



Ученый совет ОИВТ РАН
26 марта 2012 г.

Водородные технологии для стационарной энергетики

С.П. Малышенко

**Лаборатория водородных энергетических технологий
Объединенный институт высоких температур РАН**

h2lab@mail.ru

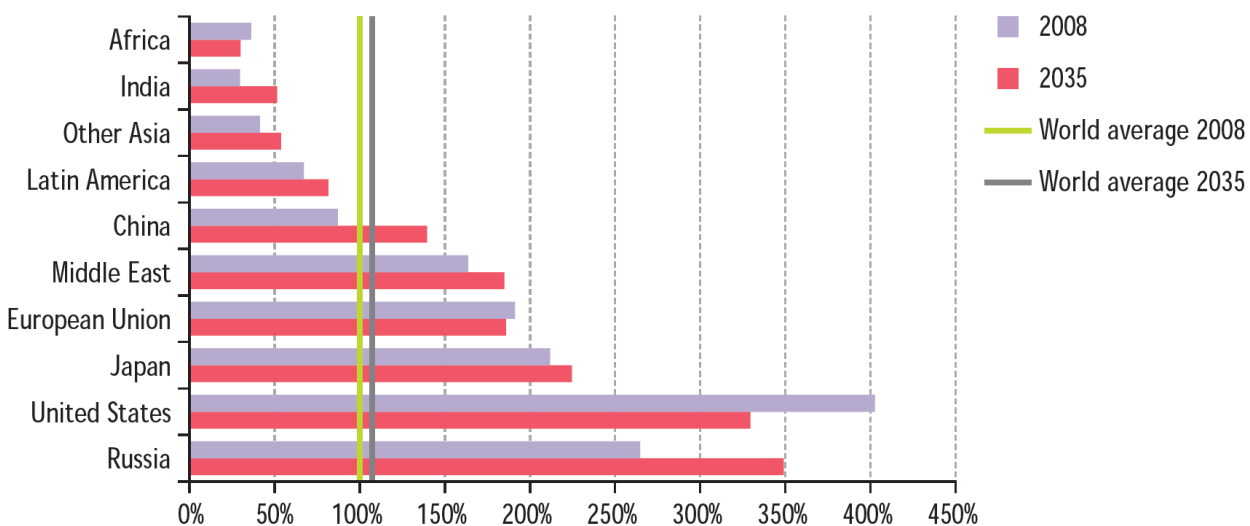


Цели энергетической стратегии 2030

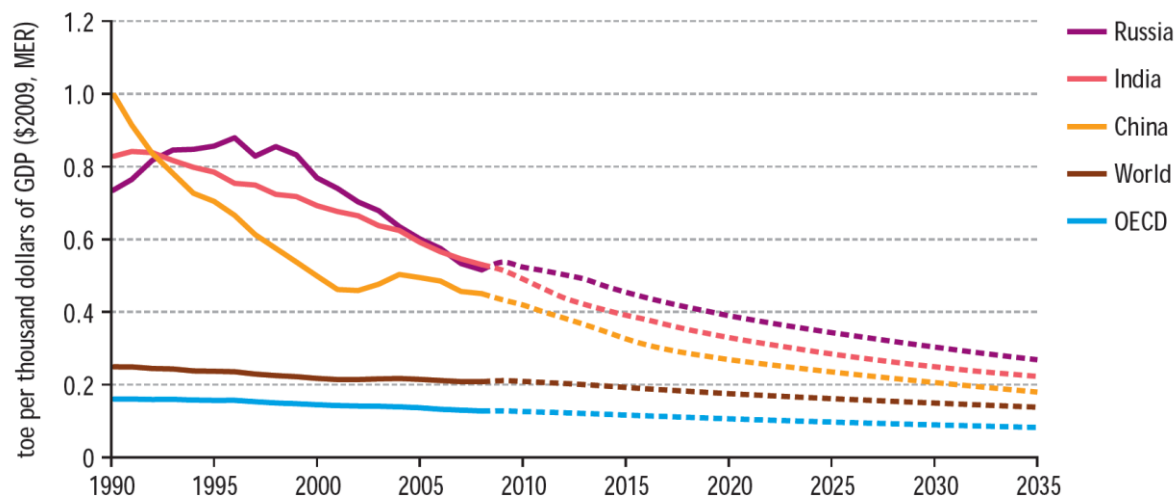
Приоритеты исследований и разработок водородных технологий определяются основными целями социально-экономического развития Российской Федерации

| | |
|--|---------------------------|
| Ежегодный ВВП на душу населения | 30 000 – 35 000 USD(2000) |
| Энергопотребление в тоннах условного топлива | 0.32-0.34/1000 USD ВВП |
| Потребление электроэнергии | 0.35-0.37 кВт ч/USD ВВП |
| Ежегодный объём производства электроэнергии | 2000 млрд. кВт ч |
| Энергосбережение (к 2020 г.) | 400 млн. т.у.т. |

Повышение эффективности использования энергии - главная задача развития энергетики России



Подушевое потребление энергии в России находится на уровне наиболее развитых мировых экономик.

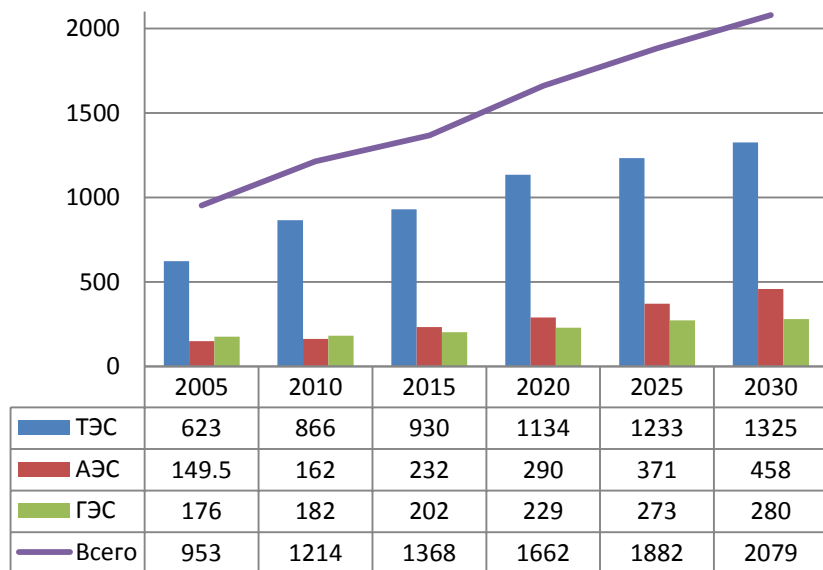


При этом затраты энергии на создание единицы ВВП в России существенно выше, чем в прочих развитых странах.

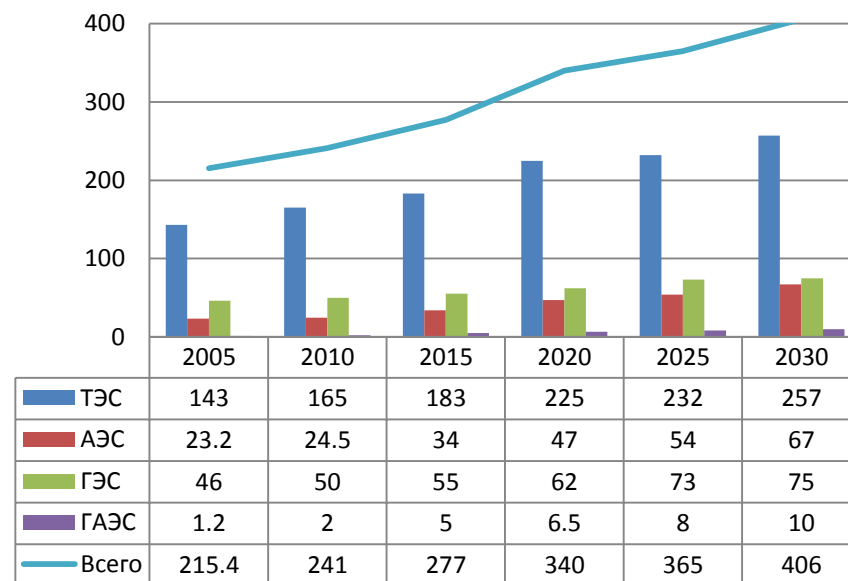
[IEA World Energy Outlook 2010]

Структура выработки электроэнергии к 2030 (сценарий “2000”)

Структура выработки электроэнергии,
млрд. кВт ч



Структура генерирующих мощностей,
ГВт



Введение мощностей к 2030

| | | |
|----------------|-----------|---|
| ТЭС | 250 ГВт | Уголь (110 ГВт) и ПГ (150 ГВт) |
| АЭС | 67 ГВт | Новые (44 ГВт) и модернизируемые (23 ГВт) |
| ГЭС | 66 ГВт | Новые (20 ГВт) и модернизируемые (46 ГВт) |
| Маневровые | 9 ГВт | GAЭС и водородные |
| Распределенные | 20-30 ГВт | Включая ВИЭ (10-20 ГВт) |

Этапы реализации «дорожной карты» в ТЭК

Энергетическая стратегия 2030*

| 2008-2012 | 2013-2020 | 2021-2030 |
|--|---|---|
| Ресурсно-инновационное развитие | Инвестиционно-инновационное обновление | Инновационное развитие |
| Создание задела по масштабному развитию и обновлению основных производственных фондов и инфраструктуры энергетического сектора | Реализация масштабных капитальных проектов модернизации материально-технической и технологической базы ТЭК России | Развитие на основе новых технологий, оборудования и принципов формирования ТЭК РФ, развитие новой неуглеводородной энергетики |

