



II Международная научно-практическая конференция  
«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Водородные технологии для аккумулирования энергии

Счастливцев А.И., Борзенко В.И., Дуников Д.О.

[h2lab@mail.ru](mailto:h2lab@mail.ru)

16-18 сентября 2020 г  
Воронеж, Россия





«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Введение



**Нетрадиционные или Возобновляемые источники энергии (ВИЭ):** Источники энергии, образующиеся на основе постоянно существующих или периодически возникающих процессов в природе, а также жизненном цикле растительного и животного мира и жизнедеятельности человеческого общества.  
(ГОСТ Р 54531-2011)



«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Современные проблемы энергетики

- ❑ Возрастание доли возобновляемых источников энергии и, в связи с этим, неравномерность выработки электроэнергии;
- ❑ Неравномерность энергопотребления населением;
- ❑ Создание автономных систем аккумулирования и производства энергии;
- ❑ Создание резервных источников питания.

Все это требует создания надежных, эффективных и недорогих систем аккумулирования энергии



«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Потенциал ВИЭ

Энергетический потенциал ВИЭ может оцениваться различными значениями в зависимости от степени учета технико-экономических аспектов применения возобновляемой энергетики. С этих позиций принято выделять валовый потенциал ВИЭ, технический потенциал ВИЭ и экономический.

- Валовый потенциал - это количество энергии, заключенное в данном виде энергоресурса, при условии ее полного полезного использования.
- Технический потенциал - это часть валового потенциала, преобразование которого в полезную энергию целесообразно при соответствующем уровне развития технических средств.
- Экономический потенциал ВИЭ - часть технического потенциала, который экономически целесообразно преобразовывать в полезную энергию при конкретных экономических условиях.



«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Развитие ВИЭ за рубежом

Бурное развитие ВИЭ за рубежом в последнее десятилетие впечатляет. Перспективы еще радужнее.

## Основные мотивы:

- обеспечение энергетической безопасности (снижение зависимости от российского газа в Европе, ближневосточной нефти в США и т.д.) – *политические эффекты*;
- формирование новой отрасли экономики, расширение экспортного потенциала, поддержка собственных высокотехнологичных компаний – *экономические эффекты*;
- создание большого количества новых высоко квалифицированных рабочих мест – *социальные эффекты*;
- развитие науки и технологий, обеспечение технологического лидерства – *стратегические эффекты*;
- решение глобальных проблем (защита окружающей среды, снижение риска неконтролируемого изменения климата и др.) – *имиджевые эффекты*.





«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Развитие возобновляемой энергетики – необходимость и для России

На регионы с децентрализованным энергоснабжением приходится:

- 70% территории,
- 20 млн. человек населения
- 15% основных фондов



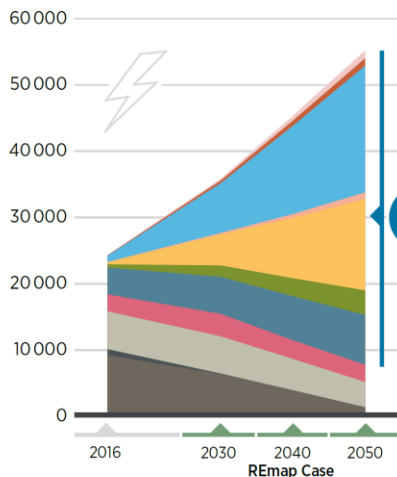
В настоящее время ниша автономного энергоснабжения занята неэффективными и экологически опасными системами на дизель-генераторах, нуждающихся в дорогом привозном топливе



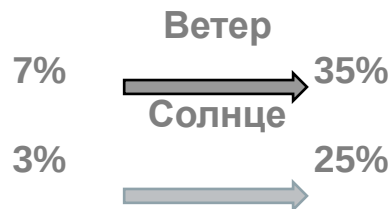
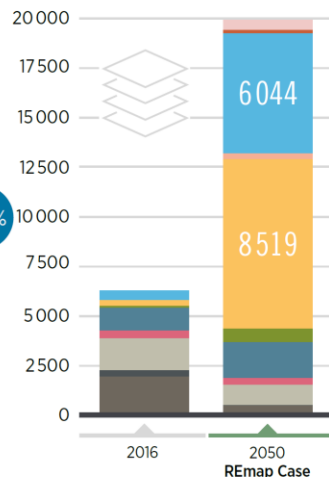
«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Прогноз роли ВИЭ в мировой энергетике: до 86% от генерации электроэнергии в 2050

Electricity generation  
(TWh/yr)



Total installed power capacity  
(GW)

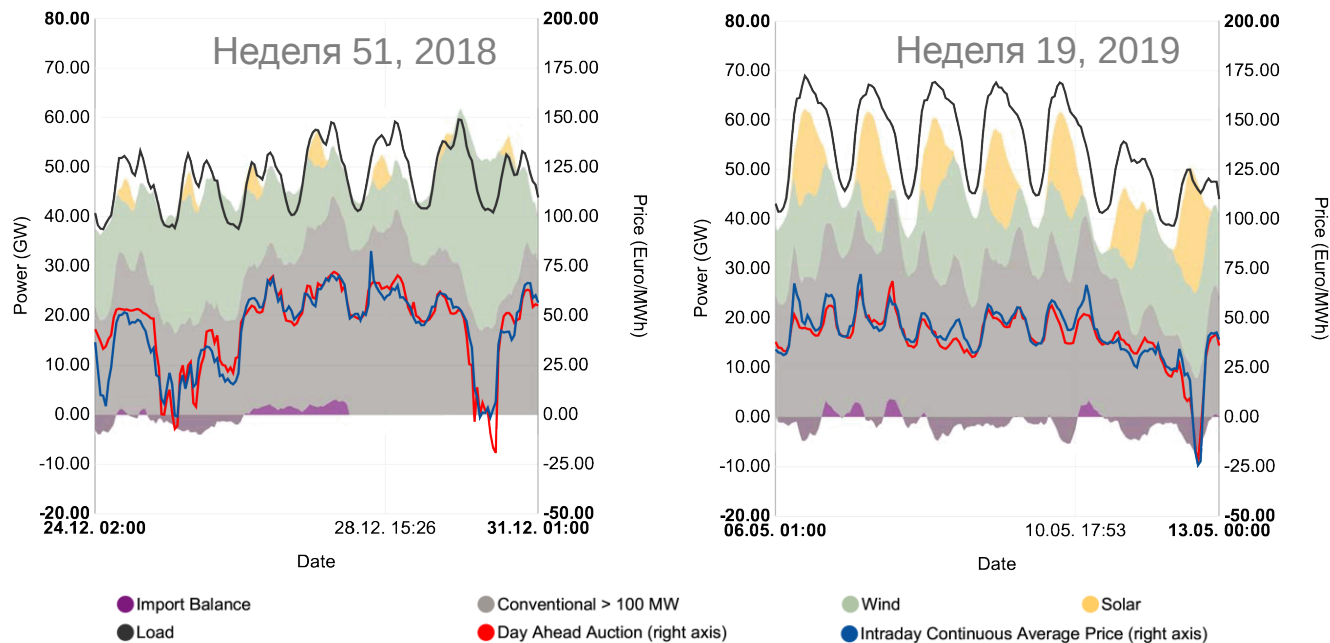


Чтобы увеличить генерацию с 25 ТВтч/г до 55 ТВтч/г нужно увеличить установленные мощности с 6 ТВт до 20 ТВт, включая 14 ТВт новых солнечных (PV) и ветровых станций.



