



Проект ветро-водородной установки для электроснабжения, производства водорода и резервного питания (150 кВт / ч * 48 ч)

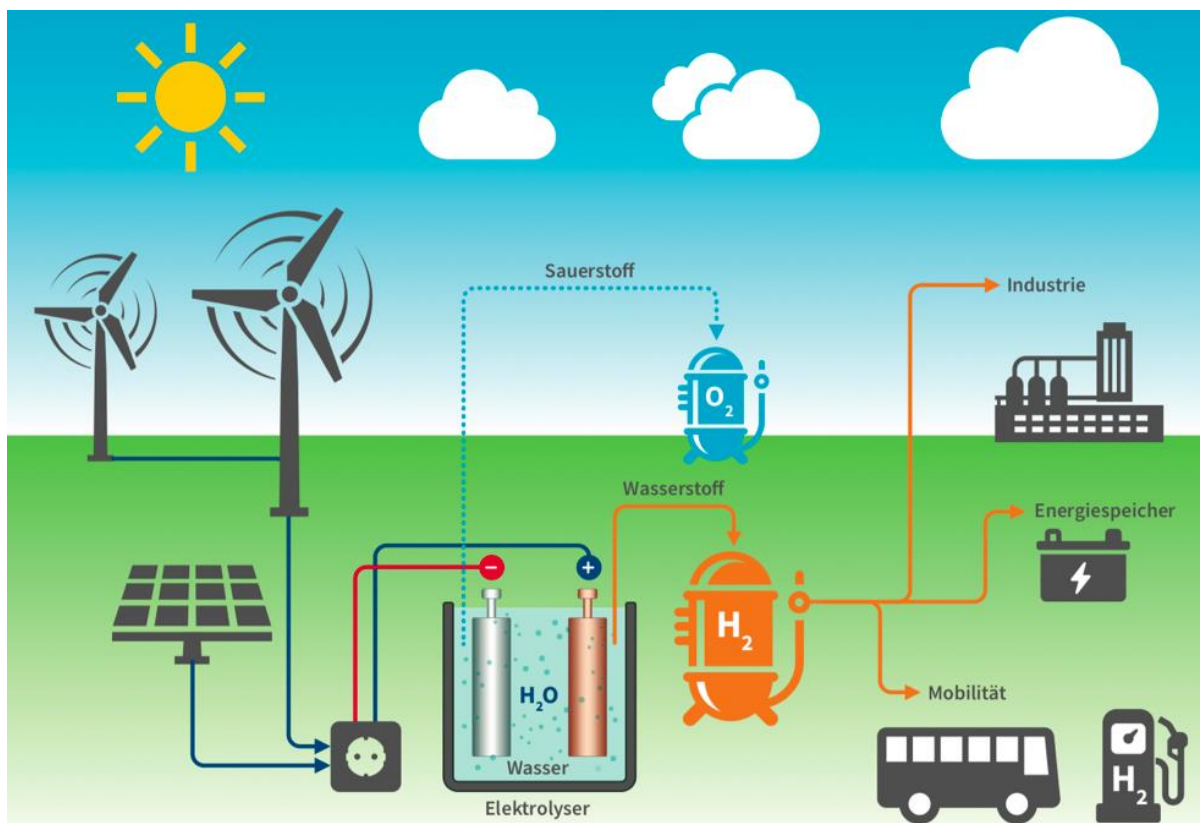
Система накопления энергии от ветра до водорода мощностью 50 кВт

Техническое Проектное предложение

Версия электролизера PEM мощностью 100 кВт

Контейнерная система резервного питания водородом

Разработан для интеграции ветроэнергетики и автономного резервного копирования



1. Краткое изложение

Это предложение представляет собой контейнерную систему хранения водородной энергии на основе топливного элемента PEM мощностью 50 кВт для выработки электроэнергии и электролизера PEM мощностью 100 кВт для производства водорода, специально разработанную для снижения пиковых нагрузок на ветряных электростанциях и

автономного резервного электроснабжения. Система обеспечивает непрерывное 48-часовое электропитание переменного тока напряжением 380 В при полном безветрии и обеспечивает долгосрочную автономную работу с замкнутым контуром благодаря оптимизированной конфигурации производства водорода.