*Институт энергетической стратегии

Технологии водородной энергетики

| 2008-2012 | 2013-2020 | 2021-2030 |
|---|--|---|
| НИР; НИОКР; Экспериментальные образцы; Прототипы | НИОКР; НИР; Прототипы; Системная интеграция; Демонстрационные проекты | ОКР; ОТР; Развитие инфраструктуры; Коммерциализация |

Водородные технологии для реализации энергетической стратегии 2030

- Создание водородных систем аккумулирования энергии и покрытия неравномерностей графика нагрузки для АЭС и ТЭС – 2...5 ГВт (э);
- Создание водородных систем аккумулирования энергии для автономных и распределенных энергоустановок на основе ВИЭ – до 10 ГВт (э);
- Создание технологии повышения маневренности ПГУ для их участия в ОПРЧ и НПРЧ – до 20 ГВт;
- Повышение энергоэффективности ЭС с влажнопаровыми ТУ (АЭС, ГеоТЭС);
- Создание аварийных и резервных турбоустановок, в т.ч. для обеспечения пожаробезопасности;
- Создание интегрированных систем производства ЭЭ и H_2 (потребность НПЗ порядка 3...4 млн. т водорода в год)

Водородные технологии производства электроэнергии

Топливные элементы

соотношение потоков энергии:

1 : 10 000

отношение площадей поверхности критических сечений:

10 000 : 1

**Предпочтительнее
при малых мощностях**

Поток энергии ограничивается диффузией носителей заряда в электролите

$$W_{\max}^{\text{FC}} \sim 10^3 \text{ Вт/м}^2$$

Турбоустановки

**Предпочтительнее
при больших мощностях**

Поток энергии ограничивается скоростью звука в критических сечениях:

$$W_{\max}^{\text{SG}} \sim \alpha \rho \Delta H_T \sim 10^{10} - 10^{11} \text{ Вт/м}^2$$

и возможностью превращения механической энергии в электрическую в турбогенераторе:

$$W_{\max}^{\text{EG}} \sim \alpha \omega H_m^2 / 4\rho \sim 10^7 \text{ Вт/м}^2$$

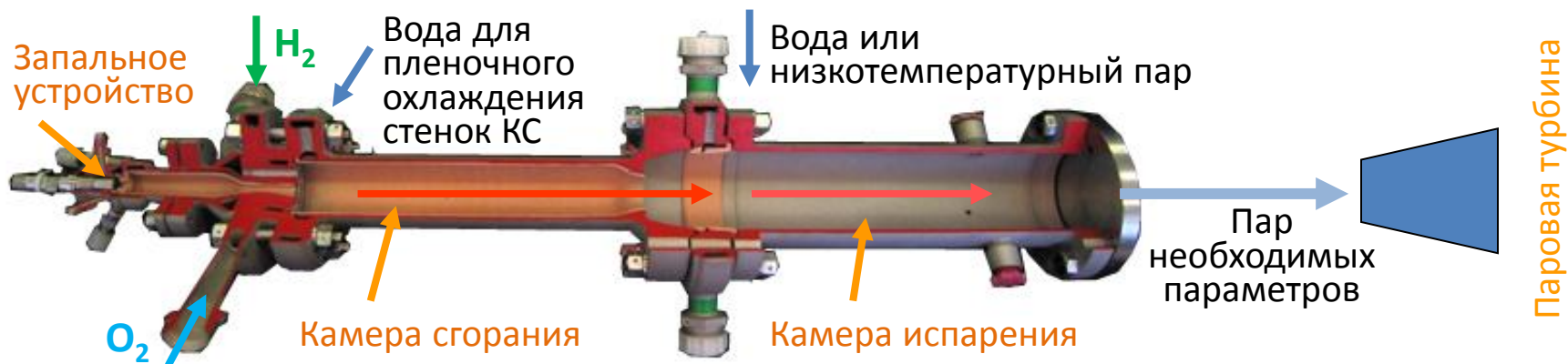
Ключевые проблемы

Создание систем топливообеспечения на основе твердофазных водородопоглощающих материалов

Создание водородных парогенераторов и парогазогенераторов

Создание энергоустановок с использованием водородо-кислородных парогенераторов

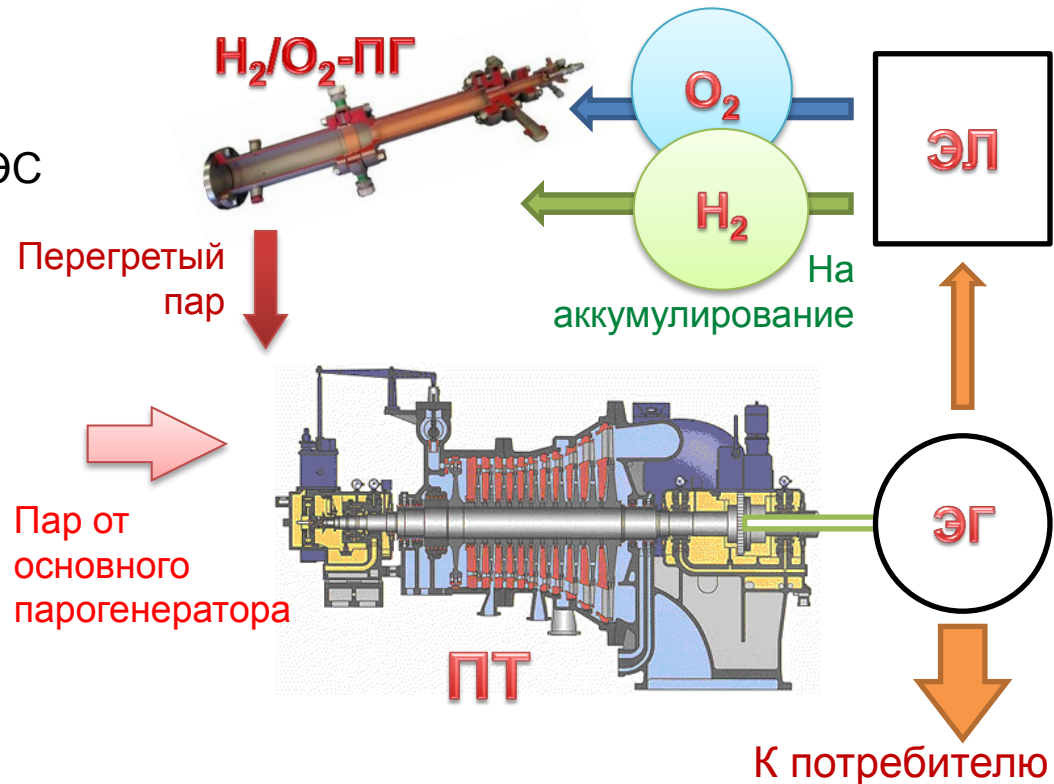
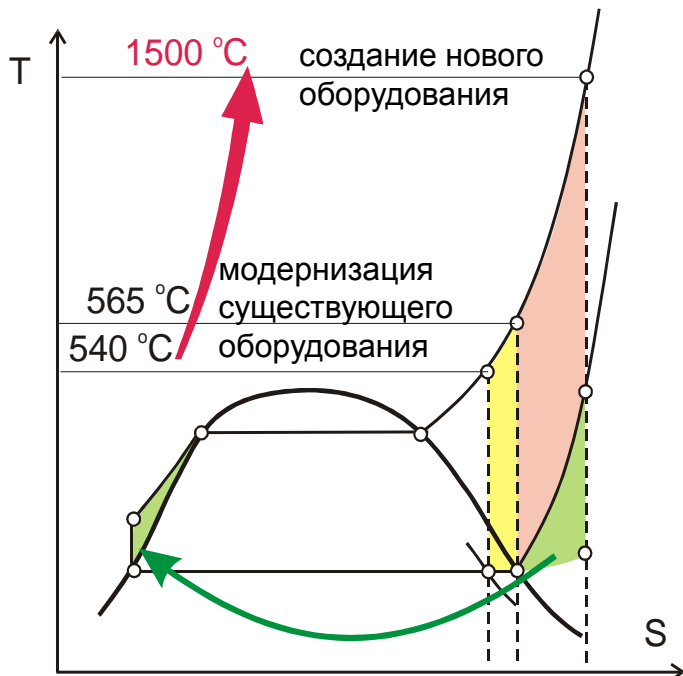
Водородо-кислородные парогенераторы



| Характеристики парогенераторов | Водородо-кислородные | Традиционные (уголь, нефть, газ) |
|--------------------------------|-------------------------------|--|
| Максимальная температура пара | 1000-1700 °С | 500-600 °С |
| Способ теплопередачи | смешение | через стенку |
| КПД | 98-99,5% | 90-94 % |
| Объемная мощность | более 2000 МВт/м ³ | менее 0,2 МВт/м ³ |
| Материалоемкость | менее 2 кг/МВт | более 2000 кг/МВт |
| Время выхода на режим | менее 10 сек. | более 10000 сек. |
| Выбросы при работе | НЕТ | CO ₂ , NO _x , SO _x и т.д. |

Водородные технологии для электростанций

Высокая температура генерируемого пара, компактность и маневренность устройств позволяют использовать водородосжигающие установки для систем аккумулирования энергии на ЭС и повышения их эффективности



Обозначения:

H_2/O_2 -ПГ – водородно-кислородный парогенератор; ПТ – паровая турбина; ЭГ – электрогенератор; ЭЛ – электролизер; O_2 , H_2 – хранилища кислорода и водорода

Модернизация энергоблока на базе турбины К-200-130 с водородным перегревом пара

Эффект водородного перегрева пара (увеличение расхода пара и перегрев с 540°C до 565 °С)