«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# График нагрузки и цены на электроэнергию на примере Германии







«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Программа по развитию ВИЭ в Германии

## Предпосылки:

**Согласно программе развития энергетики доля ВИЭ в Германии должна составить:**

18 % к 2020 г.

60 % к 2050 г.

При увеличении доли ВИЭ потребуются десятки гигаватт аккумулирующих мощностей, поскольку одной из основных проблем ВИЭ является неравномерность выработки электроэнергии.

**Снижение выбросов CO<sub>2</sub> должно составить:**

40 % к 2020 г.

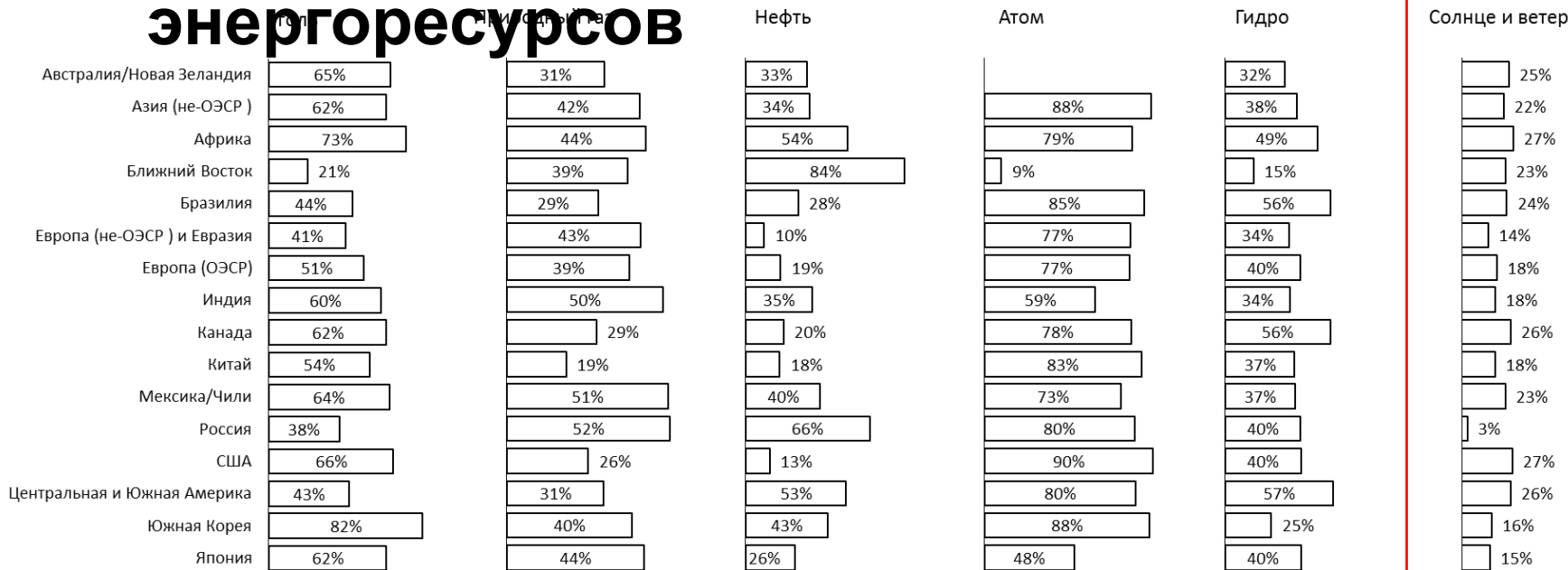
80-95 % к 2050 г.

Снижение выбросов CO<sub>2</sub> планируется за счет перевода транспорта на питание от энергии ВИЭ и снижения количества электростанций на углеводородном топливе.



«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Коэффициент использования установленной мощности по видам энергоресурсов





«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Основные направления использования систем хранения электроэнергии

Качество ЭЭ - степень соответствия параметров электрической энергии их установленным значениям. Запасенная энергия используется в течение секунд или меньшего времени для поддержания параметров сети.

Бесперебойное питание - поддержание непрерывности питания приемников в случае нарушения питающей сети переменного тока. Запасенная энергия используется в течение секунд или минут на время переключения с одного источника питания на другой.

Регулирование потребления энергии – согласование графиков производства и потребления электроэнергии. Например, выравнивание графика нагрузки. Запасенная энергия может использоваться в течение многих часов.

Изменение структуры сетевой генерации при внедрении ВИЭ приведет к повышению требований к функционированию и устойчивости сети, а также создает новые вызовы к развитию технологий аккумулирования энергии.

По данным WEO2016 повышение устойчивости сети, создание дружественных к требованиям сети солнечных и ветровых электростанций, обеспечение доступности электростанций, готовых включиться в поддержание уровня мощности за короткий период времени могут быть эффективны только до того момента, когда ВИЭ достигнут 25% доли в генерации. В системах с большей долей ВИЭ либо нужно отключать возобновляемую генерацию во время избытка мощности или снижения потребления, либо устанавливать крупномасштабные системы аккумулирования энергии.



«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Основные направления использования систем хранения электроэнергии

| <b>Сверхмалое время хранения</b>                                                          |                 |              | <b>кВт ч</b>     |                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|------------------|----------------|
| Качество электроснабжения, запуск моторов                                                 | ≤1 МВт          | секунды      | ~0.2             | <1/4 периода   |
| Переходные процессы                                                                       | < 1 МВт         | секунды      | ~0.2             | <1 периода     |
| Стабилизация распределительных систем                                                     | до сотен МВт    | секунды      | 20-50            | <1/4 периода   |
| <b>Кратковременное хранение</b>                                                           |                 |              | <b>МВт ч</b>     |                |
| Распределенное производство (пиковые мощности)                                            | 0,5-5 МВт       | ~ 1 ч        | 5 - 50           | < 1 мин        |
| Сглаживание пиковых нагрузок у потребителя                                                | < 1 МВт         | ~ 1 ч        | 1000             | < 1 мин        |
| Горячие резервы – быстрый отклик в течение 3 с для избежания автоматического переключения | 1 – 100 МВт     | <30 мин      | 5-500            | < 3 с          |
| Горячие резервы (обычные)                                                                 | 1 – 100 МВт     | <30 мин      | 5-5000           | <10 мин        |
| Резервная энергия для телекоммуникационных систем                                         | 1-2 кВт         | ~ 2 ч        | 2 - 4            | <1 периода     |
| Компенсация пульсаций ВИЭ                                                                 | до 10 МВт       | минуты – 1 ч | 0.01– 10         | <1 периода     |
| Бесперебойное энергоснабжение (UPS)                                                       | до 2 МВт        | ~ 2 ч        | 0.1 - 4          | секунды        |
| <b>Длительное хранение</b>                                                                |                 |              | <b>МВт ч</b>     |                |
| Генерация, выравнивание нагрузки                                                          | сотни МВт       | 6-10 ч       | 100 - 1000       | минуты         |
| Поддержка роста нагрузки                                                                  | сотни МВт       | часы         | 100 - 1000       | < 1 периода    |
| <b>Очень длительное хранение</b>                                                          |                 |              | <b>МВт ч</b>     |                |
| Аварийное энергоснабжение                                                                 | 1 МВт           | 24 ч         | 24               | секунды-минуты |
| Сезонное хранение                                                                         | 50 – 300 МВт    | недели       | 10 000 – 100 000 | минуты         |
| Резервная энергия для ВИЭ                                                                 | 100 кВт – 1 МВт | неделя       | 20 - 200         | секунды-минуты |