По сравнению с предыдущим предложением версии V3.0 (электролизер мощностью 20 кВт), в этой версии версии V4.0 мощность электролиза увеличена до 100 кВт, что в 5 раз увеличивает производство водорода. Время, необходимое для полного пополнения 48-часового хранилища водорода, сокращается примерно с 38 дней до 7,7 дней (исходя из 10 часов ежедневного производства водорода). Соотношение производства к потреблению увеличивается с 12,5% до 62,3%, что обеспечивает по-настоящему устойчивую ветроэнергетику.

1.1 Ключевые технические индикаторы

Значение	параметра	Примечания
Номинальная выходная мощность	50 кВт	Одноблочного топливного элемента PEM
Электролизера Номинальной мощности	100 кВт	PEM, производительность H ₂ ~ 1,80 кг/ч
Выходное напряжение	переменного тока 380 В / 50 Гц	Трехфазный переменный ток
Продолжительность резервного копирования	48 часов	При полной мощности и безветренном ветре
Давление в баллонах для хранения водорода	35 МПа	Композитные баллоны III
Емкость для хранения водорода	~ 152,5 кг	Вкл. 10%-ный запас
рабочей температуры. Диапазон	от -35 °C до +40 °C	Доступно повышение температуры до -40 °C
Сквозной КПД	~ 20,4%	От ветра до переменного тока
Время заправки (10 часов в день)	~ 7,7 дней	До полного хранения водорода

1.2 Основные преимущества

- Архитектура с одним блоком: конструкция с одним блоком топливных элементов мощностью 50 кВт, параллельное подключение не требуется, количество точек отказа сокращается на 40%.
- Оптимизированная настройка электролизера: электролизер мощностью 100 кВт в паре с топливным элементом мощностью 50 кВт обеспечивает рациональное соотношение производства и потребления, поддерживая длительную работу по замкнутому циклу.
- Исключительная адаптивность к климатическим условиям: Стандартная эксплуатация при температуре -35 °C с возможностью обновления до -40 °C с помощью стандартного комплекта, конструктивных изменений не требуется.
- Контейнерная интеграция: 40-футовый изолированный контейнер с внешним хранилищем водорода, обеспечивающий быструю транспортировку и развертывание.

- Компоненты массового производства: Все основное оборудование использует технологию массового производства, имеется на складе, срок поставки 33 недели.
- Модель партнерства: Разработана для интеграции с существующими ветрогенераторами заказчика — нет необходимости приобретать новые ветроэнергетические установки.

2. Обзор проекта

2.1 Предыстория проекта

Энергия ветра по своей природе непостоянна. Для систем, подключенных к сети, накопление энергии необходимо для снижения пиковых нагрузок; для систем, отключенных от сети, надежный резервный источник питания имеет решающее значение для обеспечения непрерывной подачи электроэнергии в периоды безветрия.

Технология накопления энергии на водороде — посредством замкнутого цикла "электролиз с получением водорода → хранение под высоким давлением → выработка энергии на топливных элементах" — обеспечивает долговременное хранение электроэнергии большой емкости. Это идеальный технический способ устранения перебоев в подаче энергии ветром.

Этот проект предназначен для применения на ветряных электростанциях в экстремальных климатических условиях России. Это контейнерная система резервного хранения водородной энергии. Основываясь на техническом предложении версии V3.0, мощность электролиза была увеличена с 20 кВт до 100 кВт, в результате чего была получена данная конструкция версии V4.0.

Важно отметить, что эта система предназначена для непосредственной интеграции с существующими ветряными турбинами заказчика (мощность переменного тока 10 кВт / 50 кВт / 150 кВт, 380 В или 220 В). Заказчик обеспечивает энергию ветра; мы предоставляем полную водородную цепочку, которая преобразует эту энергию ветра в электричество, пригодное для хранения и отправки.