Расход H_2/O_2 (газ) тыс. н.м³/ч 11.5 / 5.82

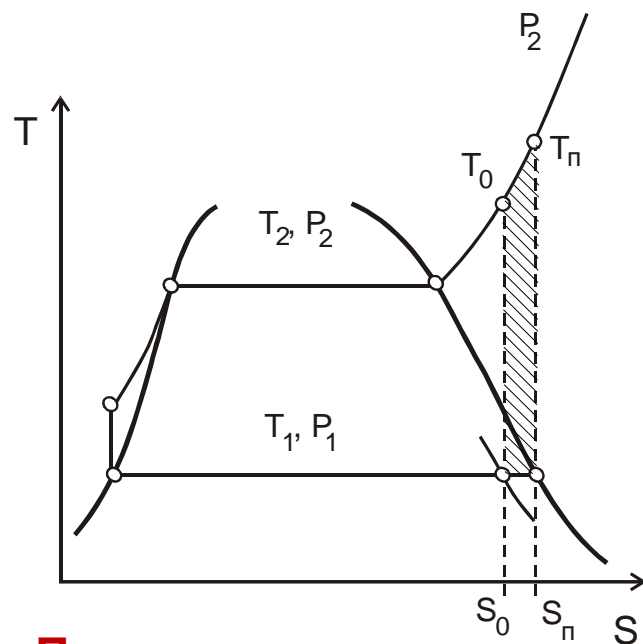
Дополнительная мощность ΔW , МВт 20.1

Удельное теплотребление при производстве ЭЭ, г.у.т./кВт ч 262

КПД без водородного перегрева, % 40.3

КПД с водородным перегревом, % 42.3

КПД использования водорода, % 57.5



Параметры электростанции:

паропроизводство: 640 т/ч;
 $W = 200$ МВт;
 $P = 130$ атм, $T = 540$ °С;
 Удельное теплотребление при производстве ЭЭ:
 275 г.у.т./кВт ч

Водородно-кислородная система покрытия неравномерностей графика нагрузки на ТЭС и АЭС

Ключевые преимущества:

- ❑ Минимальные затраты на модернизацию ТЭС и АЭС (500-700 долл./кВт).
- ❑ Создание системы аккумулирования электроэнергии и покрытия неравномерностей графика нагрузки на ТЭС и АЭС
- ❑ Повышение надежности и КПД электростанции, за счет обеспечения ее работы в базовом режиме и осуществления перегрева пара. Повышение КИУМ до 0,9

В этом случае водород и кислород производятся электролизом воды в часы провала графика нагрузки, поступают в хранилища и используются в водородно-кислородных парогенераторах для дополнительного получения и перегрева пара, поступающего в турбину ЭС, увеличивая её мощность на 10-15%, что допускается используемыми сегодня типами турбоагрегатов и турбогенераторов ЭС.

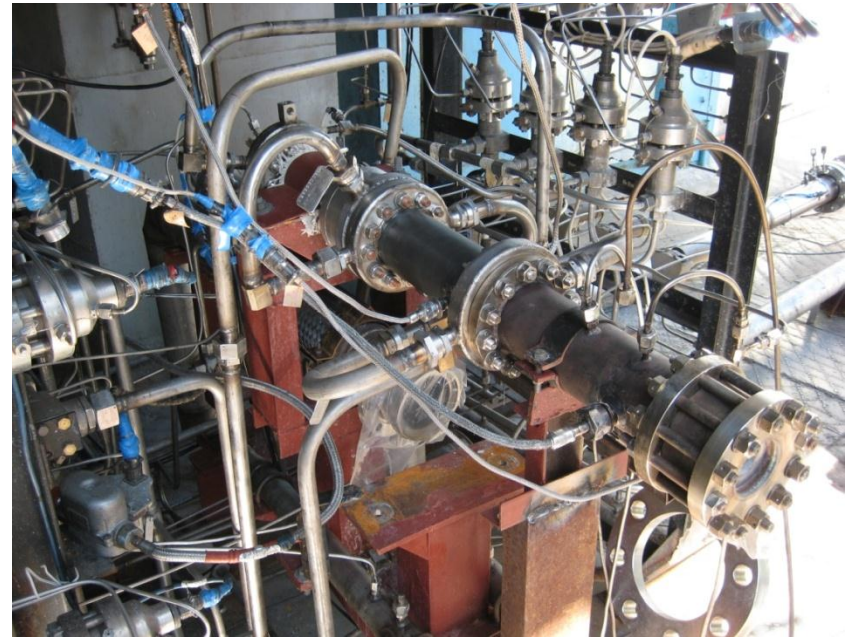
Дополнительный перегрев пара осуществляется путем смешения продуктов сгорания водорода в кислороде при стехиометрическом составе с основным расходом пара из парогенератора АЭС или ТЭС, поступающим в турбину.

Водородно-кислородные парогенераторы и пароперегреватели для перспективной энергетики

высокоэффективные водородосжигающие установки для получения высокотемпературного водяного пара и перегрева пара на ТЭС и АЭС.

Перспективные области применения:

- ❑ Создание водородных систем аккумулирования энергии и покрытия неравномерностей графика нагрузки для АЭС, угольных ТЭС и энергоустановок с ВИЭ с коэффициентом рекуперации электроэнергии не менее 50% в интервале мощностей от 0,1 до 100 МВт.
- ❑ Компактные источники высокотемпературного пара для технологических процессов переработки природных топлив и биомассы.
- ❑ Автономные системы аккумулирования и производства тепловой и электрической энергии для предприятий, имеющих водород в качестве побочного продукта производства.



Основные особенности:

- **Высокая удельная мощность**
- **Высокая температура пара (до 1700 К)**
- **Минимальное время запуска (менее 10 сек)**
- **Экологическая чистота**

Водородно-кислородная пиковая надстройка для турбины К-220-44 Нововоронежской АЭС

| Параметр | Номинальный режим | Пиковый режим с водородно-кислородной надстройкой |
|--|-------------------|---|
| Мощность турбоустановки | 220 МВт | 231 МВт, прирост 5% |
| КПД номинальный | 35% | 36,4% |
| КПД средний реальный | 31% | 31,3%, с учетом затрат на электролиз |
| Оценка характеристик водородно-кислородной пиковой надстройки | | |
| Вырабатываемая мощность | | 11 МВт |
| Требуемая тепловая мощность | | 30.2 МВт |
| КПД использования водорода | | 56,4% |
| Время работы пиковой надстройки в неделю | | 2 ч |
| Производительность электролизеров (наработка 140 ч в неделю) | | 144 н.м ³ /ч |
| Стоимость электролизеров | | 33,5 млн. руб. |
| Объем хранилищ водорода/кислорода | | 412 / 208 н.м ³ |
| Стоимость хранилищ (в стальных трубах 1420x18.7) | | 8,3 млн. руб. |
| Суммарная стоимость основного оборудования пиковой надстройки | | 118,8 млн. руб. |
| Стоимость создания системы, включая постройку сооружений | | 178,2 млн. руб. |
| Удельные капвложения в пиковую надстройку | | 16200 руб./кВт |
| Увеличение стоимости энергоблока | | 2,1% |

Участие ПГУ с использованием водорода в нормированном первичном регулировании частоты

Требования и возможность участия энергоблока в НПРЧ
(Стандарт РАО «ЕЭС России» СТО 17330282.29.240.002-2007)

| Показатель | Нормальный режим | | Аварийный режим | |
|--|-------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| | за первые 10 с | за 30 с | за первые 10 с | за 30 с |
| Время | | | | |
| Увеличение мощности (min) согласно стандарту | 2,5% N _{НОМ} (11,2 МВт) | 5% N _{НОМ} (22,5 МВт) | 6,25% N _{НОМ} (28,1 МВт) | 12,5% N _{НОМ} (56.2 МВт) |

Увеличение мощности при разных способах управления

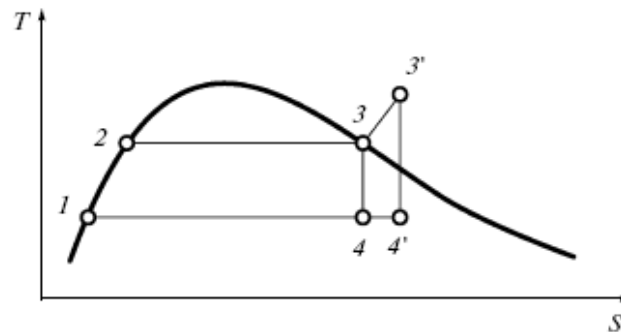
Воздействие на ГТ:

| | | | | |
|--|----------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| нормальная скорость 11 МВт/мин | 3,7 МВт | 12 МВт | не рассматривается | |
| + воздействие на поворотную диафрагму ПТ | 5,8 МВт | 18,3 МВт | | |
| + включение двух ВКП | Выполнение стандарта | Выполнение стандарта | | |
| допустимая скорость 30 МВт/мин | 10 МВт | Выполнение стандарта | 10 МВт | Выполнение стандарта |
| + воздействие на поворотную диафрагму ПТ | Выполнение стандарта | | 12,1 МВт | |
| + включение двух ВКП | | | 28,7 МВт | |

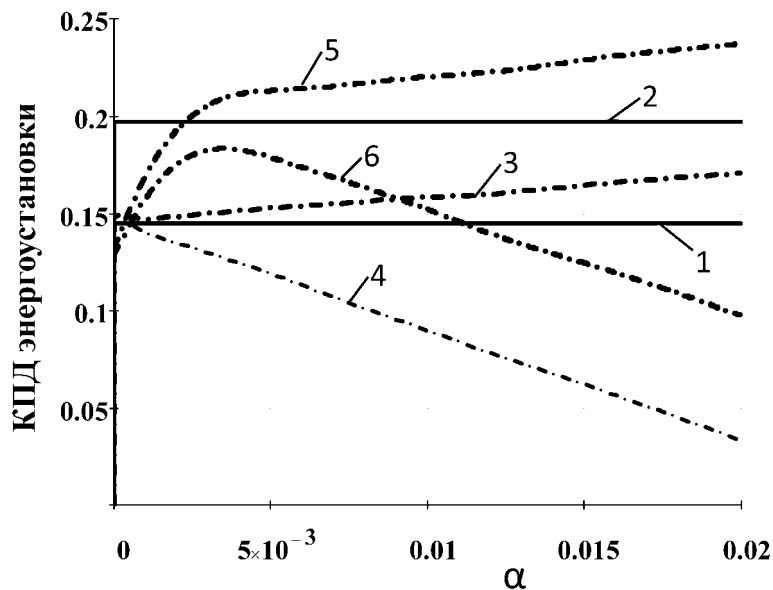
Водородно-кислородная система дополнительного перегрева пара для ГеоТЭС

Парогенераторы ГеоТЭС производят насыщенный или слабоперегретый пар, используемый во влажнопаровых турбинах с относительно низким КПД – от 12 до 18%.