«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Методы хранения энергии

Сверхпроводящие магнитные системы (СПМС), используется энергия тока, циркулирующего в сверхпроводнике;

Химические источники тока (аккумуляторы свинцовые и прочие);

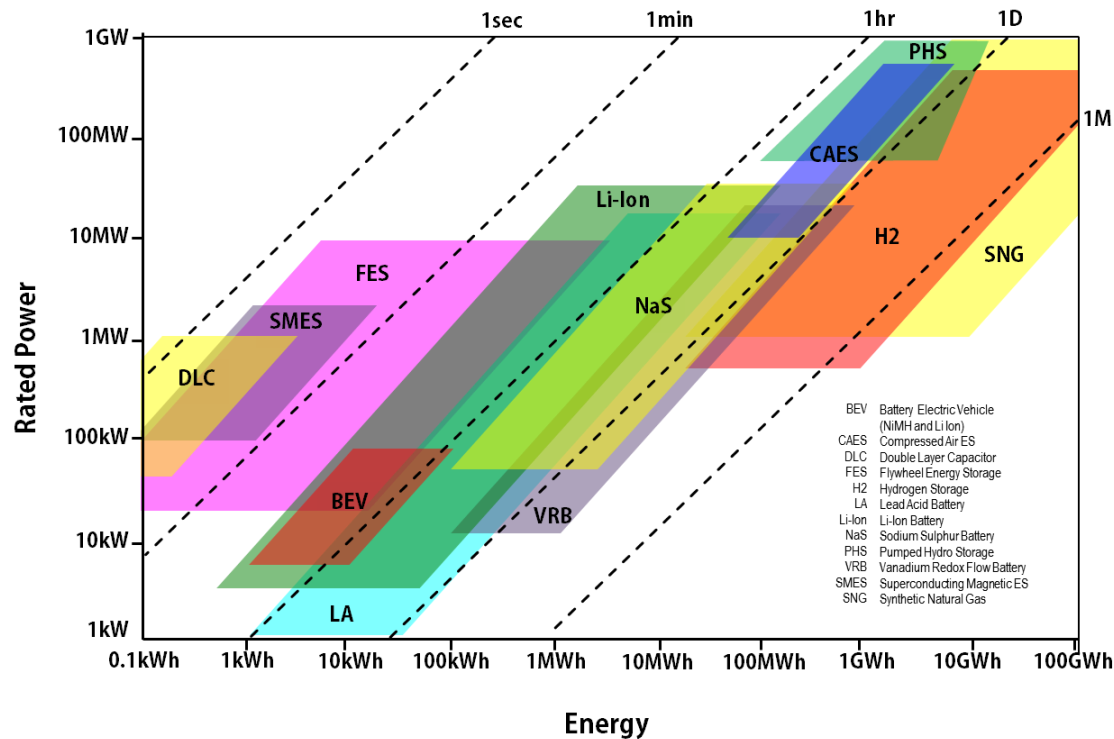
Суперконденсаторы;

Маховики (низко- и высокоскоростные). Используются в основном для кратковременного хранения энергии в двигательных системах (например, автомобилях);

Энергия сжатого воздуха (ПАЭС). Воздух запасается в крупных резервуарах, кавернах и т.д.;

Гидроаккумулирующие системы (ГАЭС);

Хранение энергии в водороде.

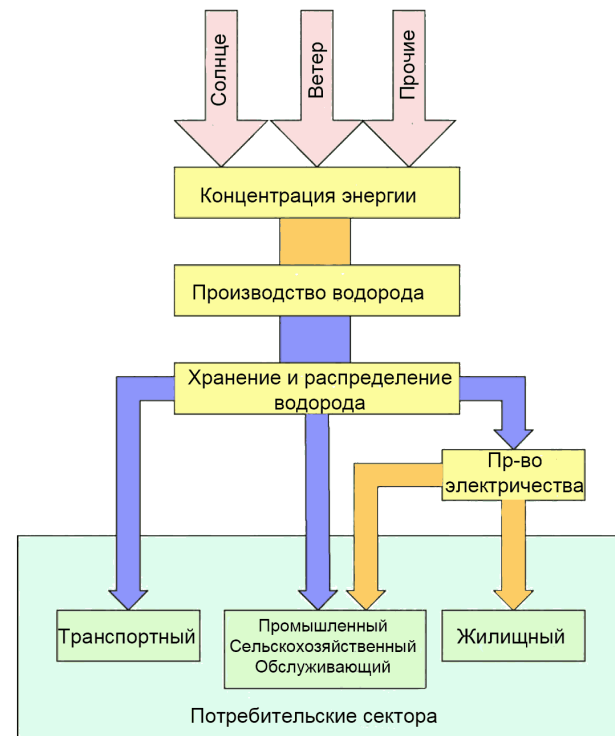




«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

## Почему водород?

- ❑ Широкое распространение воды в природе, что позволяет использовать водородные системы повсеместно;
- ❑ Высокая удельная энергетическая плотность водорода;
- ❑ Практически нет потерь при долговременном хранении водорода (исключая жидкий водород);
- ❑ Обратимость циклов заряда-разряда водородных систем аккумулирования;
- ❑ Отсутствие загрязнений окружающей среды при работе;
- ❑ .....

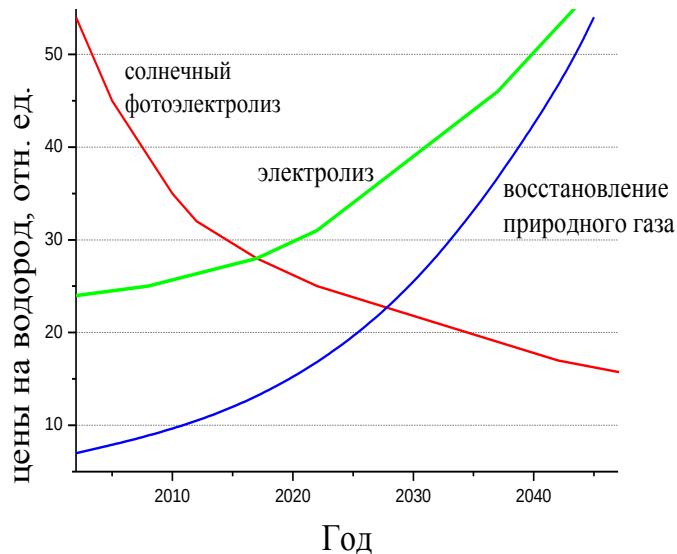






«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Прогноз стоимости водорода, получаемого разными методами



## Программы:

1. Водородная стратегия для климатически нейтральной Европы.
2. Национальная стратегия развития водородной энергетики ФРГ.

