

Международный Конгресс  
«Возобновляемая энергетика XXI век:  
энергетическая и экономическая  
эффективность»  
27—28 октября 2015, Москва

## Водородные технологии аккумулирования энергии

Борзенко Василий Игоревич

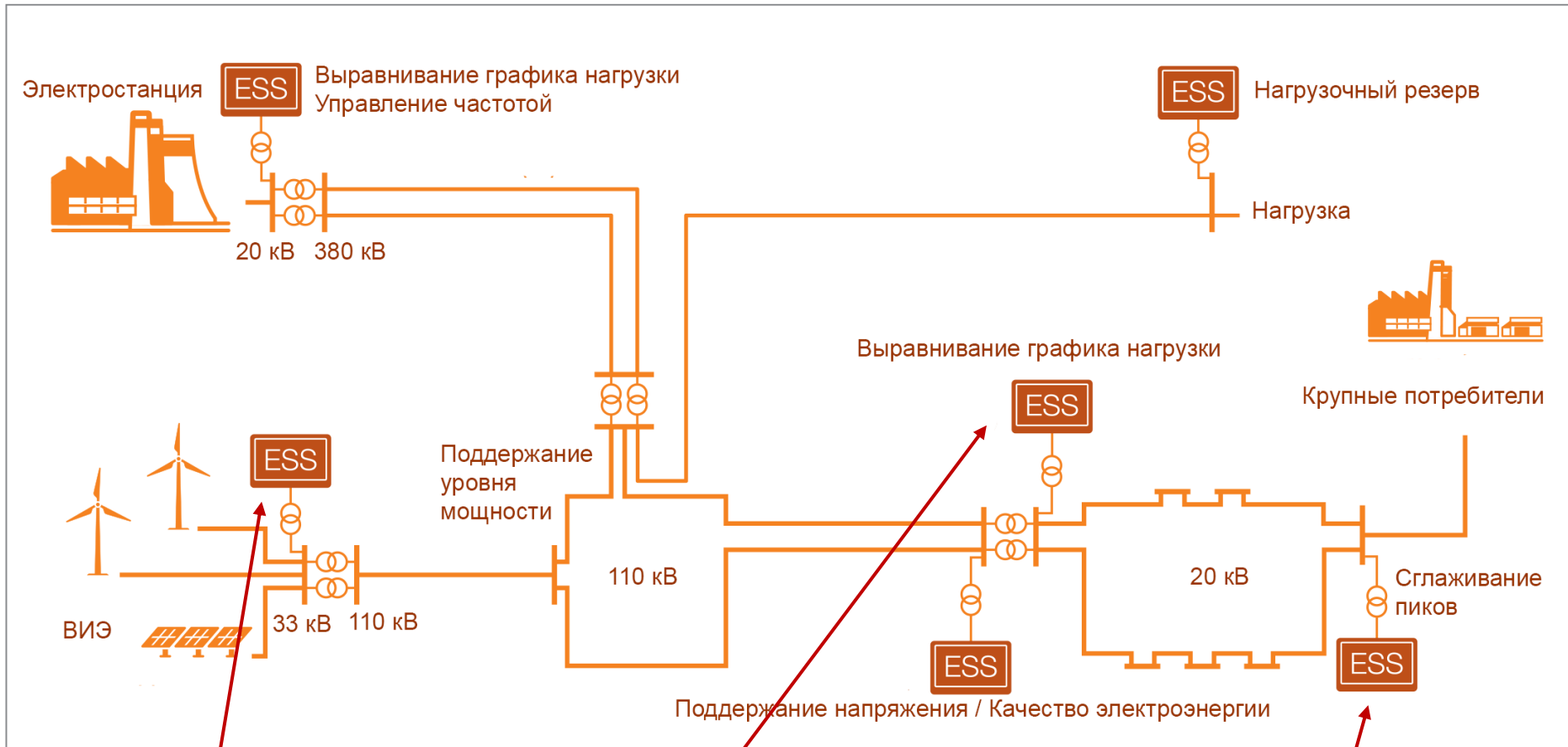
**Дуников Дмитрий Олегович**

Лаборатория водородных энергетических технологий  
ОИВТ РАН

# Основные направления использования систем хранения электроэнергии

- **Качество** - 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.

# Хранение энергии – ключ к созданию интеллектуальных сетей



характерные времена:  
секунды - минуты  
класс мощности:  
киловаттный, мегаваттный

характерные времена:  
часы – дни – месяцы  
класс мощности:  
в зависимости от потребителя

характерные времена:  
характерные времена: минуты  
класс мощности:  
в зависимости от потребителя

