынке. В качестве твердого электролита в твердополимерных ТЭ в подавляющем большинстве случаев используют перфторированные сульфакатионитные мембраны типа Nafion.