Перегрев насыщенного пара из основного парогенератора смешением с продуктами сгорания водорода в кислороде при стехиометрическом составе позволяет заменить низкоэффективные влажнопаровые турбины на турбины на перегретом паре и повысить КПД паротурбинного цикла.



Термодинамический цикл ГеоТЭС с перегревом пара



Прирост КПД ГеоТЭС при замене влажнопаровой турбины турбиной на перегретом паре

- 1 – с влажнопаровой турбиной без перегрева пара;
- 2 – с турбиной на перегретом паре;
- 3 – с перегревом пара на влажнопаровой турбине (без учета электролиза);
- 4 – с перегревом пара на влажнопаровой турбине (с учетом электролиза);
- 5 – с перегревом пара и при установке турбины на перегретый пар (без учета электролиза),
- 6 – с использованием перегрева и при установке турбины на перегретый пар (электролиз учтен).

Разработка аварийных и резервных водородных ПТУ

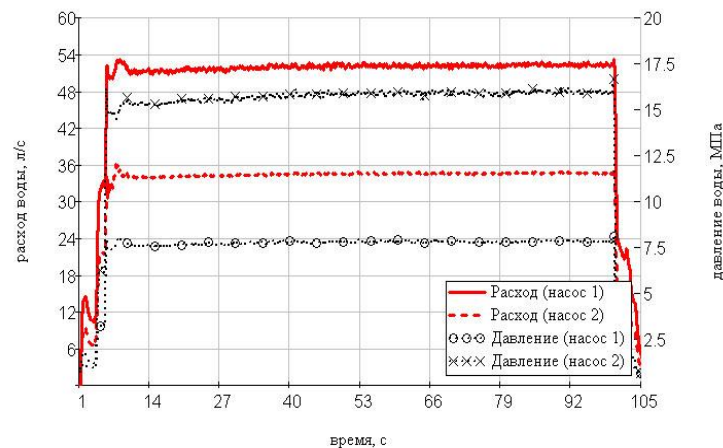
Водородно-кислородные энергоустановки — эффективные и компактные автономные аппараты, использующие водород и кислород для производства электроэнергии



Экспериментальная водородно-кислородная паротурбинная энергоустановка мощностью до 5 МВт на испытательном стенде (КБХА и ОИВТ РАН)

Основные параметры:

- ❑ Время запуска и выхода на основной режим менее 10 сек
- ❑ Удельная мощность 32 кВт/кг
- ❑ Расчетный КПД более 30%



Результаты экспериментов с двумя водяными насосами в качестве нагрузки

Создание огневого блока

Научно-технические барьеры

1. Обеспечение эффективного смесеобразования в камере сгорания, высокой полноты сгорания стехиометрической смеси при давлениях 3...10 МПа, подавление эффектов закалки состава;
2. Обеспечение защиты огневого дна при возникновении обратных течений в камере сгорания;
3. Обеспечение надежного охлаждения КС при наличии ограничений на расходы охлаждающей воды и при переменных режимах работы;
4. Обеспечение эффективного смешения компонентов и испарения воды в камере испарения, обеспечение равномерного поля температур на выхлопе.

Инновационные решения

1. Струйные форсунки топлива и окислителя с оптимизированными углами встречи и импульсами струй;
2. Создание восстановительной среды вблизи огневого дна;
3. Уменьшение концентрации пара в зоне горения за счет разделения потока охладителя на внутренний и внешний;
4. Двух- или многокаскадная система подачи балластировочного компонента в камеру испарения.

Оптимизация конструкции смесительных головок по результатам испытаний

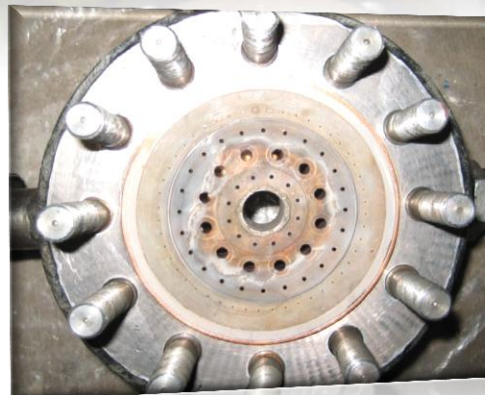
Конструкция смесительной головки с сооснотруйными форсунками



Доля неконденсирующихся газов в паре

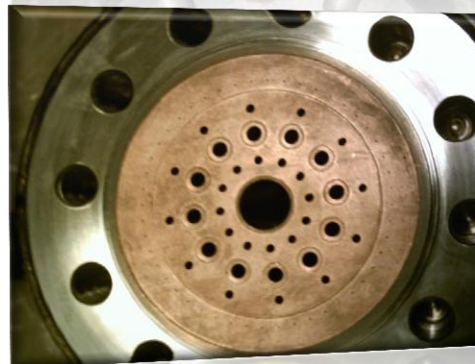
| Наименование | Объемная доля, % |
|--------------|------------------|
| Водород | 9,6 |
| Кислород | 5,82 |

Конструкция смесительной головки со струйно-струйными форсунками с дополнительными форсунками водорода



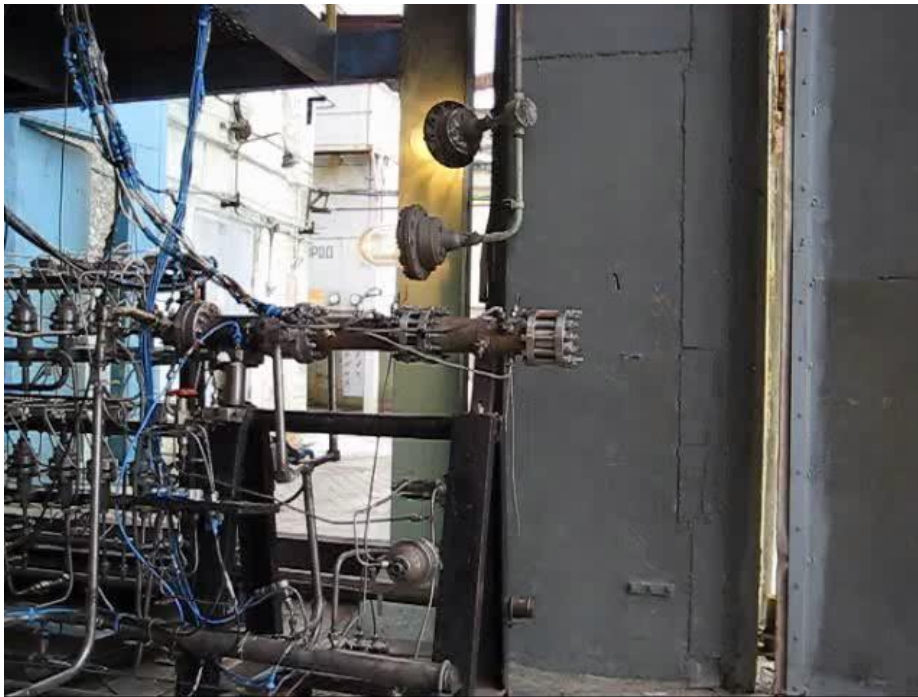
| Наименование | Объемная доля, % |
|--------------|------------------|
| Водород | 0,39 |
| Кислород | 1,18 |

Конструкция смесительной головки со струйно-струйными форсунками

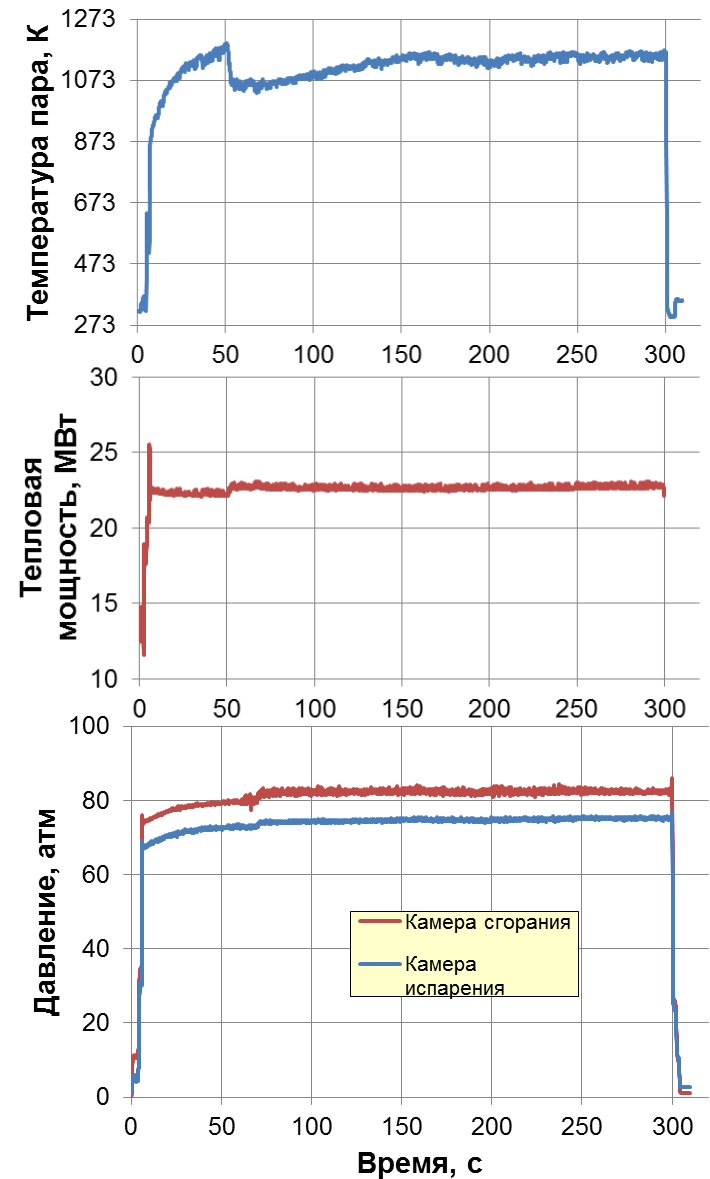


| Наименование | Объемная доля, % |
|--------------|------------------|
| Водород | 0,27 |
| Кислород | 1,04 |