EES – Energy Storage System

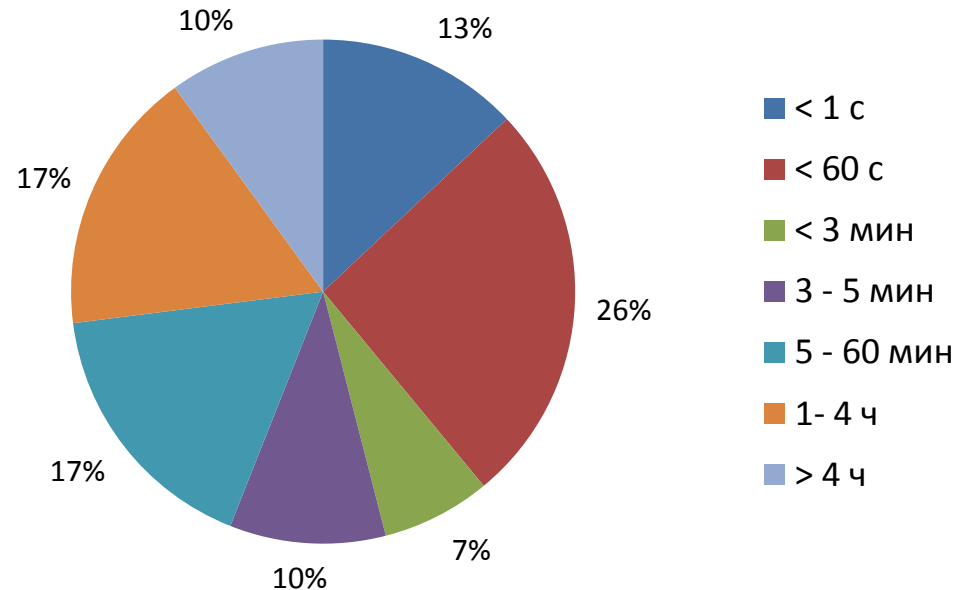
Источник: [http://www05.abb.com/global/scot/scot221.nsf/veritydisplay/59a2be960fdb777a48257a680045c04a/\\$file/ABB%20Energy%20Storage\\_Nov2012.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot221.nsf/veritydisplay/59a2be960fdb777a48257a680045c04a/$file/ABB%20Energy%20Storage_Nov2012.pdf)

# Заинтересованность в системах хранения электроэнергии

Анализ проведенный в США показал, что около двух третей различных учреждений испытывают перебои с электроэнергией в течение года, в среднем 3-5 раз в году.

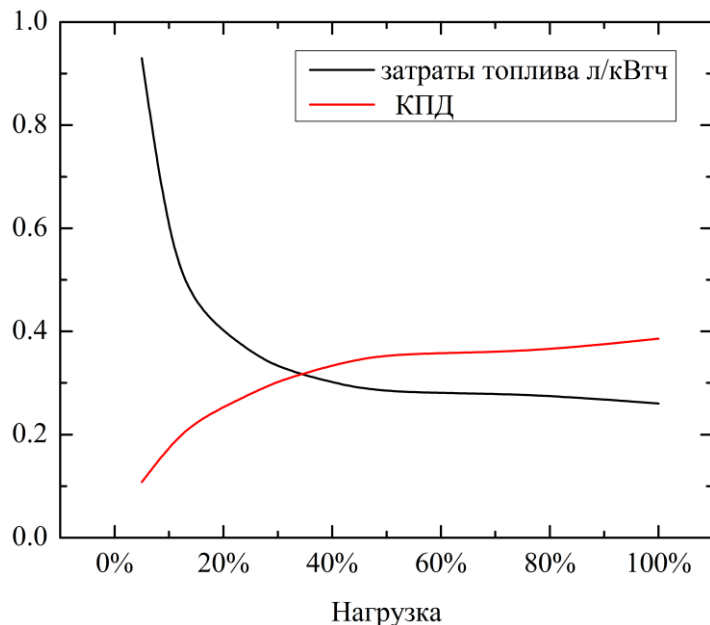
Большинство из респондентов имели не только основную систему бесперебойного энергоснабжения, но дублирующую. Основными типами являются дизельные либо газовые генераторы (85%) или аккумуляторные USP системы (75%), доля альтернативных источников, включая возобновляемые источники энергии и топливные элементы составила 14%.

### Длительность перебоев



# Дизельные генераторы малоэффективны и экологически опасны

КПД дизель-генераторов малой мощности (2...5 кВт) составляет 15...25%. Более мощные машины имеют КПД до 35%. Эффективность их работы существенно снижается в переменных режимах.



Затраты топлива и КПД дизельного генератора Isuzu 4HK1 tier 3, 2007 мощностью 100 кВт, работающего на 1800 об/мин



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

# Методы хранения электрической энергии

- Химические источники тока (аккумуляторы свинцовые, Li-ионные и прочие);
- Маховики (низко- и высокоскоростные). Используются в основном для кратковременного хранения энергии в двигательных системах (например, автомобилях);
- Суперконденсаторы;
- Энергия сжатого воздуха (ПАЭС). Воздух запасается в крупных резервуарах, кавернах и т.д.;
- Сверхпроводящие магнитные системы (СПМС), используется энергия тока, циркулирующего в сверхпроводнике;
- Гидроаккумулирующие системы (ГАЭС);
- **Хранение энергии в водороде.**

# Применимость АКБ в системах хранения энергии

$$E / P = \frac{\text{Длительность разряда (ч)}}{\text{Степень разряда}}$$

Категория	Продолжительность	E/P кВт ч/кВт	Подходящая технология (E/P)
Краткосрочная	1 с	0.0007	Нет
	60 с	0.04	Li-ионные АКБ в приоритете мощности (0.05)
Непродолжительная	< 1 ч	<1	Свинцовые АКБ в приоритете энергоемкости (0.5)
			Li-ионные АКБ в приоритете энергоемкости (0.4)
	> 1 ч	>1	Na-S (6), V-РБ (>1.5)
Длительная	6 ч	8	Na-S (6), V-РБ (>1.5)
	48 ч	64	нет

Leadbetter J., Swan L.G. Selection of battery technology to support grid-integrated renewable electricity // Journal of Power Sources. 2012. Т. 216. . — С. 376-386.

