

# Перспективы и проблемы развития водородной энергетики и топливных элементов



**НОРИЛЬСКИЙ НИКЕЛЬ**

ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ  
ОТКРЫТОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО

## НАСТУПАЕТ ЭРА ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ (ВОДОРОДНОЙ ЭКОНОМИКИ)

Дальнейшее интенсивное развитие современной энергетики и транспорта ведет человечество к крупномасштабному энергетическому и экологическому кризису.

Стремительное сокращение запасов ископаемого топлива принуждает развитые страны принимать серьезные усилия по поиску альтернативных возобновляемых экологически чистых источников энергии.

Надежда на "мирный атом" пока не оправдывается, перспектива овладения термоядерной энергетикой и её использования в ближайшем будущем весьма призрачна.

Мир спасет водород – практически неиссякаемый возобновляемый источник энергии.

Водородная энергетика сформировалась как одно из направлений развития научно-технического прогресса более 30 лет назад. Работы по водородной энергетике во многих странах относятся к приоритетным направлениям социально-экономического развития и находят все большую поддержку со стороны как государства, так и частного бизнеса. Ведется активный поиск путей перевода большинства энергоемких отраслей промышленности, включая транспорт, на водородное топливо и электрохимические генераторы на основе использования топливных элементов (ТЭ)

Использование водорода в качестве основного энергоносителя приведет к созданию принципиально новой водородной экономики, станет научно-техническим прорывом, сравнимым по своим социально-экономическим последствиям с тем революционным воздействием на развитие цивилизации, которое оказали электричество, двигатель внутреннего сгорания, химия и нефтехимия, информатика и связь.

Около 1000 фирм, компаний, концернов, университетских лабораторий, государственных и научно-технических объединений Запада уже много лет усиленно работают в различных направлениях водородной энергетики.

Во всех промышленно-развитых странах утверждены национальные программы работ по водородной энергетике и топливным элементам, которые финансируются как правительствами этих стран, так и частными компаниями.

В работы по ТЭ и энергетическим установкам на их базе ежегодно инвестируется свыше 500 млн.долл. США.

Наиболее динамично развиваются эти работы в США, Канаде и Японии, где наряду с большим объемом НИОКР, ведутся активные работы по коммерциализации водородной энергетики. Создано большое количество энергетических установок на топливных элементах мощностью от единиц ватт до мегаватт, уже сейчас конкурентоспособных с аналогичными установками, основанными на традиционных технологиях сгорания углеводородного топлива.

С прогрессом в области разработки энергоустановок на основе ТЭ связывается надежда на решение проблемы обеспечения человечества возобновляемыми экологически чистыми энергоресурсами, а также возможность изменения и совершенствования системы энергоснабжения (электро- и теплоснабжения) различных объектов - от сотовых телефонов, компьютеров и автомобилей до жилых домов, крупных промышленных предприятий и в целом городов.

**СУММАРНАЯ МОЩНОСТЬ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ СТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМ НА ТЭ**  
**(кВт)**

Тип	США	Япония	Европа	Общее количество	%
PEMFC	450	250	670	1370	5
PAFC	13200	10000	1000	24200	75
MCFC	1250	1060	2860	5170	16
SOFC	500	15	850	1365	4
Общее количество	15400	11325	5380	32105	100
%	48	35	17	100	

**МИРОВОЙ РЫНОК ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ****(млн. долларов США)**

	1995	2000	2005	% ежегодный рост 2000/1995	% ежегодный рост 2005/2000
Мировой рынок ТЭ	1205	2440	8500	15,2	28,4
США	355	720	2500	15,2	28,3
Канада и Мексика	45	150	575	27,2	30,8
Западная Европа	310	600	2300	14,1	30,8
Япония	360	675	1950	13,4	23,6
Остальная Азия и Тихий океан	75	195	750	21,1	30,9
Остальной мир	60	100	425	10,8	33,6

## СОСТОЯНИЕ РАБОТ ПО ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ В РОССИИ

**Россия имеет уникальные достижения в области разработки ТЭ. Однако пока что свои возможности мы не используем в достаточной мере, обрекая себя не только на отставание в перспективной области энергетики, но в будущем ставим себя в зависимость от мировой экономической и политической конъюнктуры.**

