

ХРАНЕНИЕ ВОДОРОДА ДЛЯ НАКОПЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

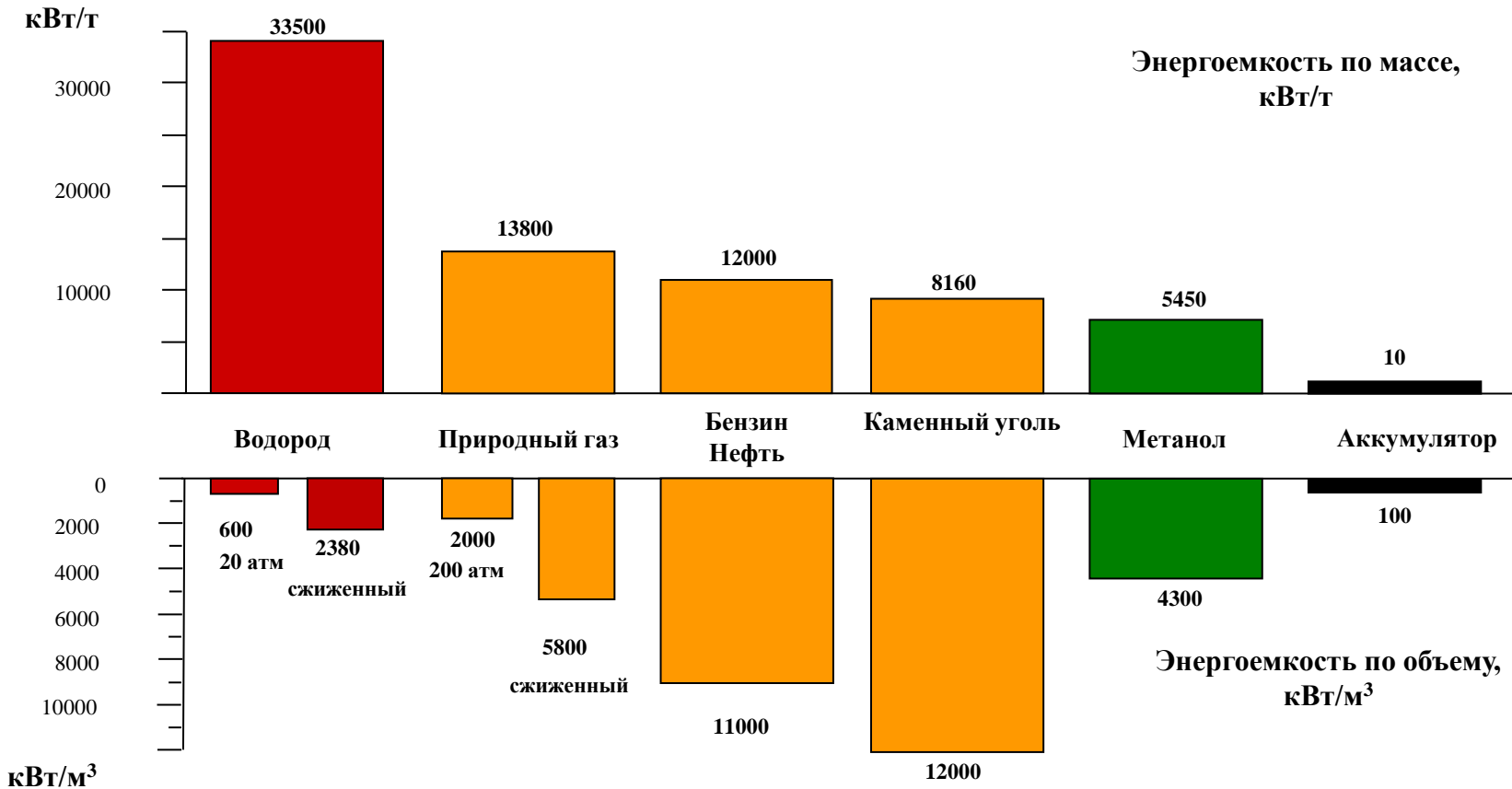
Тарасов Борис Петрович

**Заведующий Лабораторией водород-аккумулирующих материалов
Института проблем химической физики РАН**