# Понятие водородной энергетики

**Водородная энергетика** – совокупность технологий производства, транспортировки, аккумулирования и использования универсального вторичного энергоносителя – водорода.

**Водород не является первичным энергоресурсом, как нефть, уголь, ядерное топливо, ВИЭ и т.д.**

В концепции водородной энергетики водород дополняет собой важнейший вторичный энергоноситель – электроэнергию.

Водород и электроэнергия:

- могут быть конвертированы друг в друга с высоким КПД
- обеспечивают малое количество вредных выбросов
- водород проще хранить и транспортировать
- электроэнергию проще применять на практике

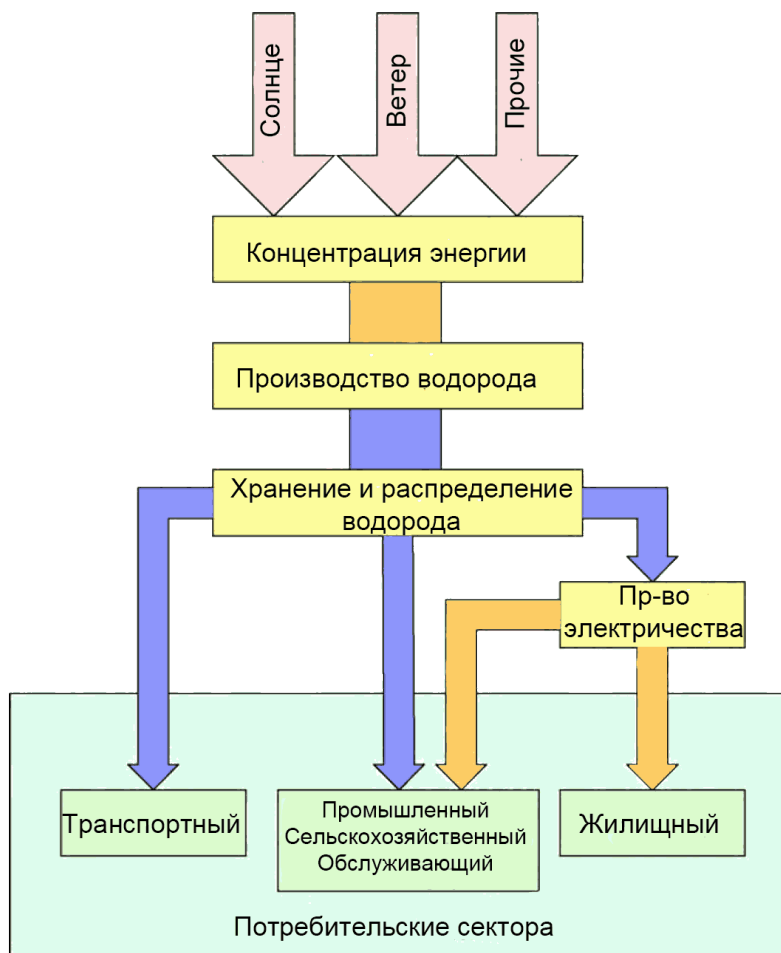


# Водородное аккумулирование энергии

ВИЭ отличаются низкими плотностями и существенной неравномерностью потоков энергии, испытывающих значительные суточные и сезонные колебания.

Задачу согласования графиков производства и потребления электроэнергии невозможно решить без разработки систем хранения энергии.