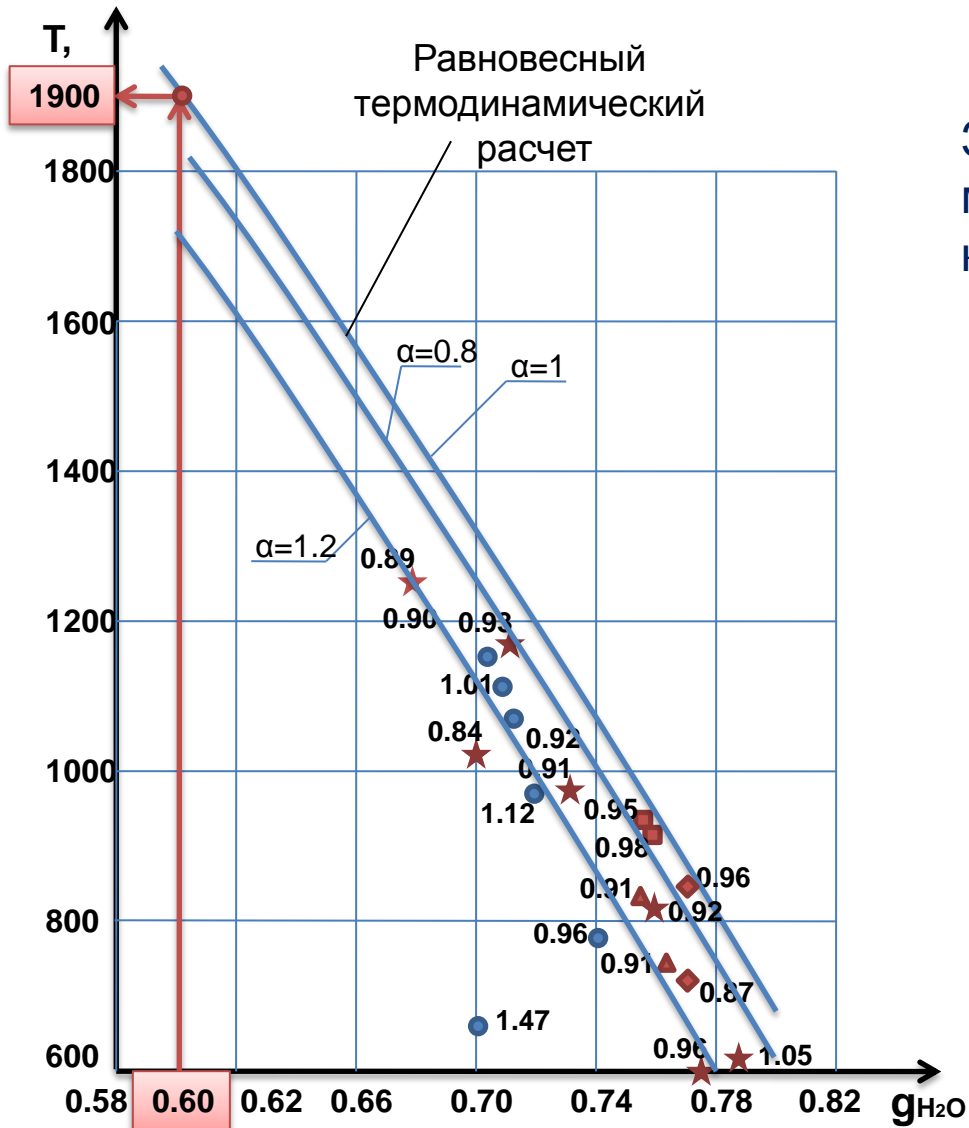
Результаты длительных огневых испытаний



| | |
|-------------------|-----------------------|
| Длительность | 300 с |
| Расход водорода | 2 н.м ³ /с |
| Тепловая мощность | 23,5 МВт |
| Температура пара | 1150 К |
| Давление пара | 75 атм |



Сравнение с теорией



Зависимость температуры пара от массовой доли воды при различных коэффициентах избытка окислителя

- Смесительная головка с сооснотруйными форсунками;
- ★ Смесительная головка со струйными форсунками с пересекающимися струями под углом θ ;
- ◆ Смесительная головка со струйными форсунками с пересекающимися струями под углом $\theta/2$;
- Смесительная головка со струйными форсунками с пересекающимися струями с дополнительными форсунками водорода.

Разработка водородо-кислородных парогенераторов

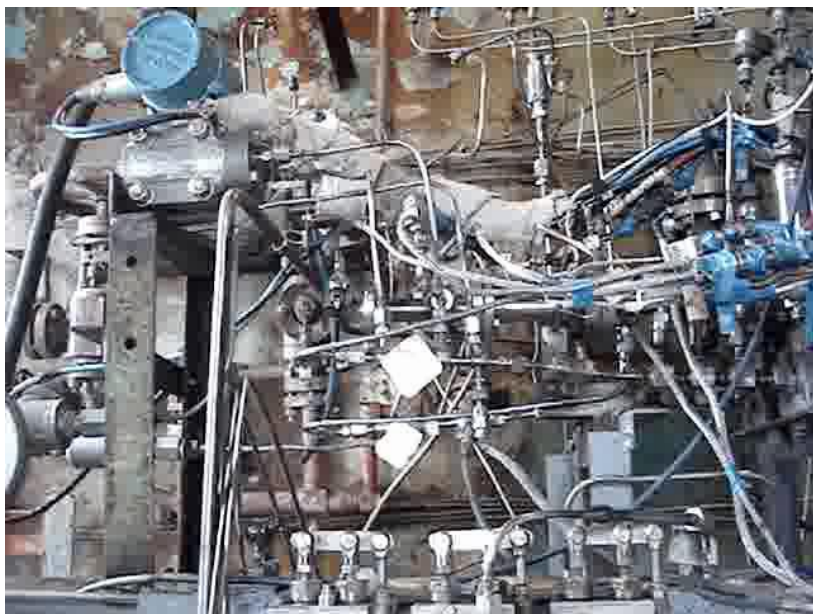
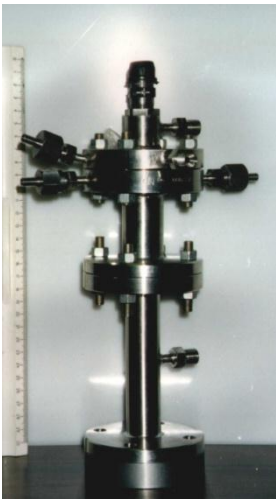
Выполнены исследования процессов парогенерации в устройствах различной мощности (20-150 кВт, 10-25 МВт)

Разработки технологии эффективного смесеобразования, подавления эффектов закалки, сжигания стехиометрических смесей компонентов, тепловой стабилизации огневого блока, управления процессом генерации пара

Разработаны, созданы и испытаны экспериментальные H₂/O₂ парогенераторы

| Модель | Тепловая мощность | Максимальные параметры пара | |
|--------|-------------------|-----------------------------|--------|
| | | T, К | P, МПа |
| 20 К | 20-100 кВт | 1100 | 0,5 |
| 100 К | 100-150 кВт | 1000 | 4 |
| 10 М | 10-20 МВт | 1200 | 7 |
| 25 М | 25-30 МВт | 1300 | 7,5 |

Кооперация ОИВТ РАН и ОАО КБХА



Водородо-кислородные энергоустановки для автономного, резервного и аварийного энергообеспечения



Водородо-кислородная турбоустановка ОАО КБХА мощностью 5 МВт с парогенератором ОИВТ РАН.

Использование:

- выработка электроэнергии на предприятиях, имеющих водород в качестве побочного продукта;
- аварийные системы пожаротушения;
- создание резервных и пиковых мощностей.