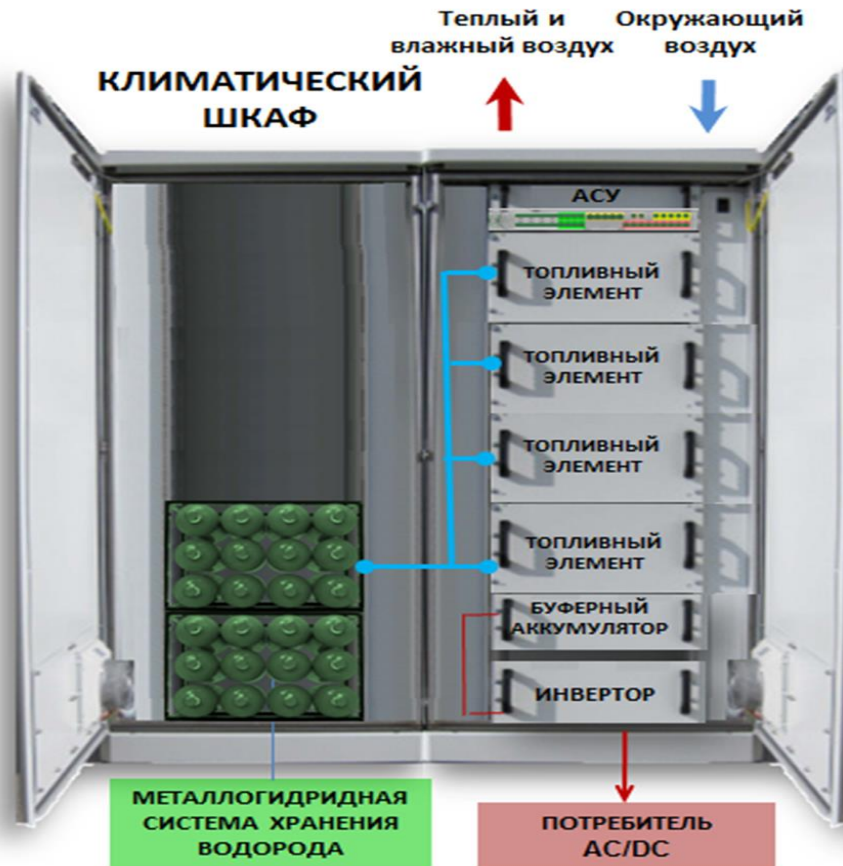
**тел./факс: 496-5221743
e-mail: tarasov@icp.ac.ru**

Черноголовка

Удельная энергоёмкость водорода и различных топлив



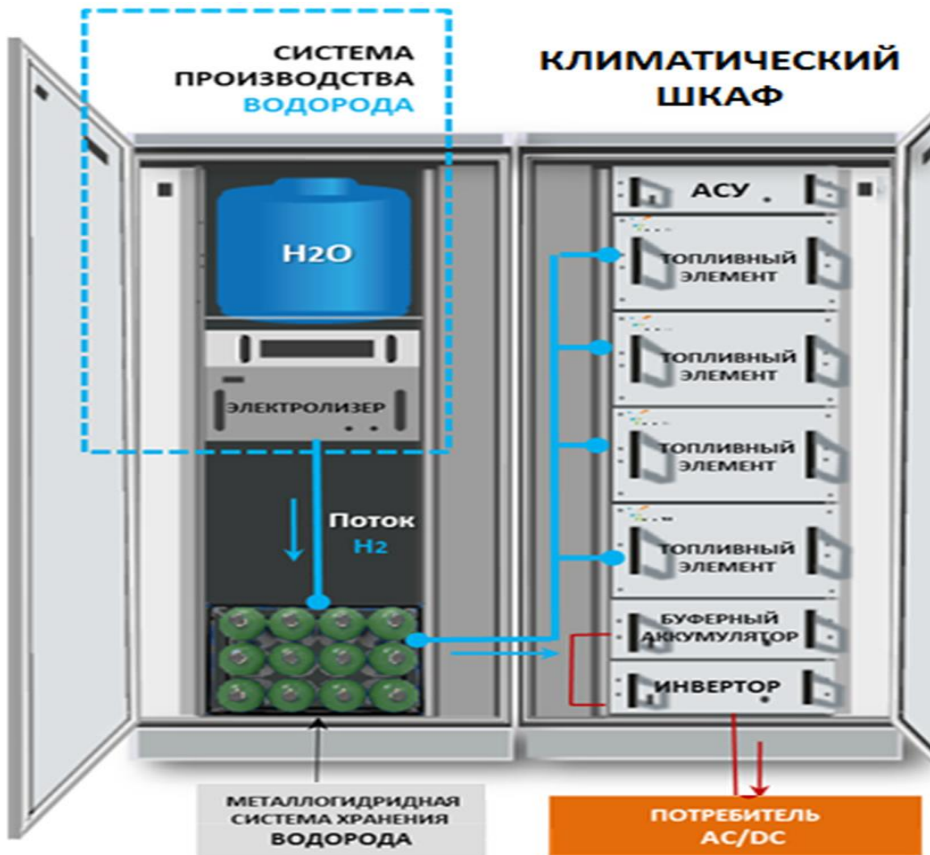
Водородная система резервного электропитания