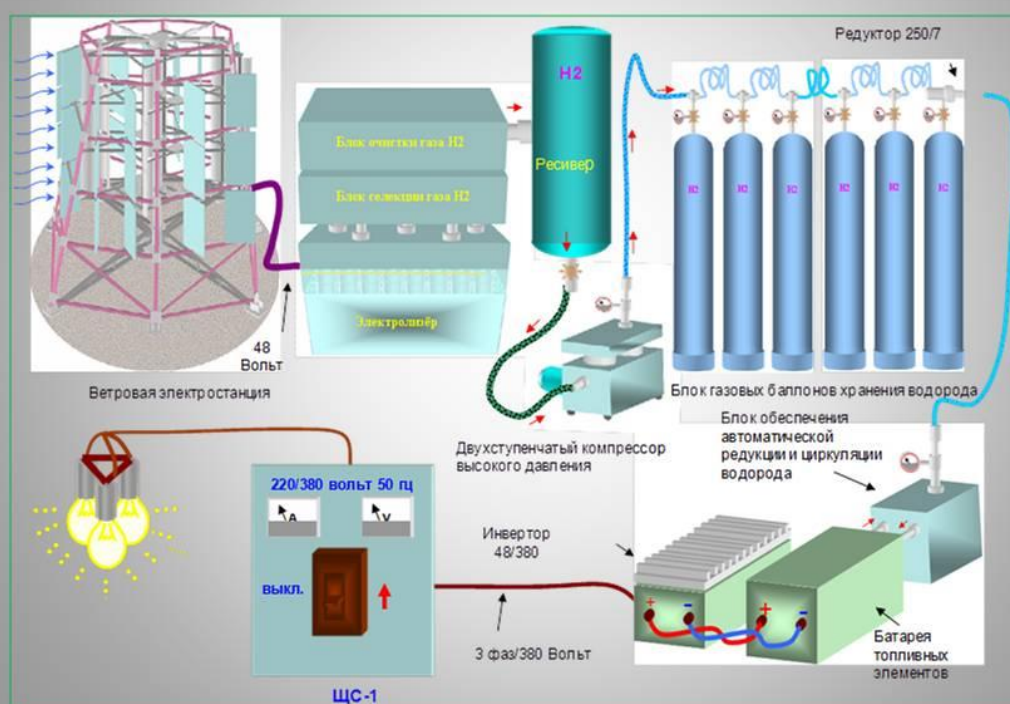
2.2 Цели проектирования

1. Обеспечьте бесперебойное трехфазное питание ветряных электростанций переменным током напряжением 380 В независимо от колебаний скорости ветра.
2. Обеспечьте 48-часовое резервное питание на полную мощность в условиях полного безветрия.
3. Достижение долгосрочной автономии от использования энергии ветра и водорода по замкнутому циклу; запасенный водород может быть пополнен в течение разумного цикла.
4. Работать при экстремально низких температурах до -35 °C (опционально повышается температура до -40 °C).
5. Примите контейнерную интегрированную конструкцию для удобства транспортировки и быстрого развертывания на месте.
6. Используйте основное оборудование массового производства, имеющееся на складе, чтобы сократить циклы поставок и снизить риски, связанные с индивидуальными исследованиями и разработками.
7. Плавная интеграция с существующими активами заказчика по производству ветряных турбин (покупка ветряных турбин не требуется).

2.3 Принципы проектирования

- Проверенные технологии превыше всего: отдавайте предпочтение проверенным технологиям и оборудованию массового производства; избегайте экспериментальных решений, которые сопряжены с техническими рисками или задержками поставки.
- Архитектура с одним блоком: Топливный элемент использует конструкцию с одним блоком - без параллельной конфигурации - что сокращает количество точек отказа и сложность управления при одновременном повышении надежности.
- Соответствие энергетическому балансу: Мощность производства водорода в электролизере и мощность потребления водорода в топливных элементах рационально подобраны для обеспечения длительной автономной работы с замкнутым контуром.
- Поэтапное внедрение: Поддержка первоначального развертывания функции резервного питания с дальнейшим расширением на приложения для долговременного хранения данных и микросетей.
- Оптимизация общей стоимости владения (ТСО): снижение затрат на техническое обслуживание, продление срока службы оборудования, повышение эффективности системы.
- Использование активов заказчика: Максимальное повышение ценности существующих ветряных турбин заказчика — система разработана с учетом имеющейся у них энергии ветра, а не в качестве замены.