Преимущества:

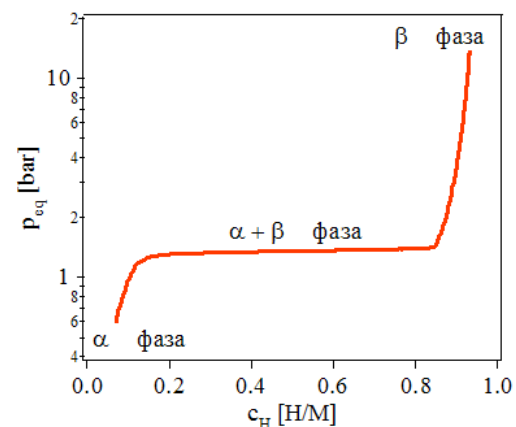
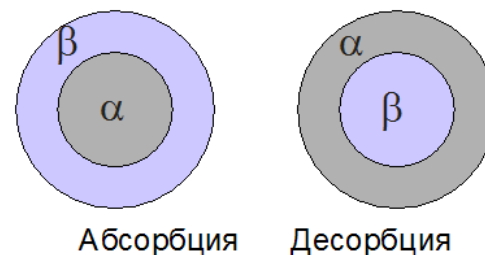
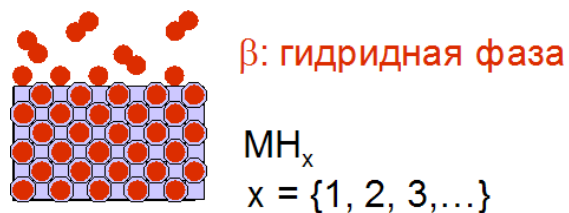
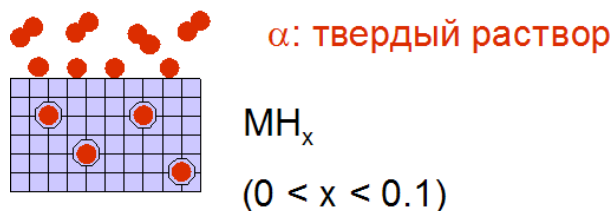
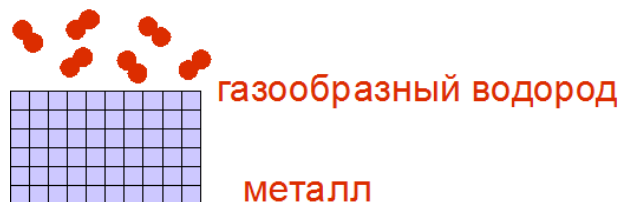
- Высокая удельная мощность.
- Минимальное время запуска (менее 10 сек.).
- Экологическая чистота при работе установки.
- Высокий КПД (более 30 %).
- Простота конструкции и низкая удельная стоимость оборудования (менее 300 долл/кВт).

СОЗДАНИЕ ЭНЕРГОУСТАНОВОК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТВЕРДОФАЗНЫХ ВОДОРОДОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Металлогидридные системы очистки и аккумулялирования водорода

Решаемая задача: устранение влияния крайней неравномерности распределения по времени потока энергии ВИЭ с помощью водородного аккумулялирования энергии

Назначение технологии: обеспечение автономных потребителей электроэнергией и теплом от ВИЭ по нужному графику на уровне мощности 5-20 кВт



Металлогидридные системы очистки и аккумуляирования водорода

Селективное поглощение водорода

(ВОЗМОЖНОСТЬ ОЧИСТКИ)

Компактно

(плотность выше, чем у жидкого водорода)

Преимущества технологии

Безопасно

(водород находится в связанном состоянии)

Дешево и эффективно

(нет затрат на сжатие или охлаждение)

Использование низкопотенциального тепла

(энергоэффективные технологии)

Проблема теплопереноса

(мелкодисперсные активированные засыпки материалов обладают низкой теплопроводностью)

Научно-технические барьеры

Проблема примесей

(примеси могут заполнять поровое пространство, блокируя сорбцию, а также «отравлять» материал)

Системная интеграция

(совместная работа систем хранения водорода и топливных элементов практически не изучена)

Системы твердофазного обратимого хранения и очистки водорода, интегрированные с энергоустановками на топливных элементах

Комплексный стенд 12-04 ОИВТ РАН

Потребители электроэнергии

системы автономного и бесперебойного энергоснабжения: узлы связи, медицинские учреждения, дата-центры и т.д.

Топливные элементы

Содержащий примеси технический водород

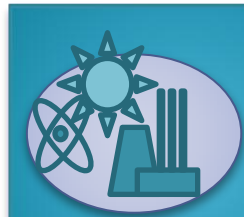
Хранение водорода в металлогидридах:
безопасно,
эффективно,
компактно

Потребители высокочистого водорода

Высокотехнологичные производства электронной, химической, пищевой и др. отраслей промышленности, водородоохлаждаемые турбогенераторы

Чистый водород

Очистка в металлогидридах:
избирательное поглощение водорода позволяет достигать высоких степеней чистоты



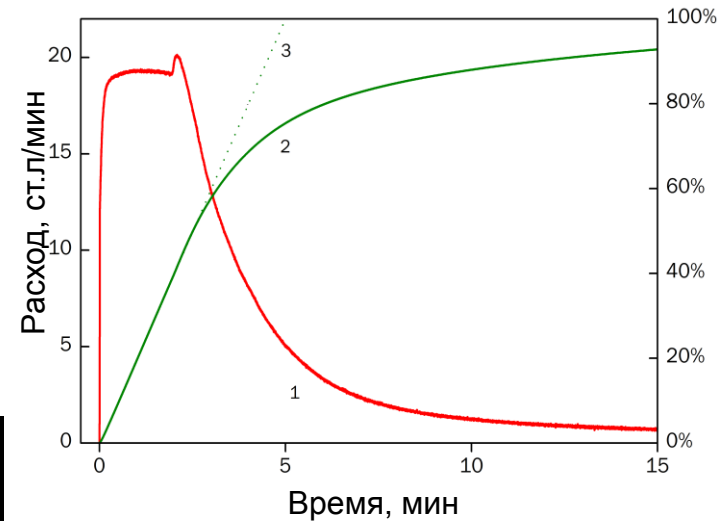
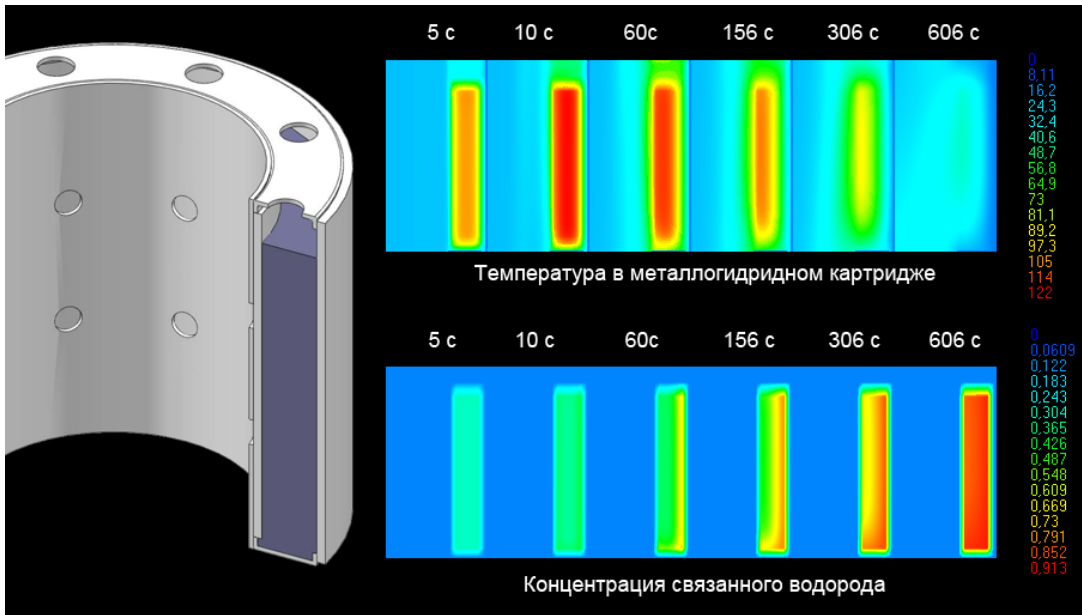
Первичные источники энергии

Проблема тепломассопереноса

Обнаружено и исследованы эффекты кризиса тепломассопереноса в мелкодисперсной засыпке водородопоглощающего материала при сорбции и десорбции водорода.

Кризис приводит к резкому росту температуры реакционной зоны и снижению производительности устройств.

Определены условия реализации бескризисных режимов работы устройств, созданы усовершенствованные металлгидридные реакторы



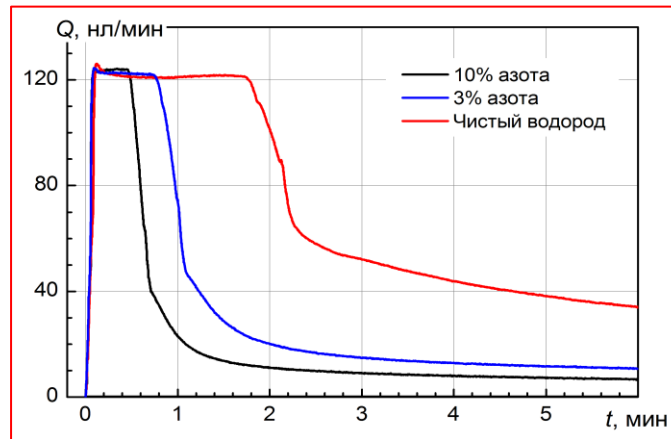
Кризисные явления при зарядке металлгидридного реактора чистым водородом.

- 1 - расход водорода на входе в реактор
- 2 – степень заполнения реактора
- 3 – бескризисный режим работы

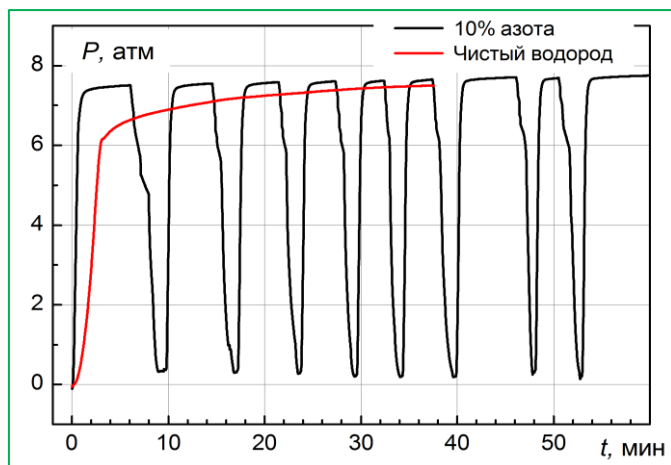
ВЛИЯНИЕ ПРИМЕСЕЙ

Неадсорбируемые примеси заполняют свободное пространство реактора и блокируют доступ водорода к засыпке.