Потенциальные области применения:

- **Электроэнергетика:** резервное электропитание вместо дизельных генераторов и электрохимических аккумуляторных батарей.
- **Телекоммуникация:** повышение надежности электропитания оборудования.
- **Электротехника:** бесперебойное питание ключевых узлов корпоративной сети и критичных объектов.

Водородная система аккумулирования электроэнергии



ОСНОВНОЙ ИСТОЧНИК ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ



СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ



ЭНЕРГИЯ ВЕТРА



ЭНЕРГИЯ ВОДЫ

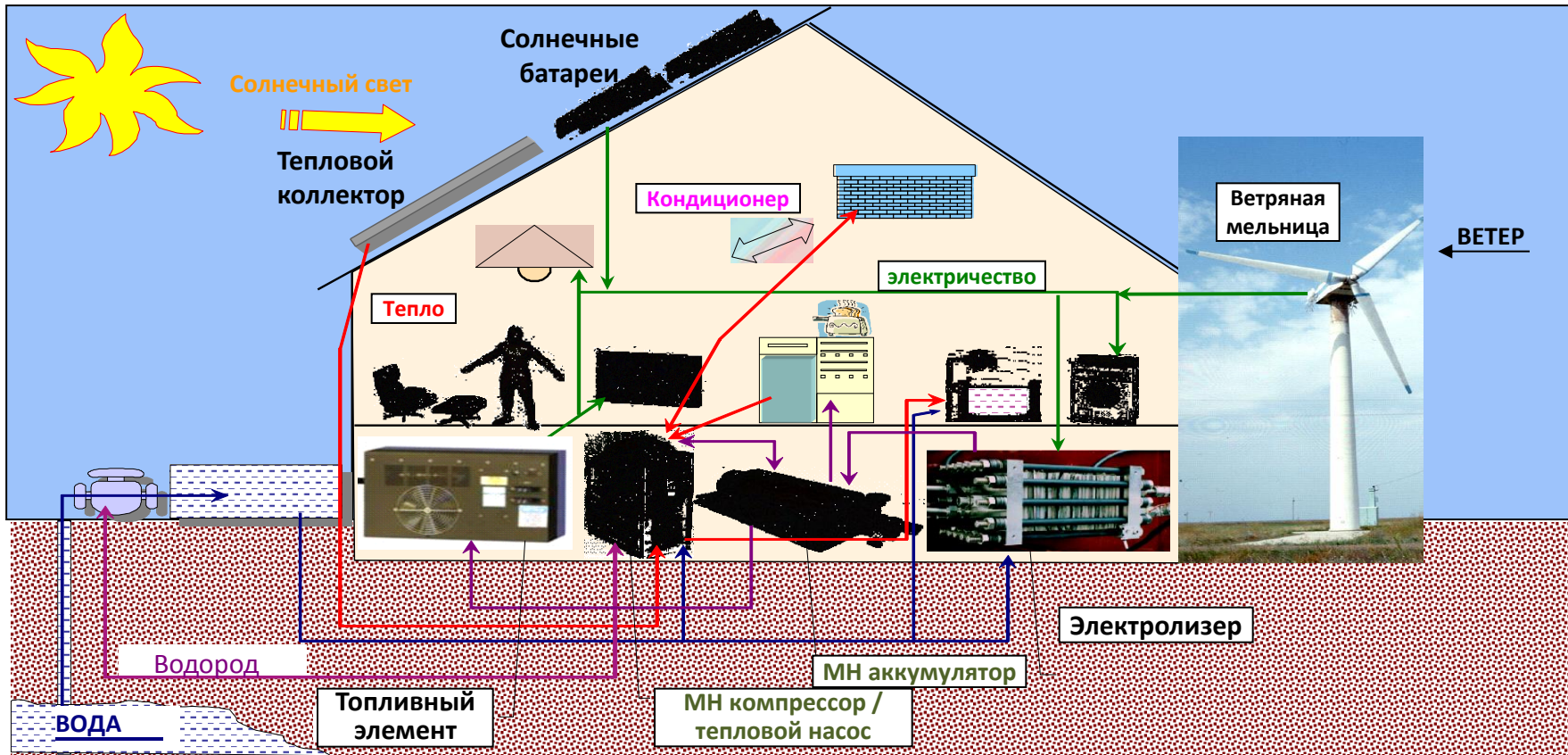


СЕТЬ

Потенциальные области применения:

- Возобновляемая энергетика: повышение эффективности использования солнечных и ветровых электрогенераторов.
- Промышленная энергетика: выравнивание суточного графика нагрузки в бытовых и промышленных электросетях.

Автономное энергообеспечение с водородным аккумулятированием электроэнергии



«Безуглеродная» водородная энергетика

Внутризаводской парк



ВИЭ

Б/У электроэнергия
без CO₂

Внешний транспорт



O₂

Электролизный
завод
Б/У H₂ без CO₂

H₂



В перспективе
утилизация отходящего O₂

Водородный транспорт



Внешний (коммерческий)
рынок

Распределенная энергетика и другие применения



Водородная энергетика:

производство энергии с использованием водорода как энергоносителя

Преимущества:

- ✓ Неограниченные (возобновляемые) запасы сырья (основной источник – вода)
- ✓ Отношение энергия/масса в 3 раза выше, чем у бензина
- ✓ Простота конверсии энергии (химическая ↔ электрохимическая ↔ механическая)
- ✓ Экологическая безопасность (продукт окисления – вода)

Недостатки:

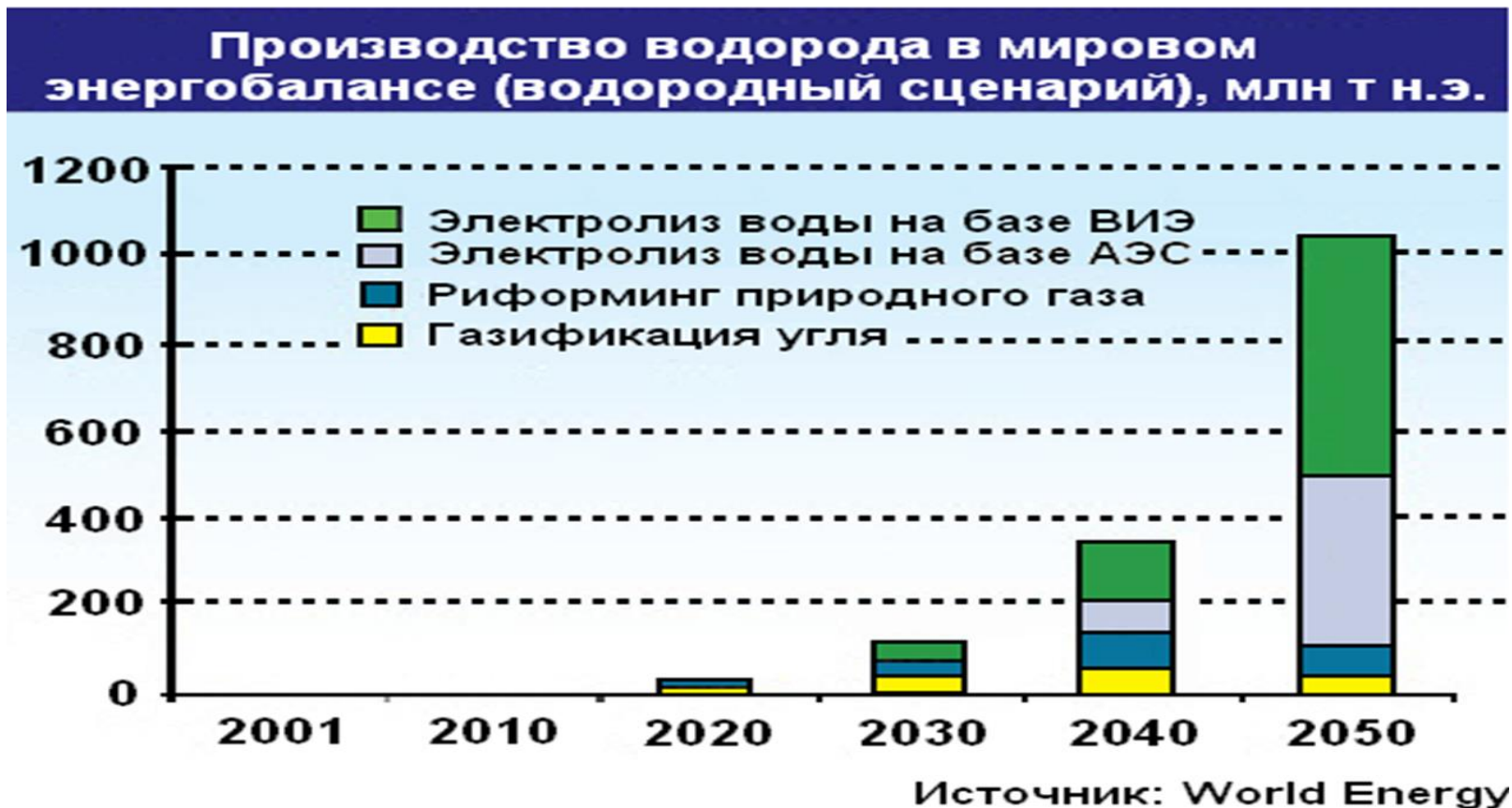
- Водород не является ископаемым сырьем (доля H_2 на Земле – 10^{-5} %, остальное – химические соединения)
- Водород надо произвести, затратив энергию (водород – только энергоноситель или аккумулятор энергии)

Составные части водородной энергетики:

1. **Производство водорода из воды** с использованием невозобновляемых (газ, нефть, уголь, атомная энергия, термоядерная энергия) и возобновляемых источников энергии (солнце, ветер, биомасса, водные и термальные источники, морские приливы и т.д.).
2. **Транспортировка и хранение водорода** в крупных и мелких масштабах (увеличение безопасности и уменьшение стоимости).
3. **Использование водорода** в промышленности, на транспорте (наземном, воздушном, водном и подводном), в быту.
4. **Водородное материаловедение и безопасность** водородных энергетических систем.



Производство водорода: прогноз



Электролиз воды



Электролизеры:

- **Щелочные электролизеры**
(25% раствор KOH)
эффективность до 80%
- **Электролизеры с полимерной мембраной**
эффективность до 90%
(дороже щелочных)
- **Высокотемпературные электролизеры**
с керамическим ионопроводящим
электролитом (до 92%)

Необходимы источники дешевой электроэнергии:

атомно-водородная энергетика, солнечно-водородная энергетика, ветро-водородная энергетика, гидро-водородная энергетика...