Блок схема интегрированных модулей ветро-водородной энергетической установки



3. Архитектура системы

3.1 Обзор потока энергии

Система работает по принципу замкнутого потока энергии. Полный путь преобразования энергии следующий:

Ветряная турбина → Выпрямитель PCS → Электролизер PEM (100 кВт) → Очистка H₂ (PSA) →
 Компрессор H₂ → Накопитель водорода 35 МПа → Топливный элемент PEM (50 кВт)
 →
 Инвертор PCS → Нагрузка переменного тока 380 В

Проще говоря: ветряная турбина заказчика вырабатывает электроэнергию переменного тока. При достаточном ветре избыточная мощность приводит в действие электролизер для расщепления воды на водород. Водород очищается, сжимается и хранится. Когда ветер прекращается, запасенный водород питает топливный элемент для выработки электроэнергии, обеспечивая бесперебойное питание.

3.2 Системная структурная схема

Система состоит из двух основных корпусов:

- Контейнер для питания (40-футовый): Объединяет электролизер, топливный элемент, ПК, EMS, систему охлаждения и систему очистки воды.
- Кабина для хранения водорода (независимая): вмещает 14 баллонов с водородом типа III мощностью 35 МПа, компрессор H₂, блок очистки PSA и клапаны коллектора.

Ветряная турбина подключается к источнику питания через стандартный вход переменного тока. EMS автоматически управляет всеми решениями по распределению электроэнергии.

3.3 Архитектура управления

EMS (Система управления энергопотреблением) - это основной блок управления всей системой, построенный на платформе PLC с интерфейсом SCADA HMI. Он непрерывно контролирует мощность ветра, давление в хранилищах водорода, потребляемую нагрузку и рабочее состояние оборудования, автоматически выполняя следующие стратегии управления:

- Распределение мощности между режимами прямого питания ветром и буферизации водородом.
- Запуск / остановка электролизера и модуляция мощности, динамически согласованные с избытком энергии ветра.
- Функции запуска/ остановки топливных элементов и отслеживания нагрузки, реагирующие на изменения нагрузки.
- Автоматический запуск/ остановка компрессора H₂ и поэтапное управление в зависимости от давления в хранилище.
- Мониторинг безопасности в режиме реального времени (концентрация H₂, температура, давление).
- Интерфейс удаленной диагностики и оповещения о тревогах (4G / Ethernet).

3.4 Режимы работы

Режим	Описание	Условия запуска
Прямое питание от ветра	Турбина подает нагрузку напрямую через ПК	Мощность ветра $\geq$ Потребность в нагрузке
Выработка ветра + H ₂	Ветер соответствует нагрузке; избыток приводит в действие электролизер	Ветер > Нагрузка, накопитель H ₂ неполон
Гибридное питание	Ветер + топливный элемент распределяют нагрузку	Недостаточный ветер, доступен H ₂
Резервный H ₂	Топливный элемент независимо питает нагрузку	Отсутствие ветра / недостаточный ветер
Режим поддержания	Некритические нагрузки снижаются; работают только критические нагрузки	Низкий уровень H ₂ + устойчивый тихий ветер

4. Выбор и расчет основного оборудования

4.1 Система топливных элементов PEM

Топливный элемент является ядром системы для выработки электроэнергии. Он использует технологию PEM (протонообменной мембраны), моноблочную конструкцию, номинальную мощность 50 кВт - параллельная конфигурация не требуется.

Параметр	Спецификация	Примечания
Тип	PEM (протонообменной мембраны)	Низкотемпературного топливного элемента
Номинальная мощность	50 кВт	Один блок, параллель не требуется
Выходное напряжение	400 В	постоянного тока
КПД LHV	52%-53%	Номинальное состояние
Рабочая температура	60-80 °C	Рабочая температура стека.
Срок службы стеклопакета	>40 000 часов	Проверенный при массовом производстве
метод охлаждения	жидкостным охлаждением (водогликоль)	с замкнутым контуром
Давление H ₂ на входе	0,3-0,5 МПа	Через редукционный клапан
Требования к чистоте H ₂	$\geq 99,99\%$ (4N)	Выход PSA 5N соответствует
размерам	1200×800 × 1000 мм	вкл.
Вес	~300 кг	вкл.
Состояние поставки	Серийное производство, на складе	-

4.1.1 Расчет нормы расхода водорода

При номинальных условиях расход водорода топливным элементом рассчитывается как:

$$m_{H2} = P_{FC} / (n_{FC} \times LHV_{H2})$$

$$m_{H2} = 50 / (0.52 \times 33.3) = 2.89 \text{ кг/ч}$$

То есть, когда топливный элемент мощностью 50 кВт работает на полную мощность, он потребляет примерно 2,89 кг водорода в час.