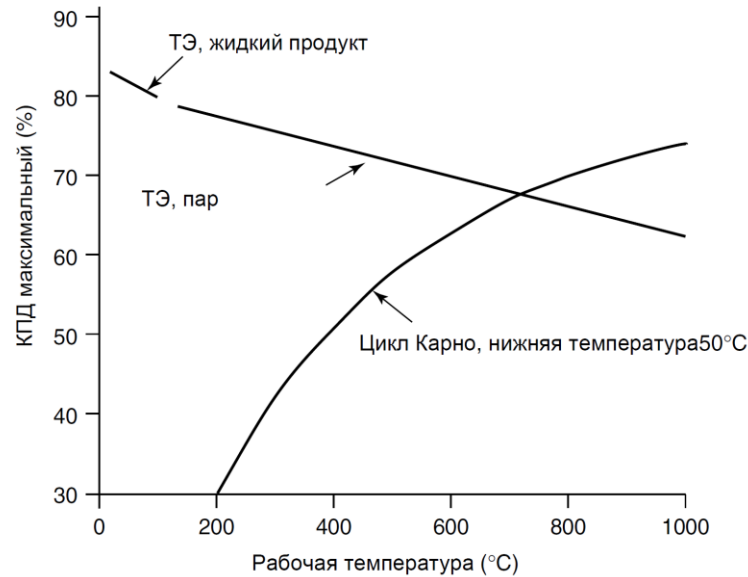
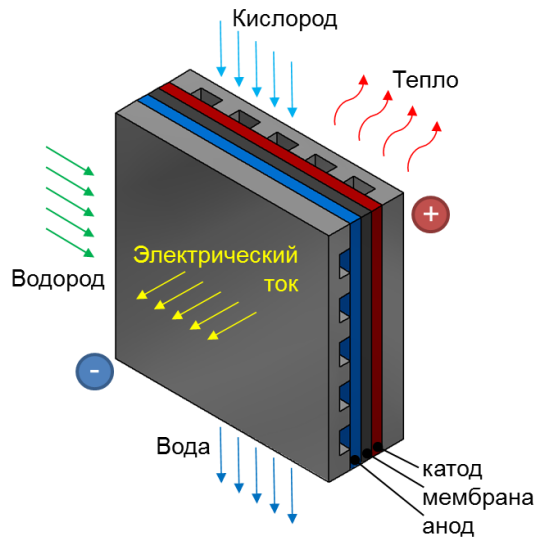
Применение аккумуляторных батарей ограничено из-за их малого ресурса, необходимости регулярного обслуживания, утечки заряда, содержания загрязняющих веществ и слабой переносимости низких температур.



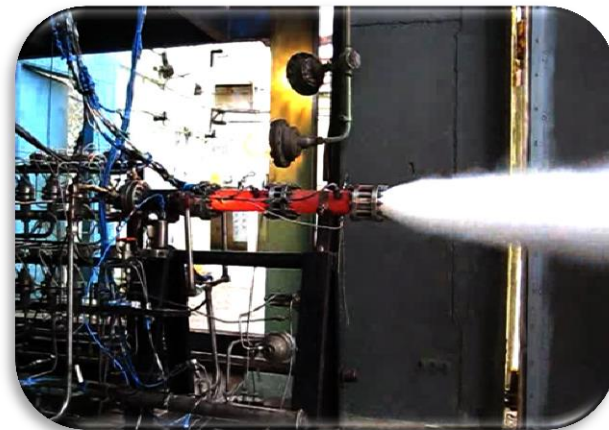
Водородные технологии способны обеспечить долговременное хранение энергии без потерь