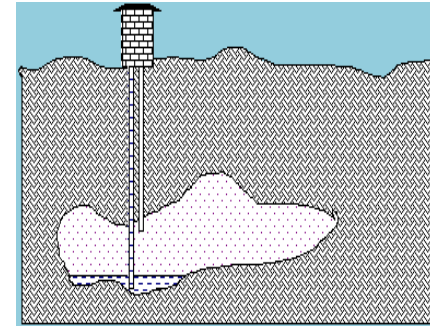
Хранение и транспортировка водорода

Промышленные способы:

- в газообразной форме в баллонах под давлением: проблема – обеспечение безопасности;
- в сжиженном виде в криогенных танках и транспортировка по трубопроводам: проблема – дороговизна;

Перспективные способы:

- в виде добавок H_2 (до 20 %) к метану по газовой трубе: проблема – «водородное охрупчивание»;
- в обратимо связанном состоянии: твердые металлогидриды – в контейнерах, жидкие соединения (органика, аммиак) – в цистернах или трубопроводах.



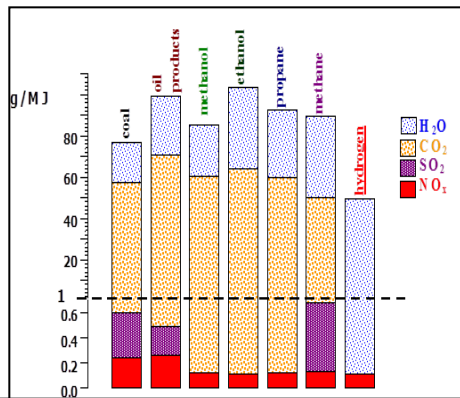
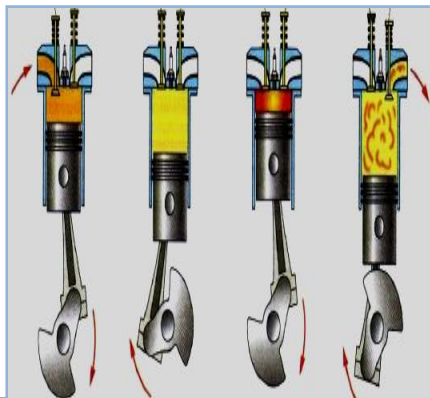
Производство энергии из водорода

Водородные двигатели внутреннего сгорания

Преобразование химической энергии в тепловую:

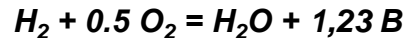


- Эффективность больше, чем у бензиновых двигателей;
- Меньшее количество вредных выбросов по сравнению с бензиновым двигателем;
- Водородное охрупчивание металлических частей двигателей внутреннего сгорания.

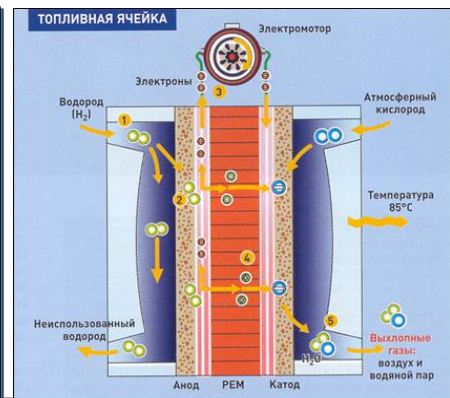
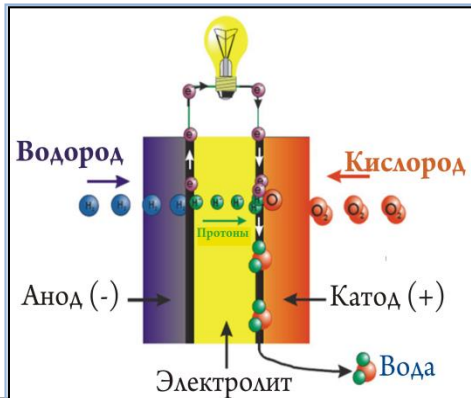


Водородные топливные элементы

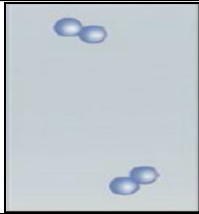
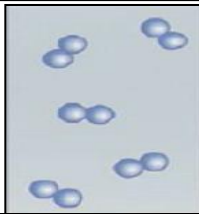
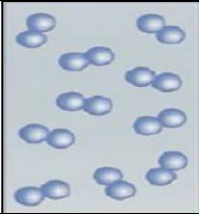
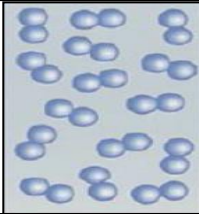
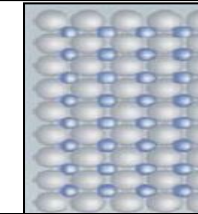
Преобразование химической энергии в электрическую:

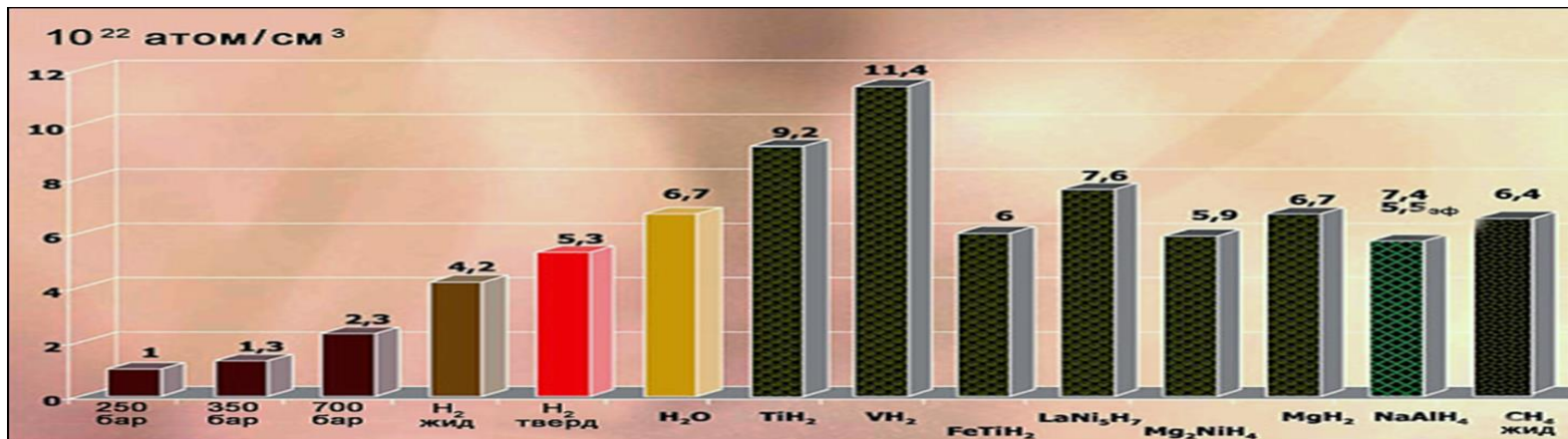


- Высокая объемная и массовая мощность;
- Различные типы топливных элементов: рабочая температура зависит от природы электролитов;
- Высокий коэффициент полезного действия (особенно при низкой нагрузке);
- Полное отсутствие вредных выбросов;
- Требуется высокочистый водород;
- Недостаточно большой ресурс.



Условия и способы хранения водорода


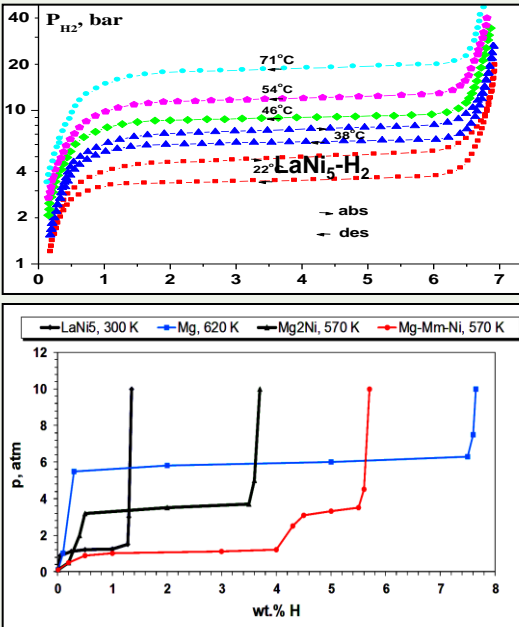
Состояние водорода	Газообразный водород			Жидкий водород	Водород в гидриде
Давление, атм	1	350	700	1	1
Температура, К	300	300	300	20	300
Расстояние H ₂ -H ₂ или H-H, нм	3,3	0,54	0,45	0,36	0,21
Концентрация атомов, ат./см ³	5,6·10 ¹⁹	1,3·10 ²²	2,3·10 ²²	4,2·10 ²²	10,7·10 ²²
Схема расположения молекул или атомов водорода					