## Основные параметры: **только зеленый водород**

2020-2024 строительство 6 ГВт электролизеров, производство 1 млн тонн зеленого водорода

До 2030 года 40 ГВт электролизеров в ЕС +40 ГВт в соседних странах для экспорта в ЕС. Производство 10 млн тонн в год зеленого водорода.

Инвестиции в Европе от 180 до 470 млрд евро до 2050 года

3. Bloomberg (Hydrogen Economy Outlook)

В 2050 году в большинстве регионов мира водород будет производиться с помощью солнечной и ветровой энергии по цене 0.8 до 1.6 долл. за кг.

4. В Японии и Китае также существуют программы по водородной энергетике.

5. В «Энергетической стратегии РФ» (опубликована 10 июля 2020 года.) водород обозначен как топливо с высоким экспортным потенциалом.

К 2024 рост экспорта на уровне 0.2 млн. тонн с ростом до 2 млн к 2035 году.

В планах Минэнерго РФ должна занять 16 % мирового рынка водорода, который к 2050 году составит порядка 700 млн тонн.



«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Аккумуляция энергии

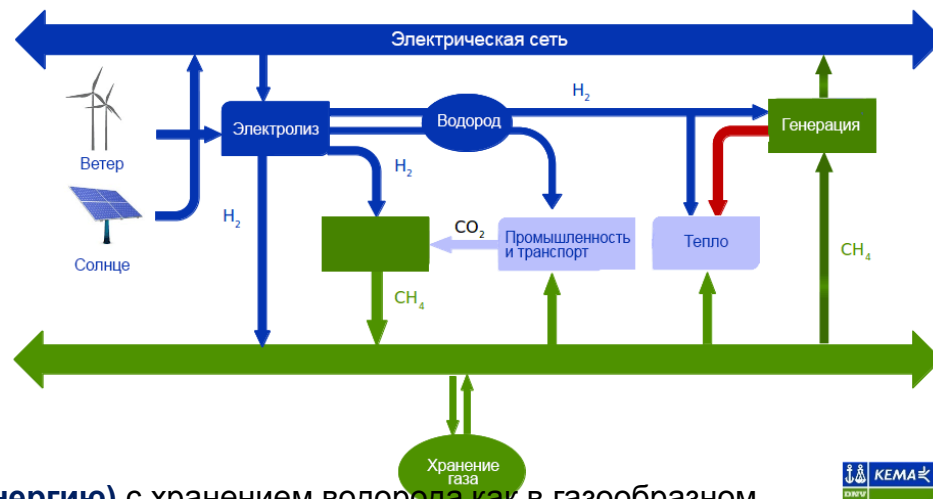
## Power-to-Gas (электроэнергия в газ)

Основной вызов:

- замена российского природного газа на синтетический метан

Ключевые технологии:

- Электролиз воды
- Водородные энергоустановки
- Топливные элементы
- Системы хранения водорода
- Создание водородной инфраструктуры



Крупномасштабное хранение энергии :

- **Power-to-Power (электроэнергия-в-электроэнергию)** с хранением водорода как в газообразном состоянии (в том числе в подземных газохранилищах), так и в связанном состоянии;
- **Power-to-Gas (электроэнергия-в-газ)**, включающая добавление водорода в существующую инфраструктуру для природного газа (обогащенный водородом природный газ), а также создание синтетического метана из водорода (метанизация).





«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Перспективы Power-to-Gas

Основная проблема: высокие капитальные затраты (CAPEX) вынуждают стремиться к высоким КИУМ (6000-8000 ч/год), что противоречит первоначальной идее использования «дешевого» электричества.

Цена водорода при распределенном производстве сейчас составляет 8 to 10 €/кгH<sub>2</sub>, что конкурентоспособно только лишь по отношению к различным био-топливам.

В ЕС для создания конкуренции обычным автомобильным топливам нужна цена 3 - 4 €/кг нужно уменьшить затраты как минимум вдвое, то есть закупать электроэнергию по конечной цене 20 €/МВтч (что близко к российским ценам) в течение более чем 6000 ч/год.

При условии финансовой поддержки и закупки электроэнергии по ценам на уровне 40 €/Втч стоимость газа, закачиваемого в газораспределительную сеть составляет 100 и 170 €/Вт<sub>HHV</sub> для водорода и синтетического метана. При этом природный газ стоит около 20 €/Вт<sub>HHV</sub> и даже биометан 60 - 100 €/Вт<sub>HHV</sub>.



«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Электролиз воды: нужны дешевые электролизеры мегаваттного уровня мощности

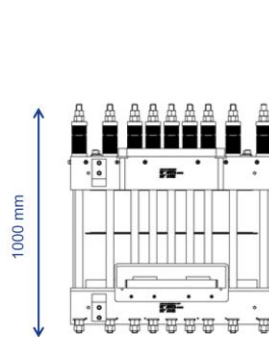
**HYDROGENICS**  
SHIFT POWER | ENERGIZE YOUR WORLD

3 MW New Variant, 1500E 620 Nm<sup>3</sup>/h

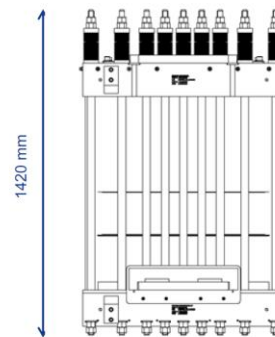
Такие электролизеры уже созданы (Hydrogenics, ITM) и используются в пилотных проектах P2G

Заявленная стоимость 1.5 - 2 млн. евро/МВт

Прогнозы по снижению: до 1 млн. евро/МВт в 2020



Power Input: 1.5 MW  
Hydrogen Output: 310 Nm<sup>3</sup>/h  
Design Pressure: 40 bar



Power Input: 3.0 MW  
Hydrogen Output: 620 Nm<sup>3</sup>/h  
Design Pressure: 40 bar





«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Электролиз воды в России

Большинство отечественного электролизного оборудования физически и морально устарело (реальный срок эксплуатации 30 лет и более) и не удовлетворяет современным требованиям.

**В настоящее время выпуск серийных отечественных электролизных установок практически прекращен.**

**Необходима разработка серийных отечественных щелочных и полимерэлектролитных электролизеров воды для обеспечения инновационного развития.**

В настоящее время отечественный рынок захватывают иностранные компании такие как Hydrogenics (Бельгия-Канада), Norsk Hydro (Норвегия), Teledyne Inc. (США), предлагающие электролизные установки с энергопотреблением 4.1 - 4.3 кВтч/нм<sup>3</sup>H<sub>2</sub> при плотности тока 0.3 А/см<sup>2</sup> и выше.