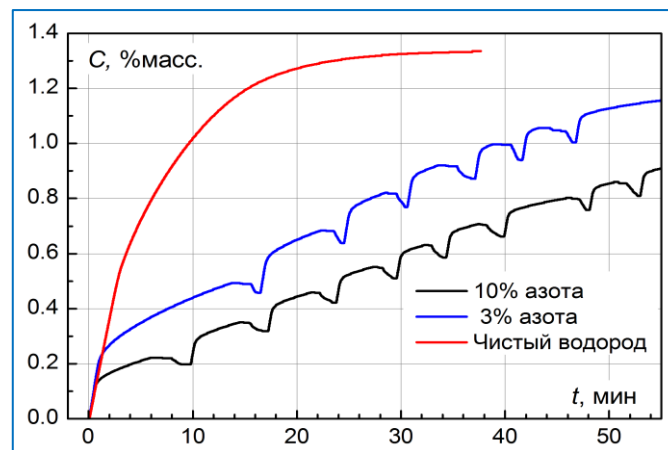
Предложен и экспериментально верифицирован метод ускорения заправки реактора путем циклического удаления примесей из его свободного объема.



Поток водорода на входе в реактор



Давление в реакторе при зарядке



Концентрация водорода в засыпке водородопоглощающего материала

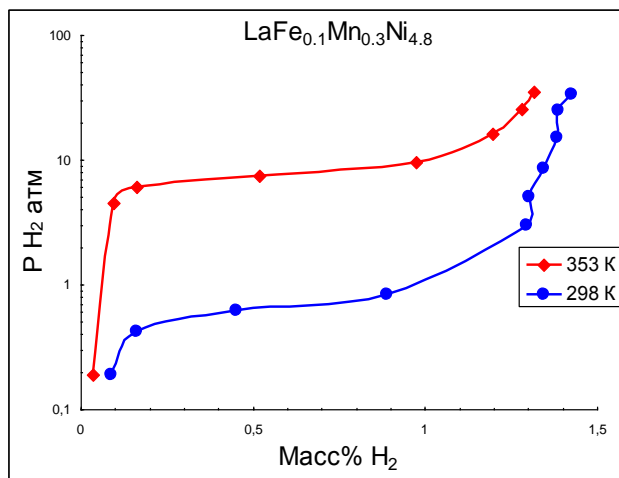
Разработка водородопоглощающих сплавов

Зарядка: 25 °С, 0,66 атм

Подсистема очистки



Разрядка: 80 °С, 7,6 атм



РСТ диаграммы
разработанных сплавов

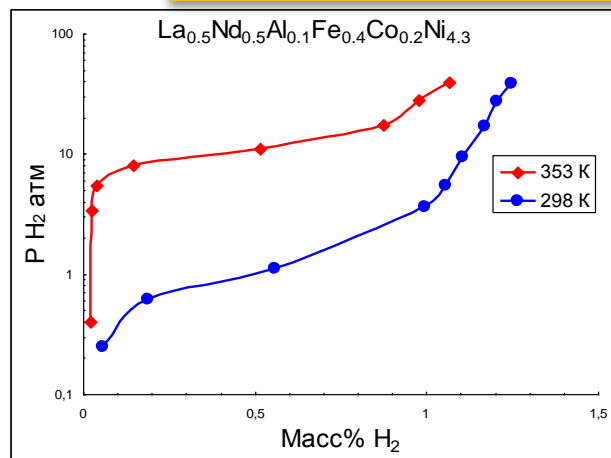
Выполнено математическое моделирование, выплавлены и испытаны образцы интерметаллических сплавов, среди которых осуществлен выбор водородопоглощающих материалов для использования в системе

Зарядка: 25 °С, 1,1 атм

Подсистема хранения



Разрядка: 80 °С, 11,6 атм



**Топливный
элемент**

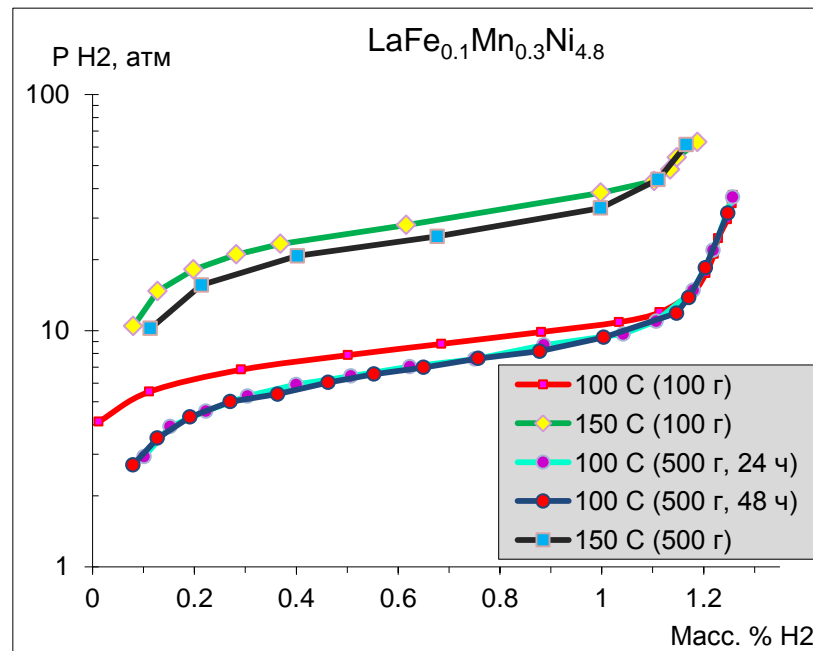
**Давление на
входе
4,4 – 6,5 атм**

Масштабный эффект в сорбционных свойствах водородопоглощающих материалов

Экспериментально обнаружен новый эффект воздействия масштаба засыпки водородопоглощающих материалов на PCT-диаграммы сплавов.



Установка УС150 для измерения изотерм сорбции водорода в образцах различных масштабов

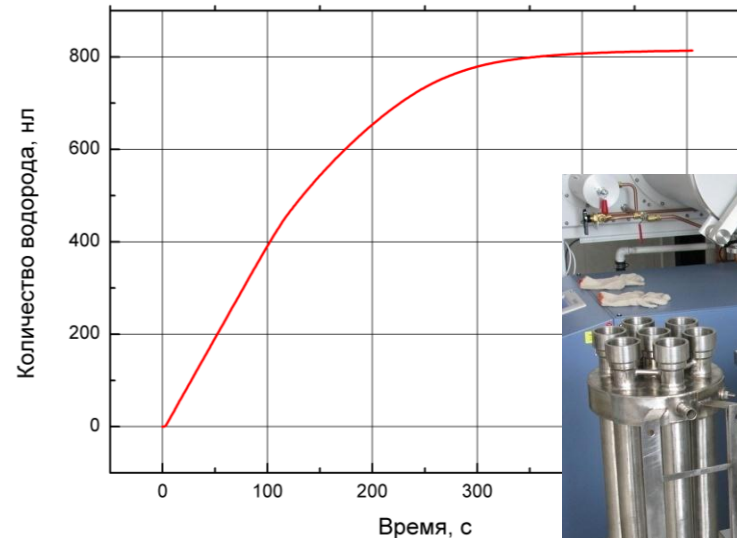


Изотермы десорбции водорода образцами сплава $\text{LaFe}_{0.1}\text{Mn}_{0.3}\text{Ni}_{4.8}$ массой 100 и 500 грамм при температуре 100 и 150 °C

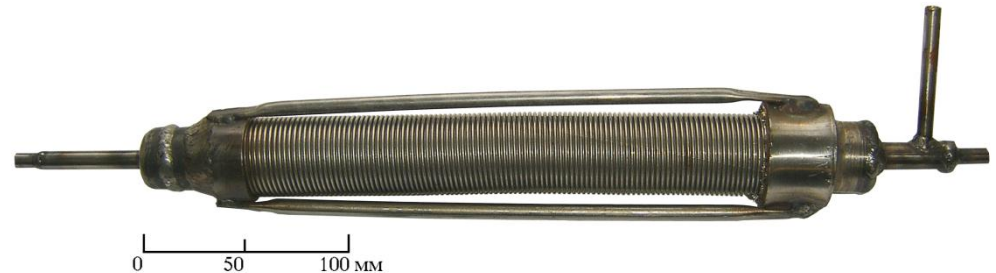
СОЗДАНИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ РЕАКТОРОВ



Металлогидридный накопитель РХ-1.
Загрузка до 100 кг сплава. Емкость
более 13 н.м³ водорода

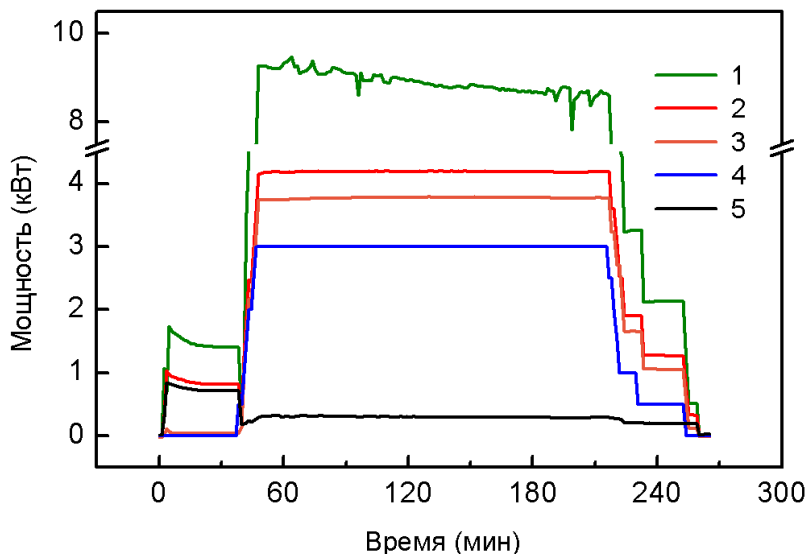


Реактор очистки и хранения
водорода РХО-3.
Загрузка до 5 кг сплава. Емкость
более 800 н.л водорода



Реактор высокой производительности РХО-5.
Загрузка до 0,8 кг сплава.
Емкость более 100 н.л водорода

Интеграция ТЭ и металлгидридной системы



Энергетические характеристики совместной работы ТЭ и РХ-1.