Основные причины, препятствующие работам в России по ТЭ и водородной энергетике:

- отсутствие национальной программы по разработке и производству ТЭ и энергетических установок на их основе;
  - отсутствие целевого государственного финансирования фундаментальных и прикладных исследований и разработок в области ТЭ. (Ранее они финансировались в рамках ракетно-космических программ);
  - неразвитость и неготовность промышленной базы для производства ТЭ и энергетических установок на их базе;
  - неготовность частного бизнеса по –настоящему субсидировать фундаментальные и прикладные исследования;
  - отсутствие четкой и ясной государственной политики и реальной поддержки работ по экологически чистым ресурсо- и энергосберегающим технологиям.
-

В целях сокращения допущенного отставания в исследованиях и разработках по водородной энергетике и топливным элементам и осознавая исключительное значение водородной энергетики для экономики России, ОАО "ГМК "Норильский никель" и Российская академия наук договорились о совместных работах по развертыванию и финансированию наиболее важных фундаментальных, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по основным направлениям и элементам топливных элементов и энергетических устройств на их базе, предусмотрев в том числе:

- создание научно-технического, технологического и конструкторского задела по ключевым агрегатам, устройствам и системам водородной энергетики и ТЭ;
- формирование базовой кооперации академических институтов и промышленных предприятий по созданию систем и устройств водородной энергетики на основе ТЭ различных типов;
- отработку механизма финансирования работ по водородной энергетике и ТЭ с использованием частного капитала;
- изучение конъюнктуры рынка ТЭ и энергетических устройств на их базе;
- отбор наиболее привлекательных коммерческих (конкурентоспособных) проектов для освоения их серийного производства и продвижения на рынок;
- создание предприятий по производству ТЭ и энергетических установок на их основе;
- подготовку предложений по вариантам водородной инфраструктуры России и структуры автономной энергетики с использованием систем на базе ТЭ;



- формирование национальной программы России по водородной энергетике, создание руководящих и координирующих органов по ее реализации;
- подготовка предложений по формированию федеральной бюджетной политики финансирования работ по водородной экономике и ТЭ;
- разработка законодательной базы, нормативных документов, системы национальных стандартов, регламентов и требований к инфраструктуре водородной энергетики и ее ключевым элементам;
- пропаганда среди населения достоинств и преимуществ водородной энергетики, перехода страны к водородной экономике и др.

Предусматривается создать Совет по водородной энергетике и топливным элементам Российской академии наук, а также учредить всероссийский журнал по водородной энергетике.

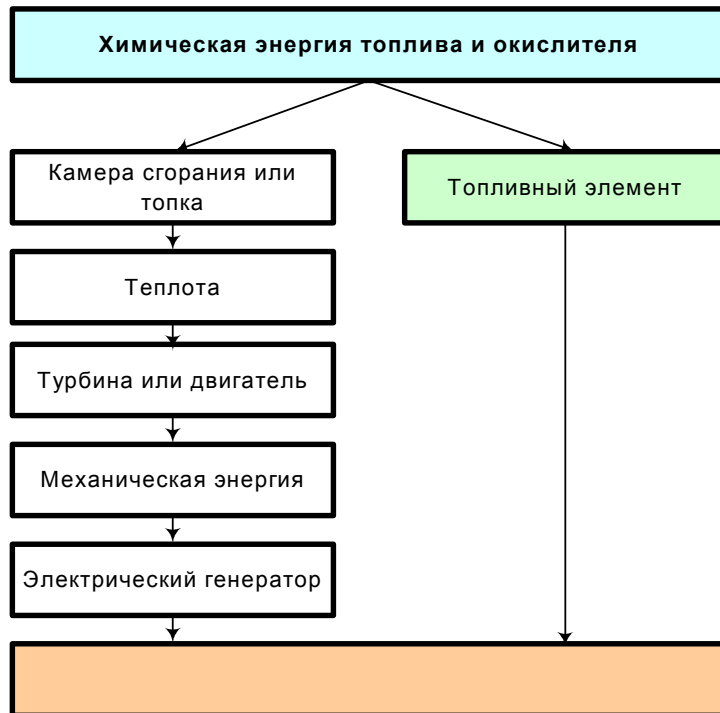
**Основные российские научно-исследовательские организации,  
участвующие в работах по водородной энергетике и топливным элементам**