# Водородные энергоустановки: что выгоднее?

Киловаттный класс:  
топливные элементы

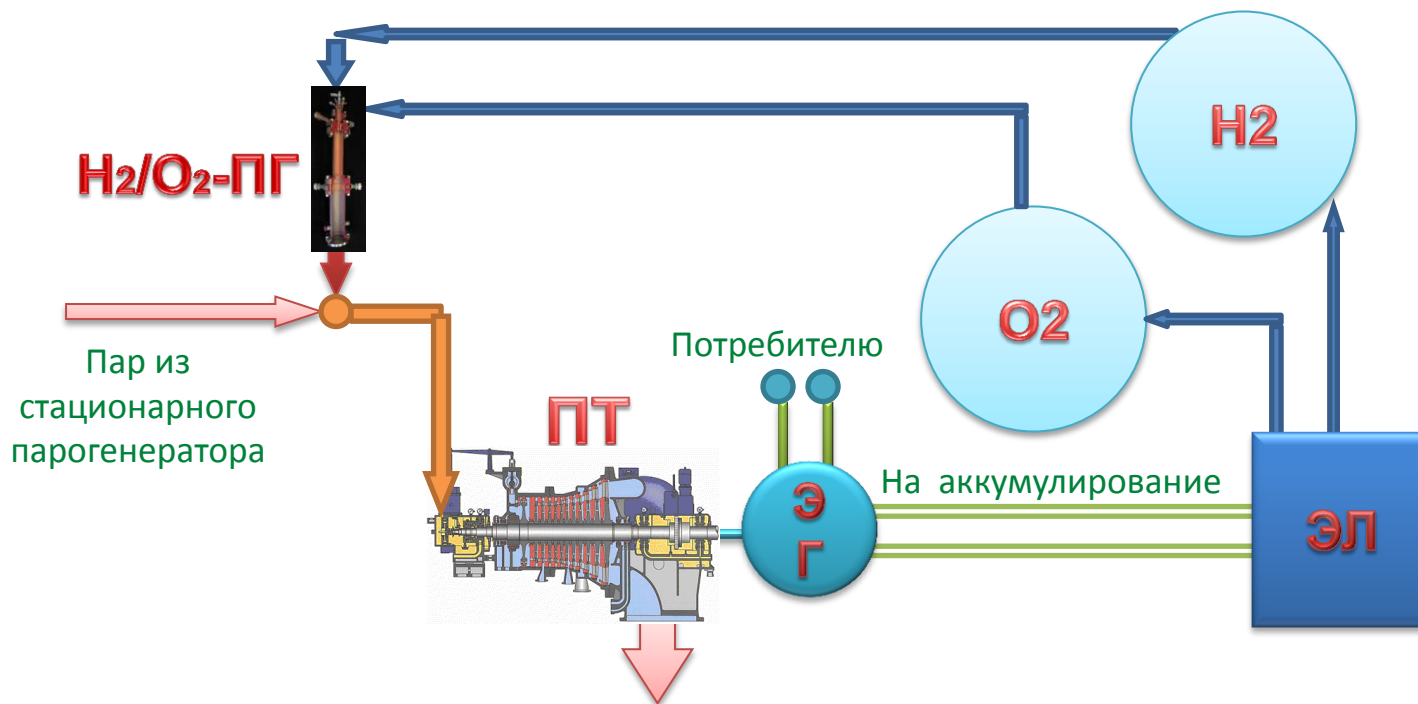


Мегаваттный класс:  
Тепловые машины  
(водородо-кислородные  
Парогенераторы)



# Большая энергетика: водородо-кислородные парогенераторы

дополнительные аккумулирующие надстройки для производства пиковых мощностей



## ОБОЗНАЧЕНИЯ:

H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>-ПГ – водородно-кислородный парогенератор

ПТ – паровая турбина

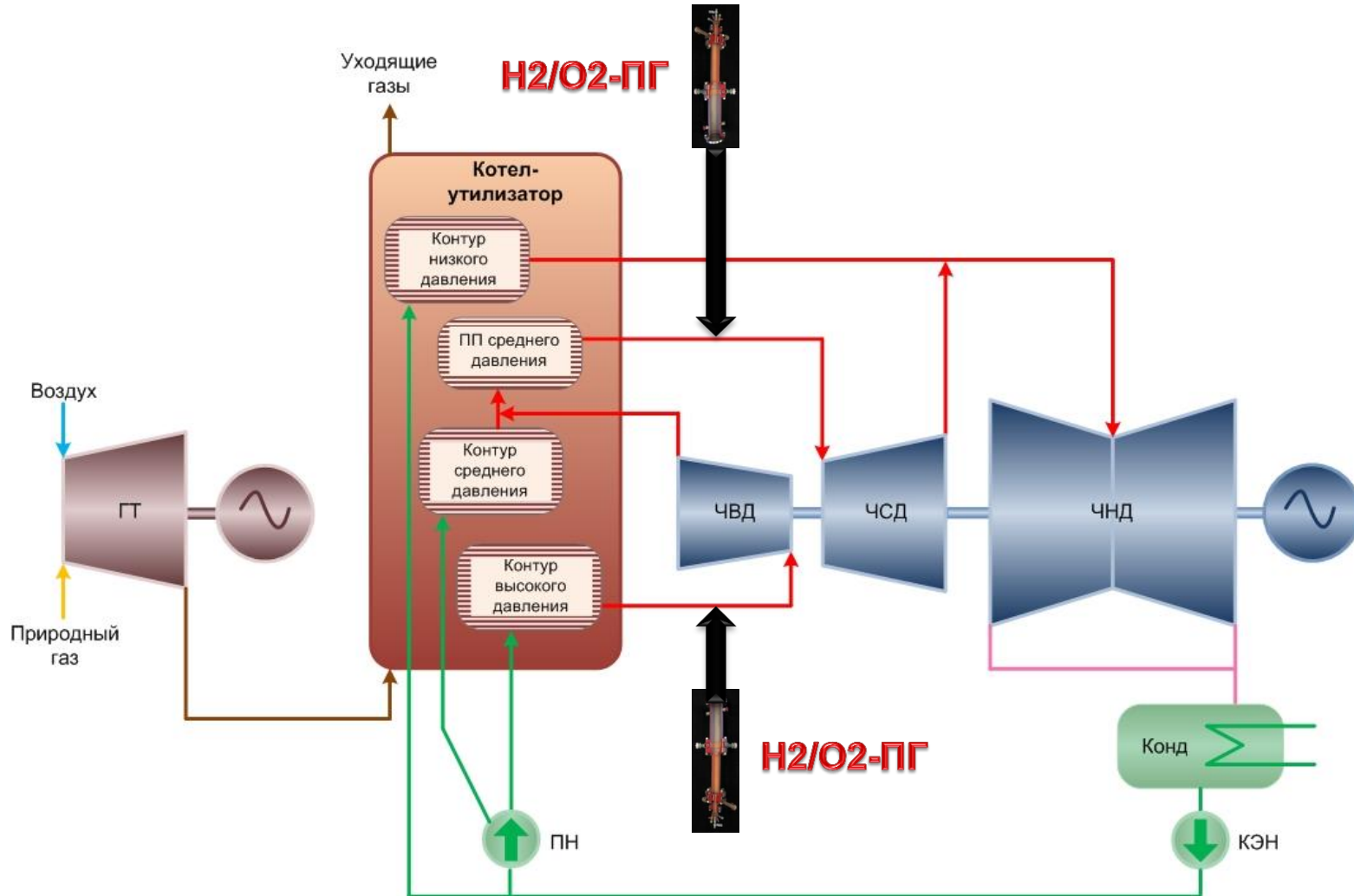
ЭГ – электрогенератор

ЭЛ – электролизер

O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> – ресиверы кислорода и водорода