Например, с 2006 г. в России установлено свыше 30 установок HySTAT-A фирмы Hydrogenics производительностью от 10 до 480 нм<sup>3</sup>/ч, характеризующихся низким удельным расходом электроэнергии 4.2 кВтч/Нм<sup>3</sup>.

Электролизеры HySTAT-A устанавливаются на многих, в том числе и критических, производствах:

- Атомная промышленность: Российский Федеральный Ядерный Центр, г. Снежинск, ОАО "Новосибирский завод химконцентратов", г. Новосибирск
- Электронная промышленность: ФГУП НИИ "ПОЛЮС" (г. Москва), ОАО «НПП „Алмаз“» (г. Саратов), ОАО «Завод полупроводниковых приборов» (г. Йошкар-Ола)
- Заводы твёрдых сплавов: Кировградский, Московский, ЗАО "Вольфрам" (г. Брянск)
- Стекольные заводы: Главербель Клин, «Пилкингтон Гласс», Ставропольский
- Энергетическая отрасль: Нововоронежская АЭС, Киришская ГРЭС, Дубровская ТЭЦ



«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Способы хранения водорода

Водород можно хранить либо в чистом виде, либо в виде химических соединений с высоким содержанием водорода, из которых, при необходимости, он может быть легко получен непосредственно на борту транспортного средства в одном из следующих процессов:

## 1. Физический:

- a. **сжатие** водорода
- b. **ожидение** водорода. Водород, обладающий низкой критической температурой, необходимо охлаждать до температуры ниже 20 К, чтобы сохранять его в жидком состоянии в сосудах без избыточного давления
- a. **адсорбция** газообразного водорода некоторым подходящим адсорбентом, например, активированным углем, капиллярами и т.д.

## 2. Химический:

- a. **соединения с сильной водородной связью**, требующие реализации относительно сложных химических процессов для получения водорода. К таким соединениям можно отнести, например, метанол, этанол, аммиак, а также воду, которую можно рассматривать как «носитель» водорода;
- b. **гидриды металлов**, то есть соединения «металл»-«водород», обладающие свойством обратимо абсорбировать и десорбировать водород при изменении температуры.





«Альтернативная и интеллектуальная  
энергетика»

# Стационарное хранение сжатого водорода

Водород может храниться в сосудах большого объема, изготовленных из стальных труб.

Например, в анализе DOE рассматривались стальные трубы на давление 17.5 МПа диаметром 1.25 м и длиной 7.6 м, при этом стоимость хранения составила около \$1000 за 1000 кг  $H_2$  в сутки.

Хранение водорода под рабочим давлением **160 атмосфер** в стационарных условиях происходит в трубах-контейнерах, часто объединённых по **18 штук**. Это позволяет запасти до **700 кг** водорода.





«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

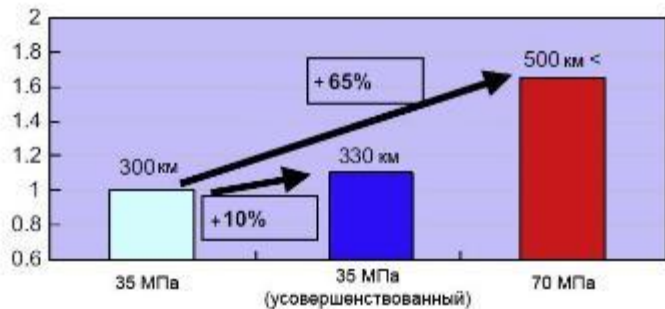
# Баллоны высокого давления



Баллон на 35 МПа



Баллон на 70 МПа



Баллон на 35 МПа объемом 180 л и весом <100 кг позволяет хранить 3 кг водорода (эквивалент 16 л бензина).

Использование высоких давлений позволяет увеличить дальность действия водородных автомобилей.

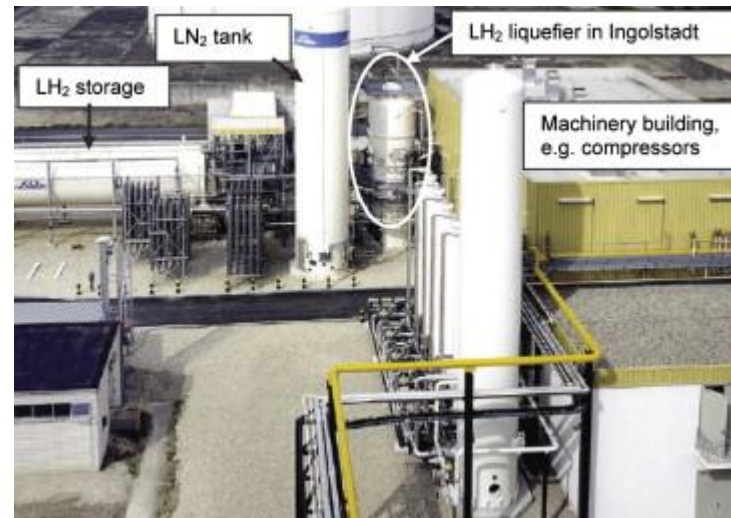


«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Хранение водорода в жидком виде

Плотность жидкого водорода составляет **70,8 кг/м<sup>3</sup>**, что в **1,83 раза** больше чем в газообразной форме при давлении в **700 Атмосфер**.

Однако сам процесс сжижения водорода энергоёмкий: от **25** до **45 %** энергии сжиженного водорода расходуется на сам процесс сжижения. Хранится жидкий водород в криогенных контейнерах, конструкция которых сильно отличается от конструкции композитного баллона для хранения газообразного водорода. При этом в лучших системах хранения потери по массе составляют до **1,5 % в день**.



Завод Linde в Ингольштадте



«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Адсорбционные способы хранения водорода

Водород состоит из ковалентно связанных неполярных молекул, способных взаимодействовать с поверхностью адсорбента посредством дисперсионных Ван-дер-Ваальсовых сил. Указанное взаимодействие является достаточно слабым (1-10 кДж/моль), и выше критической температуры его глубина не превышает одного монослоя.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что материалы для хранения адсорбированного водорода должны характеризоваться высокой удельной поверхностью (рассчитанное отношение содержания водорода, масс. %, к удельной поверхности, м<sup>2</sup>/г, составляет  $2,27 \cdot 10^{-3}$ ), причем существенные адсорбционные емкости будут наблюдаться только при пониженных температурах.





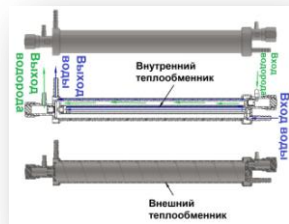
«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Металлогидридные технологии

Полный цикл от разработки новых гидридообразующих материалов до создания пилотных систем хранения, очистки и компримирования водорода, аккумулирования энергии ВИЭ, автономных водородных источников резервного энергоснабжения на топливных элементах.