1.	Институт катализа им.Г.К.Борескова Сибирского отделения РАН	<i>Твердо-оксидные ТЭ, катализаторы, топливные процессы – устройства риформинга углеводородных топлив</i>	г.Новосибирск
2.	Институт высокотемпературной электрохимии Уральского отделения РАН	<i>Высокотемпературные твердо-оксидные топливные элементы и устройства на их основе</i>	г.Екатеринбург
3.	Институт нефтехимического синтеза имени А.В.Топчиева РАН	<i>Производство и очистка водорода</i>	г.Москва
4.	Институт металлофизики и функциональных материалов имени Г.В.Курдюмова РАН	<i>Технология хранения водорода на базе металлгидридных систем и наноструктур (фуллеренов)</i>	г.Москва
5.	Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН	<i>Технология получения многослойных пористых кремниевых мембран для ТЭ и кремниевых каталитических подложек для риформинга углеводородного топлива и получения водорода</i>	г.Черноголовка, Московской обл.
6.	Институт элементоорганических соединений имени А.Н.Несмеянова РАН	<i>Исследование и разработка опытно-промышленных образцов высокотемпературных ТЭ на основе конденсатных полимеров</i>	г.Москва



7.	Институт машиноведения Уральского отделения РАН	<i>Интегрированные системы получения, аккумуляирования, хранения и снабжения водородом</i>	г.Екатеринбург
8.	ФГУП Уральский электрохимический комбинат	<i>Электрохимические генераторы на базе щелочных и протон-обменных ТЭ</i>	г.Новоуральск, Свердловской обл.
9.	Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский НИИ экспериментальной физики (ФГУП РФЯЦ – ВНИИЭФ)	<i>Энергетические установки на основе ТЭ с протон-обменными мембранами</i>	г.Саров, Нижегородской обл.
10.	Российский федеральный ядерный центр – Всероссийский НИИ технической физики имени Е.И.Забабахина (РФЯЦ – ВНИИТФ)	<i>Энергетические установки на основе твердо-оксидных ТЭ</i>	г.Снежинск, Челябинской обл
11.	Российский научный центр «Курчатовский институт»	<i>Производство, аккумуляирование, хранение и снабжение водородом. Твердо-полимерные ТЭ</i>	г.Москва
12.	Государственный научный центр РФ Физико-энергетический институт имени А.И.Лейпунского	<i>Твердо-оксидные ТЭ и энергетические устройства на их основе</i>	г.Обнинск
13.	ОАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им.С.П.Королева»	<i>Энергетические устройства на базе ТЭ для автотранспорта и бытовых нужд</i>	г.Королев, Московской обл.
14.	ОАО «Специальное конструкторское бюро котлостроения»	<i>Энергетические устройства на базе ТЭ</i>	г.Санкт-Петербург