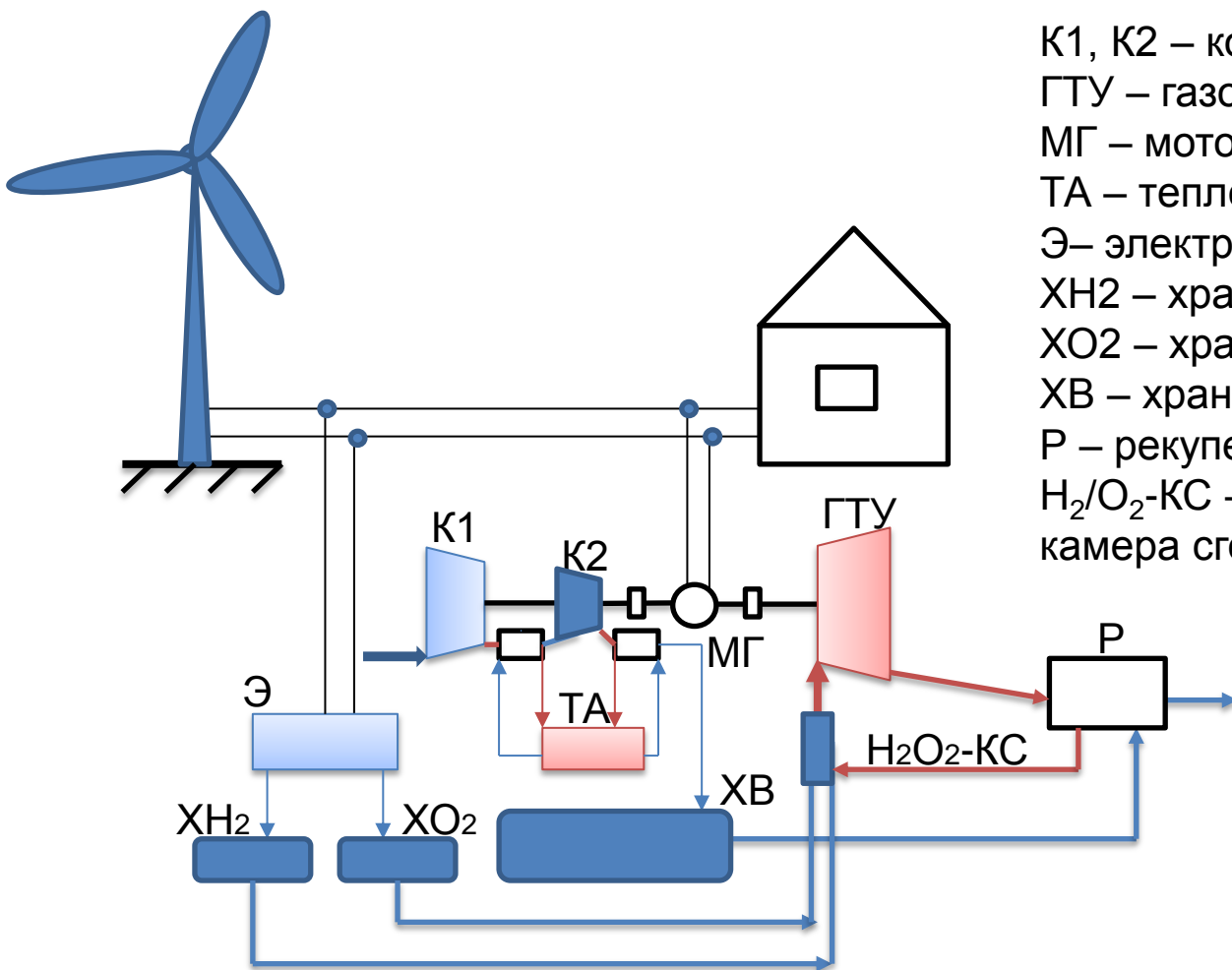
# Водородо-кислородные парогенераторы:

повышение маневренности парогазовых установок



# Водородно-кислородные парогенераторы для ВИЭ

водородные системы аккумулирования и  
распределения электроэнергии



К1, К2 – компрессорная группа;  
ГТУ – газотурбинная установка;  
МГ – мотор-генератор;  
ТА – тепловой аккумулятор;  
Э – электролизер;  
ХН<sub>2</sub> – хранилище водорода;  
ХО<sub>2</sub> – хранилище кислорода;  
ХВ – хранилище воздуха;  
Р – рекуператор;  
Н<sub>2</sub>/О<sub>2</sub>-КС – водородно-кислородная  
камера сгорания.