**Продукция с перспективой коммерциализации**

Реакторы хранения водорода



Системы хранения водорода



Системы очистки и компримирования водорода



Биоводородные энергоустановки





«Альтернативная и интеллектуальная  
энергетика»

# Электрохимический генератор (топливный элемент)

**Электрохимический генератор (ЭХГ)** – химический источник тока, в котором реагенты (обычно газообразные или жидкие вещества) в ходе электрохимической реакции непрерывно поступают из специальных резервуаров к электродам.

ЭХГ состоит из батареи топливных элементов, систем хранения и подачи реагентов, отвода продуктов реакции, контроля и автоматического управления. В отличие от гальванических элементов, ЭХГ могут работать до тех пор, пока осуществляется подвод реагентов (топлива и окислителя) и отвод продуктов реакции.





«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Типы топливных элементов

- ЩТЭ Топливные элементы с щелочным электролитом
- МТЭ Метанольные топливные элементы
- РКТЭ Топливные элементы с расплавленным карбонатным электролитом
- ФКТЭ Топливные элементы с фосфорнокислым электролитом
- ТОТЭ Топливные элементы с твердооксидным электролитом
- ТПТЭ Топливные элементы с твердополимерным электролитом

|                                        | PEM FC                | AFC             | PAFC              | MCFC                          | ITSOFC          | SOFC            |
|----------------------------------------|-----------------------|-----------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|
| Электролит                             | Ионообменная мембрана | Гидроксид калия | Фосфорная кислота | Расплавленные карбонаты       | Керамика        | Керамика        |
| Рабочая температура                    | 80 °C                 | 60-200 °C       | 200 °C            | 650 °C                        | 600-800 °C      | 800-1000 °C     |
| Носитель заряда                        | H <sup>+</sup>        | OH <sup>-</sup> | H <sup>+</sup>    | CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> | O <sup>-2</sup> | O <sup>-2</sup> |
| Внутренняя конверсия CH <sub>4</sub>   | нет                   | нет             | нет               | да                            | да              | да              |
| Катализатор                            | Платина               | Платина, Никель | Платина           | Никель                        | Перовскиты      | Перовскиты      |
| Плотность мощности, кВт/м <sup>2</sup> | 2 ... 5               | 1 ... 2         | 1,9 ... 2,5       | 1,5 ... 2                     | ~ 2             | 1,6 ... 3       |
| Электрический КПД, %                   | 40 – 45               | 40 – 45         | 37 – 42           | 50 – 55                       | 50 – 55         | 50 – 55         |



«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Использование топливных элементов

Топливные элементы используются для производства электрической энергии последние несколько десятков лет из-за их высокого электрического КПД.

В настоящее время в основном используются три основных типа ТЭ:

- щелочные и твердополимерные, работающие при температурах до 100°C, разрабатываемые в основном для транспорта
- твердооксидные, работающие при температурах выше 350°C, используемые для стационарных приложений.
- Основная проблема: высокие капитальные затраты заявленный уровень \$3,000/кВт - per kW, нужно \$1000/кВт, актуальные цены могут быть и до 25–50 раз выше.
- Например, в 2014г. \$15,000 за 1 кВт CHP PEM (с установкой) при поставке 20,000 систем в год.

Поставки ТЭ по приложениям



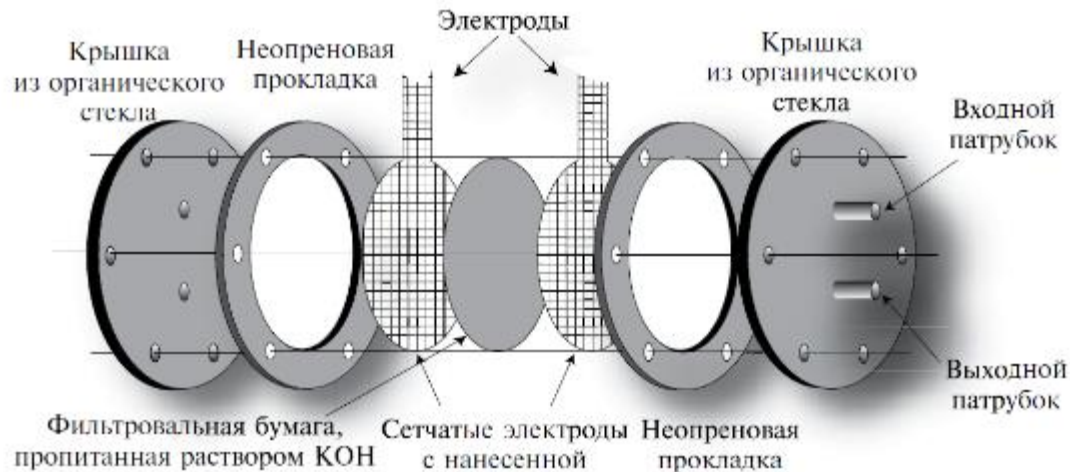
Поставки ТЭ по регионам





«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Типовая конструкция



Конструкция  
простейшего  
демонстрационного  
щелочного топливного  
элемента

Кажущаяся простота конструкции ТЭ таит много подводных камней, связанных с существенной неоднородностью потоков массы и энергии в условиях границы раздела трех фаз и сложной внутренней геометрии



«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Водородный транспорт

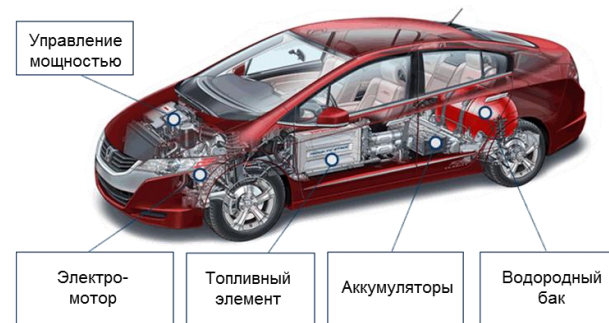
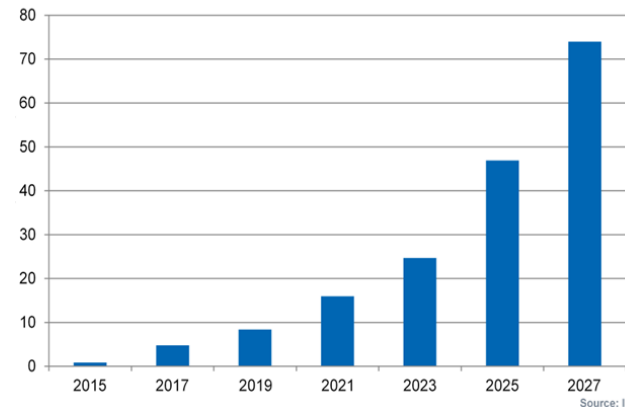
Водород может играть ключевую роль в среднедальних и магистральных перевозках автомобильным и железнодорожным транспортом, в прибрежном и международном судоходстве, в авиационных перевозках.