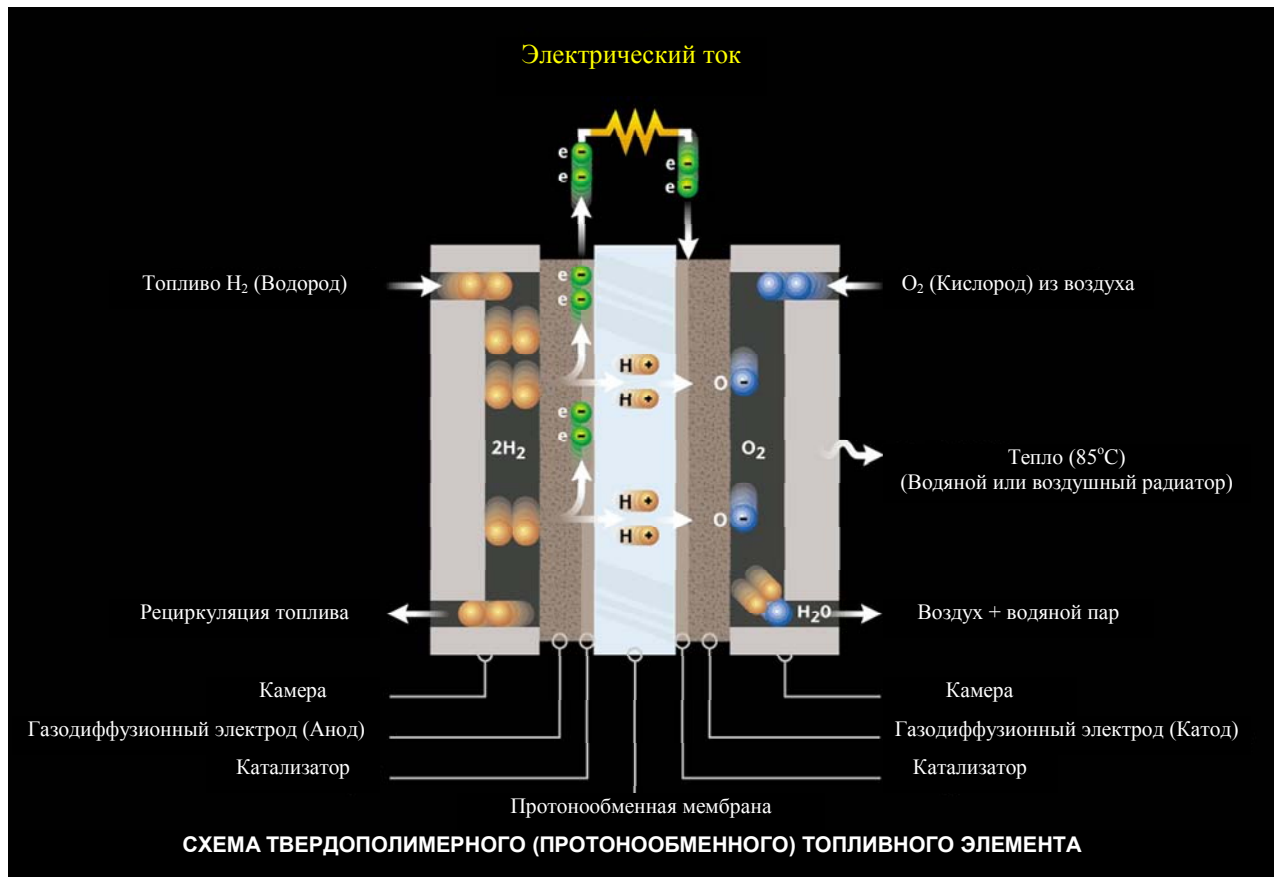
## ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ



Ступени преобразования химической энергии  
традиционным и электрохимическим  
способами

ТЭ – электрохимический источник тока, в котором осуществляется прямое превращение энергии топлива и окислителя, непрерывно подводимых к электродам, непосредственно в электрическую энергию, минуя малоэффективные, идущие с большими потерями, процессы горения.

Так как преобразование тепла в работу у этих установок отсутствует, их энергетический КПД значительно выше, чем у традиционных энергоустановок и может составлять до 90%.



Химические реакции в ТЭ идут на специальных пористых электродах (аноде и катоде), активированных **палладием** (или другими металлами платиновой группы), где химическая энергия, запасенная в водороде и кислороде, эффективно преобразуется в электрическую энергию. Водород окисляется на аноде, а кислород (или воздух) восстанавливается на катоде.

Катализатор на аноде ускоряет окисление водородных молекул в водородные ионы ( $H^+$ ) и электроны. Водородные ионы (протоны) через мембрану мигрируют к катоду, где катализатор катода вызывает образование воды из комбинации протонов, электронов и кислорода. Поток электронов через внешний кругооборот производит электрический ток, который используется различными потребителями.

Напряжение, возникающее на отдельном ТЭ, не превышает 1,1вольта. Для получения необходимой величины напряжения ТЭ соединяются последовательно в батареи, а для получения необходимой мощности батареи ТЭ соединяются параллельно. Такие батареи ТЭ вместе с элементами газораспределения и терморегулирования монтируются в единый конструктивный блок, называемый электрохимическим генератором (ЭХГ).

## ТИПЫ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ



Существуют различные типы ТЭ. Их обычно классифицируют по используемому топливу, рабочему давлению и температуре, а также по характеру применения.