# Автономная водородная паротурбинная энергоустановка



## Технические характеристики:

Параметр	Значение
Расход $H_2$ , кг/с	0,17
Расход $O_2$ , кг/с	1,2
Давление пара, МПа	6
Температура пара, К	Up to 1200
Тип турбины	одноступенчатая осевая
КПД, %	18...21
Время запуска, с	9...11
<b>Удельная стоимость, \$/кВт</b>	<b>менее 300</b>
Скорость вращения ротора, мин <sup>-1</sup>	19480
Мощность турбины, кВт	1900





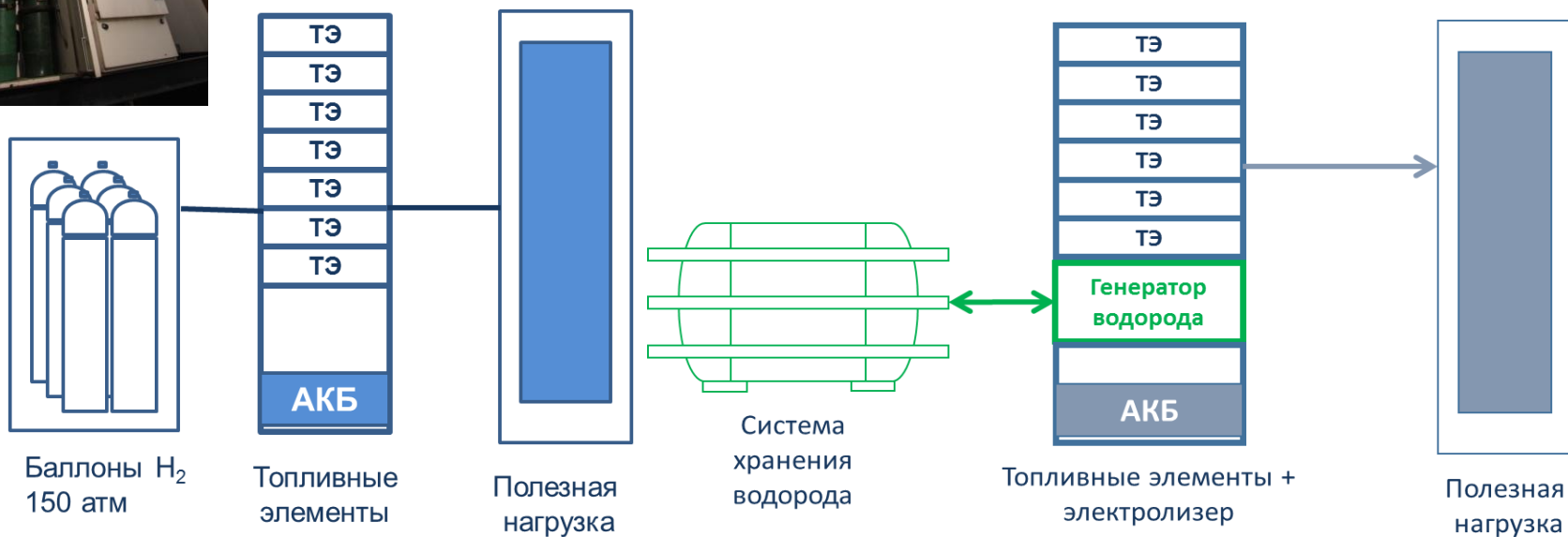
# Киловаттный класс: резервное электроснабжение в телекоммуникационной отрасли

АТС, г. Звенигород, Московская область



Статистика отключений сети за последние 2-3 года	Осенне-зимний период: 4-5 раз по 3-4 часа. Весенне-летний период: 3-4 раза по 2-3 часа.
Статистика по отказам дизель-генератора или других устройств системы резервного питания во время отключения напряжения в сети.	Отказы при запусках дизель-генератора, из-за морально и физически устаревших элементов ТЭЗ системы автоматического управления дизель-генератором, составляют в среднем 20-25%.

Системы на топливных элементах могут решить проблему обеспечения бесперебойного снабжения электроприемников