1 – затраты энергии (по теплоте сгорания водорода); 2 – мощность стека ТЭ; 3 – мощность перед инвертером; 4 – потребление; 5 – собственные нужды ТЭ



Металлогидридный блок очистки водорода для водородоохлаждаемых турбогенераторов

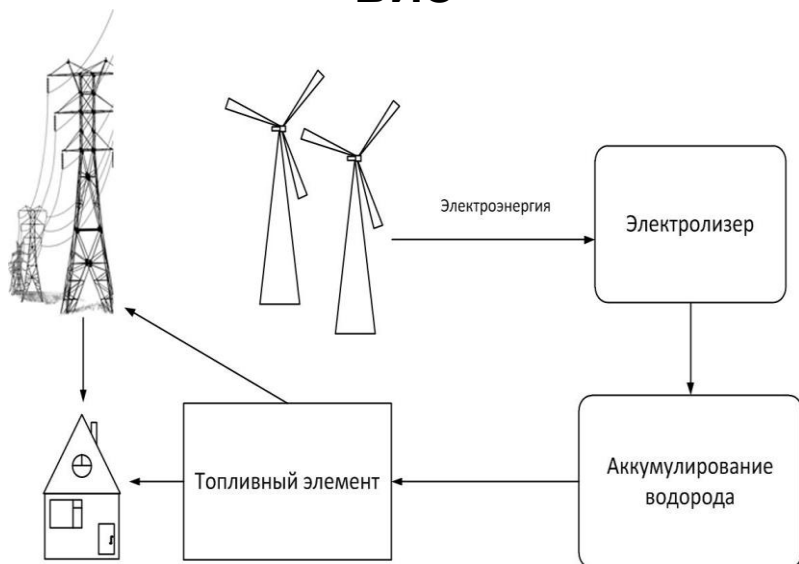


Создан и испытан лабораторный образец блока очистки производительностью до 5 норм. м³/ч

- **Варианты использования:** устройство для дополнительного повышения чистоты водорода в системе охлаждения, компенсация суточного расхода и утечки;
- **Результат:** повышение КПД (на величину до 0,1%), продление срока службы за счет снижения рабочего давления и уменьшения механических потерь;
- **Рынок:** водородоохлаждаемые турбогенераторы и синхронные компенсаторы по установленной мощности составляют 215 ГВт (66% вырабатываемой мощности).

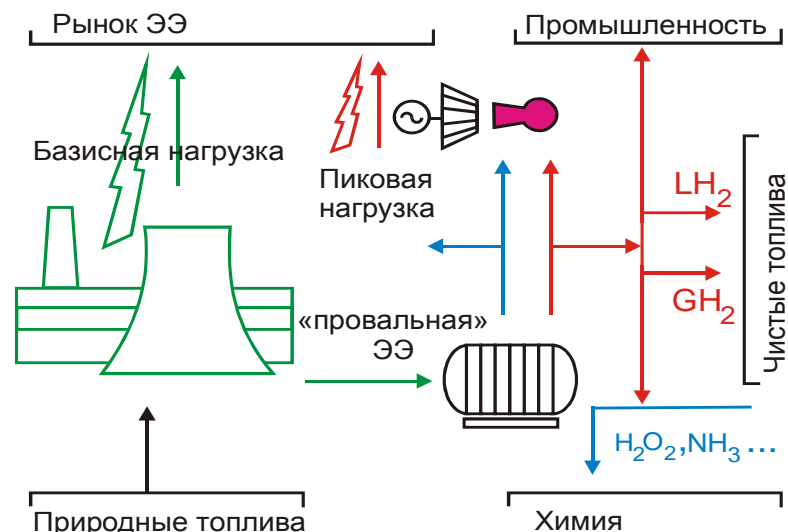
Водородные технологии аккумулирования электроэнергии

ВИЭ



Сеть

Интегрированная система производства ЭЭ и водорода

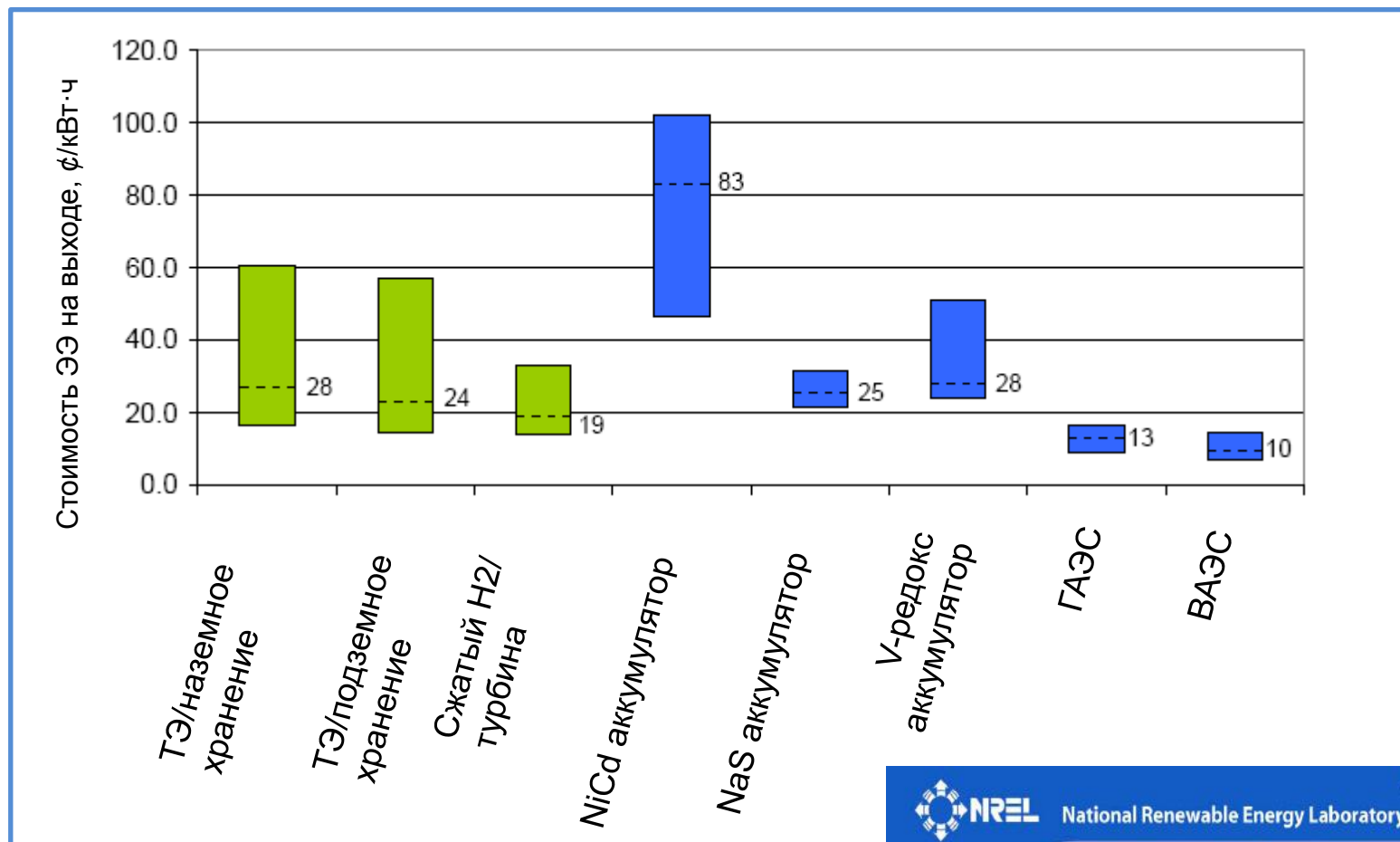


Производство жидкого водорода за счет «провальной» энергии ЭС

| | Возможный объем производства | Заводская цена жН ₂ | Рыночная цена жН ₂ | Чистый среднегодовой доход | Срок окупаемости |
|---------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------|
| ЛАЭС | 70 000 т/год | 4000 \$/т | ЕС: 6000 \$/т | 0,3-0,35 \$/кВт ч | 3-5 лет |
| Иркутскэнерго | 200 000 т/год | 3500 \$/т | ЮВА: 7000 \$/т | 0,4 \$/кВт ч | 5-7 лет |

Сравнение технологий аккумулирования электроэнергии

для уровня мощности 50 МВт при емкости системы 300 МВт·ч



Лаборатория водородных энергетических технологий ОИВТ РАН



ОИВТ РАН
Ижорская 13, стр. 2
125412, Москва
Российская Федерация

Тел: +7(495)362-53-11
Факс: +7(495)362-07-84
h2lab@mail.ru

Благодарю Д.О. Дуникова, В.И. Борзенко и О.В. Назарову за помощь
в подготовке доклада

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!