Наибольшее распространение получила классификация топливных элементов по типу электролита как среды для внутреннего переноса ионов (протонов). Электролит между электродами определяет операционную температуру и от этой температуры зависит тип катализатора.

Выбор топлива и окислителя, подаваемых в ТЭ, определяется, в первую очередь, их электрохимической активностью (то есть скоростью реакции на электродах), стоимостью, возможностью легкого подвода топлива и окислителя в ТЭ и отвода продуктов реакции из ТЭ.

Водород считается основным источником топлива для ТЭ, однако процесс преобразования топлива позволяет извлекать водород и из других его видов, включая метанол, природный газ, нефть и др.

В отличие от аккумулятора и батареек, ТЭ не истощается и не требует перезарядки; он работает, пока подается топливо.

<p><b>Щелочной ТЭ (AFC)</b></p>	<p>Электролит состоит из жидкого КОН, который циркулирует в пространстве между электродами. Они использовались с середины 1960-х годов в космических программах, обеспечивая питанием электрические системы космических кораблей "Буран", "Шаттл" и др. Коммерческое применение их ограничено, т.к. они должны работать с чистыми водородом и кислородом (либо с кислородом воздуха, из которого удален углекислый газ). Щелочные ТЭ имеют КПД до 70%</p>
<p><b>ТЭ на протонообменной мембране (PEMFC)</b></p>	<p>В качестве электролита используется твердая полимерная мембрана (тонкая пластмассовая пленка), которая проводит водородные ионы (протоны) с анода на катод. Они обеспечивают высокую плотность тока, что позволяет уменьшать их вес, стоимость, объем и улучшать качество работы. Неподвижный твердый электролит упрощает герметизацию в процессе производства, уменьшает коррозию, и обеспечивает более долгий срок службы ТЭ. Эти ТЭ работают при низких температурах (ниже 100°C), что ускоряет запуск и реакцию на изменения потребности в электричестве. Они идеально подходят для транспорта и стационарных установок небольшого размера.</p>
<p><b>ТЭ на фосфорной кислоте (PAFC)</b></p>	<p>Электролитом является бумажная матрица, насыщаемая фосфорной кислотой, также проводящей протоны. Это наиболее разработанные коммерчески развитые ТЭ. Они применяются в стационарных электрогенераторных устройствах в зданиях, гостиницах, больницах, аэропортах и электростанциях. ТЭ на фосфорной кислоте вырабатывают электричество с КПД более 40% или около 85%, если пар, который производит этот ТЭ, используется для совместного производства тепла и электричества (в сравнении с 30% КПД наиболее эффективного двигателя внутреннего сгорания).</p>
<p><b>ТЭ на расплаве карбоната (MCFC)</b></p>	<p>Использует расплавленную смесь лития/калия (или лития/натрия) для проведения ионов карбоната от катода к аноду. Рабочая температура - приблизительно 650°C, что позволяет использовать топливо напрямую, без какой-либо дополнительной его подготовки, и никель в качестве катализатора. Их конструкция более сложна, чем конструкция ТЭ на фосфорной кислоте, из-за их более высокой рабочей температуры и использования расплава электролита. Им требуется существенное количество времени для того, чтобы они достигли рабочей температуры и смогли реагировать на изменения в потребности в электричестве, и поэтому лучше всего они подходят для условий, где необходима постоянная подача больших количеств электроэнергии. Наибольшее количество подобных установок построено в США и Японии. В США имеется демонстрационная опытная электростанция мощностью 1.8 МВт.</p>
<p><b>ТЭ на твердых оксидах (SOFC)</b></p>	<p>В качестве электролита используется твердый керамический материал (стабилизированная иттрием окись циркония), которая проводит атомы кислорода от катода к аноду при чрезвычайно высокой температуре - свыше 1000°C. Это позволяет им использовать относительно загрязненные виды топлива, например, получаемые при газификации угля. Энергетический КПД – около 60%. Их относительно простая конструкция (обусловленная использованием твердого электролита и самых разных видов топлива) в сочетании с существенным количеством времени, необходимым для того, чтобы они достигли рабочей температуры и смогли реагировать на изменения в потребности в электричестве, делает их подходящими для больших и очень больших стационарных электрогенераторных установок и электростанций.</p>



## ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