Хранение водорода в химически связанном состоянии

	Вещества, материалы, реакции	H, масс. %	Температура, °C
1	Водородсодержащие ковалентные соединения: $\text{NH}_3, \text{H}_2\text{O}, \text{CH}_4, \text{C}_2\text{H}_6, \text{C}_2\text{H}_4, \dots$	Более 10	600-1200
2	Органические «гидриды»: $\text{C}_{10}\text{H}_{18}$ (декалин) \Leftrightarrow C_{10}H_8 (нафталин) + 5 H_2 C_7H_{14} (метилциклогексан) \Leftrightarrow C_7H_8 (толуол) + 3 H_2	7 7	250-350
3	Имид-гидридные системы: $\text{LiNH}_2 + 2 \text{LiH} \Leftrightarrow \text{Li}_2\text{NH} + \text{LiH} + \text{H}_2 \Leftrightarrow \text{Li}_3\text{N} + 2 \text{H}_2$ $2 \text{LiNH}_2 + \text{MgH}_2 \rightarrow \text{Li}_2\text{Mg}(\text{NH})_2 + 2 \text{H}_2 \Leftrightarrow 2 \text{LiH} + \text{Mg}(\text{NH}_2)_2$ $\text{Mg}(\text{NH}_2)_2 + 4 \text{LiH} \Leftrightarrow 4/3 \text{Li}_3\text{N} + 1/3 \text{Mg}_3\text{N}_2 + 4 \text{H}_2$	6.5 + 5 5 9	250-350
4	Термолизные системы: $\text{NaBH}_4 \rightarrow \text{NaH} + \text{B} + 3/2 \text{H}_2$ $2 \text{LiBH}_4 \rightarrow 2 \text{LiH} + 2 \text{B} + 3 \text{H}_2$ $\text{NH}_3\text{BH}_3 \rightarrow \text{NH}_2\text{BH}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{NHBH} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{BN} + 3\text{H}_2$	8 13 6 + 6 + 6	250-500
5	Гидролизные системы: $\text{Al} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 + 3/2 \text{H}_2$ $\text{MgH}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2 + 2 \text{H}_2$ $\text{NaBH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaBO}_2 + 4 \text{H}_2$	10 15.4 22.2	20-100
6	Обратимые гидриды металлов, сплавов, интерметаллидов	1-7	0-400

Перспективные водород-аккумулирующие материалы

Металлогидридный аккумулятор	Принцип действия	Материал	Температура, °C	Количество H ₂ , мас.%
	<p>Обратимое гидрирование $M + xH_2 \leftrightarrow MH_{2x}$</p> 	<p>La(Mm)Ni₅</p> <p>TiFe</p> <p>(Ti,Zr)(Mn,Cr)₂</p> <p>Mg₂Ni</p> <p>Mg-Mm-Ni</p> <p>Mg + 5%C</p> <p>Mg + 3%Ni/C</p>	<p>-50 – +50</p> <p>-30 – +50</p> <p>-30 – +50</p> <p>250 – 300</p> <p>250 – 300</p> <p>300 – 350</p> <p>300 – 350</p>	<p>1.5</p> <p>1.8</p> <p>2.0</p> <p>3.6</p> <p>5.5</p> <p>7.0</p> <p>7.0</p>

Металлогидридные аккумуляторы и компрессоры водорода

Преимущества:

- высокое объемное содержание водорода,
- дополнительная очистка водорода,
- заправка электролизным водородом,
- многократность использования,
- регулируемость давления и скорости выделения
- компактность, безопасность и бесшумность.

Области использования:

- хранение, очистка и транспортировка водорода,
- выравнивание давления в водородных линиях,
- гидрирование и восстановление соединений,
- гидридное диспергирование сплавов,
- обеспечение питанием топливных элементов,
- водородное аккумулирование энергии.