В продаже уже доступны три модели автомобилей на топливных элементах:

Toyota Mirai, Hyundai ix35/Tucson и Honda Clarity

Автомобили на ТЭ имеют преимущество перед электромобилями в скорости заправки и дальности хода.

Производство водородных автомобилей, тыс. шт.

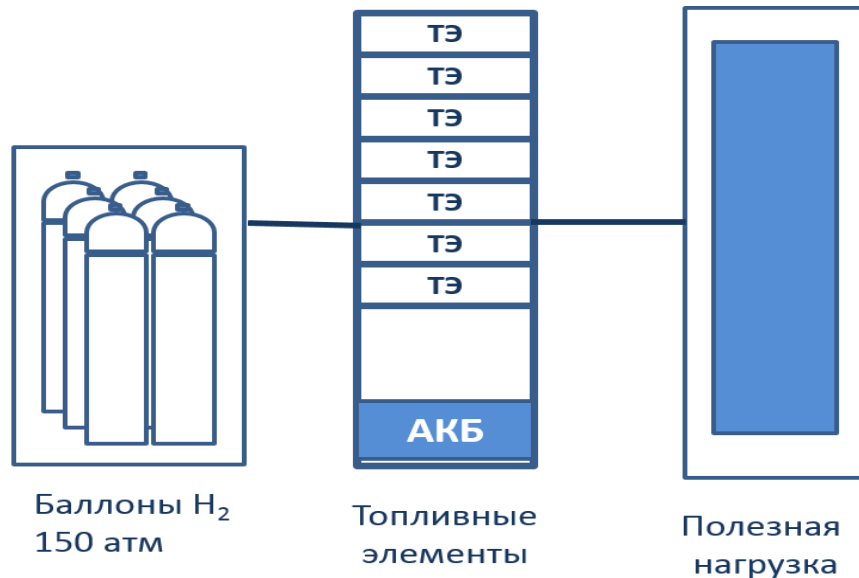


American Honda Motor Corp.



«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Схема ИБП: система хранения + ТЭ



Преимущества:

- отработанная технология (опыт эксплуатации с 2008 г. в ОАО РЖД, ОАО МТС)

Недостатки:

- необходимость транспортировки и обслуживания сосудов высокого давления
- не является САЭ (привозной водород)





«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Схема ИБП: электролизер + система хранения + ТЭ

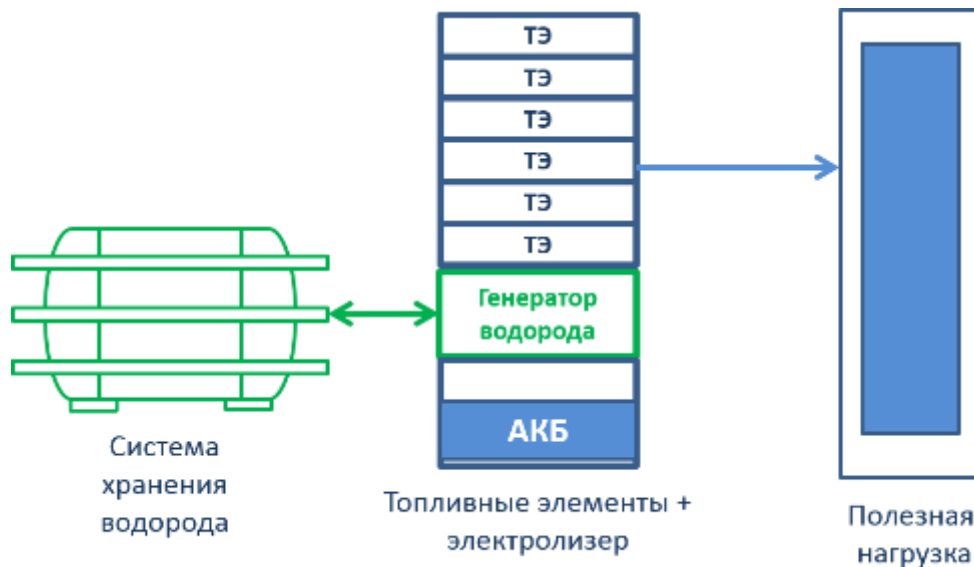
Преимущества:

- Автономность
- Снижение эксплуатационных расходов на доставку

Проблема:

выбор способа хранения водорода

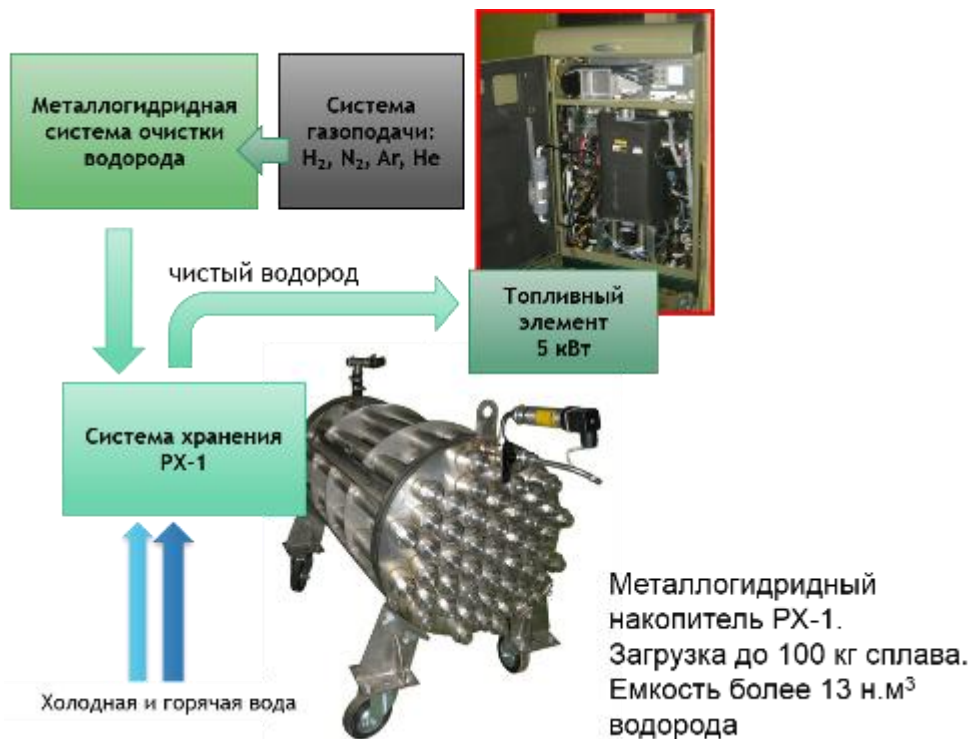
- Высокое давление
- Низкое давление
- Металлогидриды





«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Интеграция ТЭ и металлгидридной системы