# Водородная энергетика: безопасный путь в будущее



WORLD HYDROGEN  
ENERGY CONFERENCE

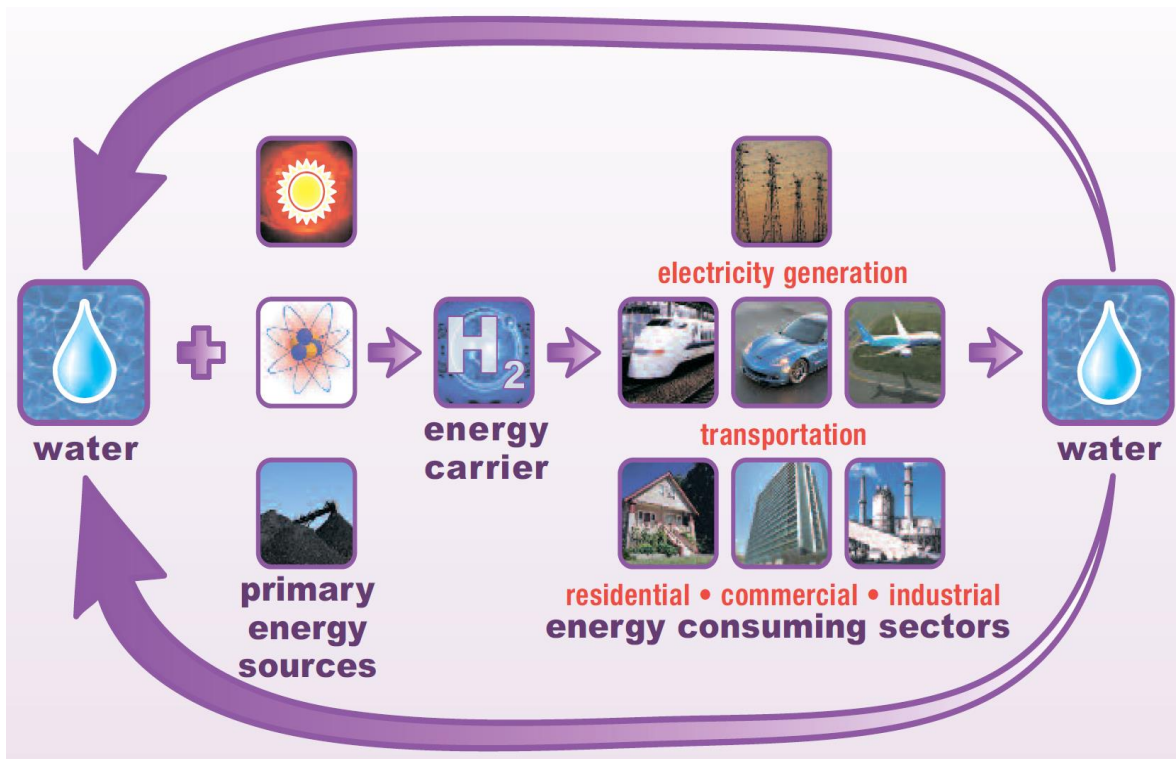
June 13th to 16th 2016

21-я Всемирная  
конференция  
по водородной  
энергетике

13-16 июня 2016

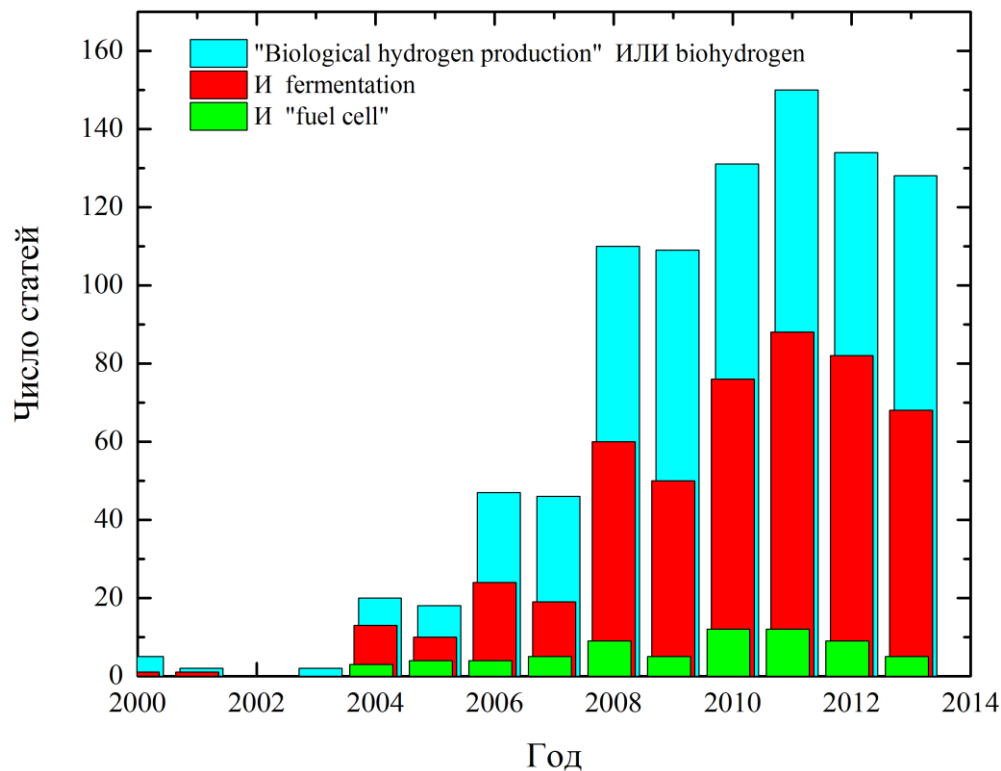
Сарагоса, Испания

<http://www.whec2016.com/>





# Биоводородные технологии



Число статей, индексируемых в Scopus, по теме: «Биологическое производство водорода» (Biological hydrogen production) или «биоводород» (biohydrogen), а также их доли посвященные ферментации (fermentation) и интеграции с топливными элементами (fuel cell)



7<sup>th</sup> International Meeting  
"Photosynthesis Research for Sustainability -  
2016"  
in honor of **Natan Nelson**  
and **T. Nejat Veziroglu**  
June 19-26, 2016  
Pushchino, Russia  
7-я конференция «Исследования  
фотосинтеза для устойчивого развития  
– 2016»,  
19-26 июня, Пушино, Россия

<http://photosynthesis2016.cellreg.org/>