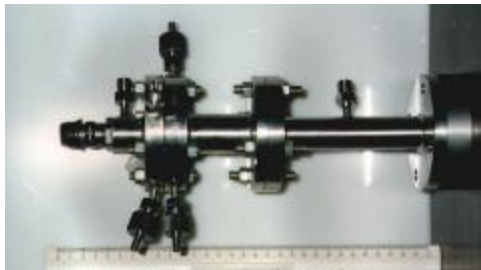
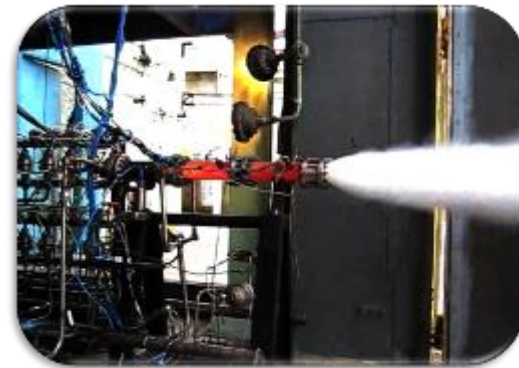


«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Водородосжигающие технологии

Водородо-кислородные парогенераторы и воздушонагреватели тепловой мощностью от 100 кВт до 20 МВт и паротурбинная энергоустановка мощностью 5 МВт. Перспективы внедрения:

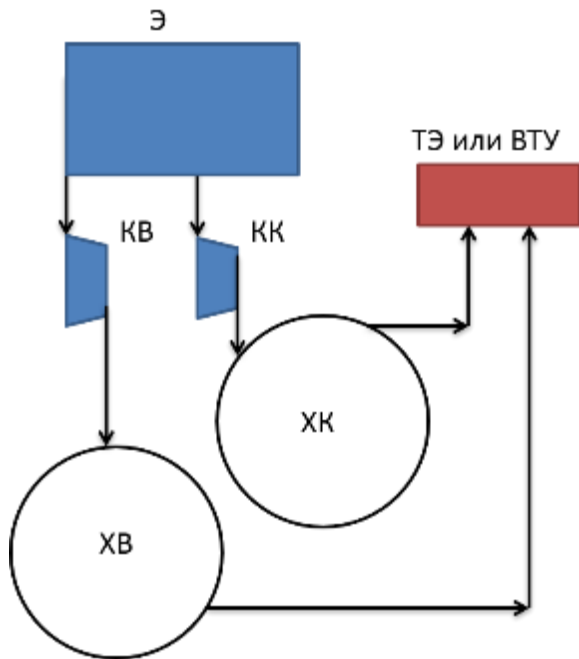
- пиковые надстройки ТЭС (load management);
- автономные водородные энергоустановки с паровой турбиной;
- системы аккумулирования энергии ВИЭ;
- системы пожаротушения и др.





«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Водородо-воздушные системы аккумулирования энергии



Э – электролизер;

КВ – компрессор водорода;

КК – компрессор кислорода;

ХВ – хранилище водорода;

ХК – хранилище кислорода;

ТЭ – топливный элемент;

ВТУ – водородная турбоустановка.

## Основные плюсы:

1. Нет выбросов при работе;
2. Относительно небольшой объем хранилищ;
3. Минимальное время запуска (при использовании ТЭ);
4. Высокая удельная мощность (при использовании ВТУ).

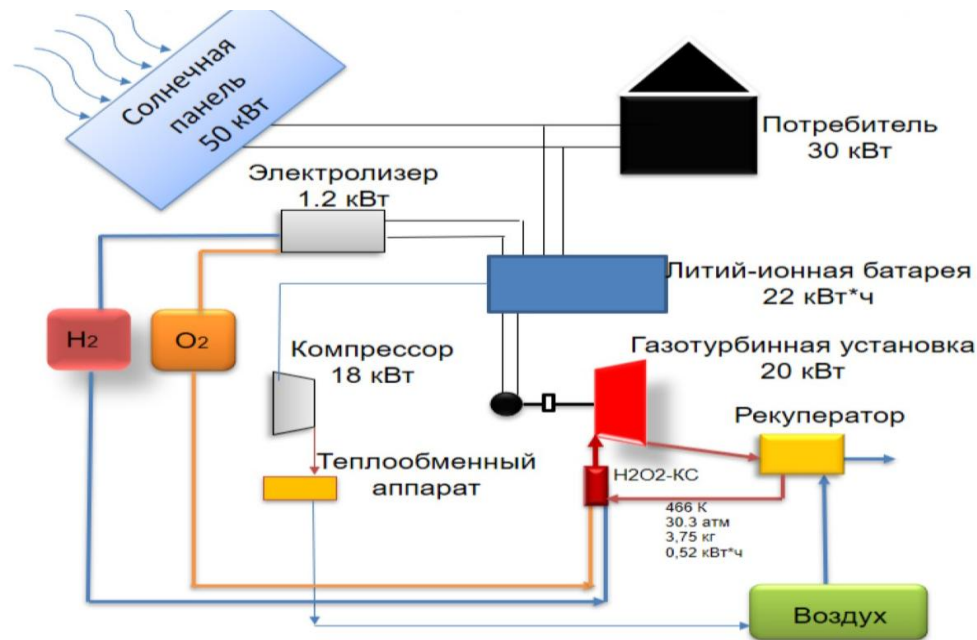
## Основные минусы:

1. Высокая стоимость электролизера и топливного элемента;
2. Низкий коэффициент рекуперации (до 0,55 для ТЭ и до 0,42 для ВТУ);



«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Схема водородо-воздушной газотурбинной системы аккумулирования







«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Результаты расчета для города Нальчик



Для прохождения зимнего периода требуется запастись **6450 кВт\*ч**

Теплообменный аппарат и рекуператор могут быть использованы для ГВС и отопления, что повысит коэффициент рекуперации до **88 %**.

Итоговая стоимость **1 кВт\*ч** даже с учетом затрат на строительство и доставку составит менее **35 долл.**

| Узел            | Литий-ионная батарея | Электролизер        | Компрессоры        | Хранилище воздуха           | Хранилища H <sub>2</sub> и O <sub>2</sub> | Газотурбинная установка |
|-----------------|----------------------|---------------------|--------------------|-----------------------------|-------------------------------------------|-------------------------|
| Параметр        | Емкость<br>30 кВт*ч  | Мощность<br>1.2 кВт | Мощность<br>18 кВт | Объем<br>184 м <sup>3</sup> | Объем<br>11.2 м <sup>3</sup>              | Мощность<br>20 кВт      |
| Стоимость, долл | 12000                | 1800                | 5500               | 68400                       | 8200                                      | 16000                   |



«Альтернативная и интеллектуальная энергетика»

# Выводы

- В мире наблюдается тенденция на сокращение использования углеводородного топлива в энергетике и замене его возобновляемыми источниками энергии;
- По мере увеличения доли возобновляемых источников энергии в энергетике потребность в крупных системах аккумулирования будет возрастать;
- Водородные технологии в настоящее время рассматриваются как одни из наиболее перспективных для решения задач аккумулирования как в централизованной энергетике так и в системах автономного энергоснабжения с долгосрочным хранением энергии;
- Россия обладает высоким потенциалом для занятия высокой доли на развивающемся водородном рынке;
- Будущее водородной энергетики, о котором говорилось последние 20 лет начинает наступать.



**Спасибо за внимание**