4.2 Система электролиза PEM (100 кВт)

Электролизер является основным источником получения водорода. Это предложение повышает мощность электролиза с 20 кВт (V3.0) до 100 кВт, обеспечивая рациональное энергопотребление по сравнению с топливным элементом мощностью 50 кВт и поддерживая долгосрочную работу системы с замкнутым контуром.

Параметр	Спецификация	Примечания
Тип	РЕМ (протонообменной мембраны)	Электролиз чистой воды
Номинальная мощность	100 кВт	Это обновление (V4.0)
Производительность H ₂	~ 20 Нм ³ /ч (1,80 кг/ч)	Номинальный КПД 60%
Диапазон КПД (LHV)	58%-65%	Расчетная медиана: 60%
Выходное давление H ₂	1,6 МПа	Давление на выходе
Чистота H ₂ (на выходе)	≥99,9%	Выходное отверстие электролизера
Качество воды	Деионизированная вода > 5 МОМ · см	Требуется очистка воды
Динамический отклик	10%-100% нагрузки, <5 сек.	Адаптируется к колебаниям ветра
Время холодного запуска	<15 мин	При температуре окружающей среды -35 °C
Метод охлаждения	Водяное охлаждение	Замкнутый контур
Рабочая температура	50-70 °C	Рабочая температура дымовой трубы.

4.2.1 Расчет скорости производства водорода

$$m_{H2,prod} = (P_{EL} \times \eta_{EL}) / LHV_{H2}$$

$$m_{H2,prod} = (100 \times 0.60) / 33.3 = 1.80 \text{ кг/ч}$$

В пересчете на объемный расход (стандартная плотность 0,0899 кг/Нм³):

$$V_{H2} = 1,80 / 0,0899 = 20,0 \text{ Нм}^3/\text{ч}$$

4.2.2 Производительность при различной эффективности

Эффективность электролизера	Производительность H ₂	Объемный расход	Суточная производительность (10 часов)
58% (нижняя граница)	1,74 кг/ч	19,4 Нм ³ /ч	17,4 кг/сут
60% (Расчетная медиана)	1,80 кг/ч	20,0 Нм ³ /ч	18,0 кг/сут
65% (верхняя граница)	1,95 кг/ч	21,7 Нм ³ /ч	19,5 кг/сут

4.3 Система очистки водорода (PSA)

Электролизер PEM производит водород чистотой ~99,9%. Установка очистки PSA (адсорбция с перепадом давления) дополнительно повышает ее до уровня 5N (99,999%), что соответствует строгим требованиям к чистоте топливных элементов и продлевает срок службы блока.

Параметр	Спецификация
Процесс очистки	PSA + сушка на молекулярном сите
Производительность обработки	≥20 Нм ³ /ч (соответствует электролизеру мощностью 100 кВт)
Чистота на входе	≥99,9% (на выходе из электролизера)
Чистота на выходе	>99,999% (класс 5N)
Точка росы на выходе	<-70 °C
Рабочее давление	1,6 МПа (соответствует электролизеру)
Скорость извлечения H ₂	≥80%
Режим автоматического переключения	двух-/многобашенный
регенерационный газ	Частичный продукт H ₂ продувка, отводимая в безопасную зону

4.4 Водородный компрессор

Давление на выходе из электролизера составляет всего 1,6 МПа, в то время как накопительные баллоны работают при 35 МПа. Обязательно наличие водородного компрессора. Это второе по величине энергопотребляющее устройство после электролизера.

Параметр	Спецификация
Тип	мембранного компрессора H ₂ (безмасляный)
Входное давление	1,6 МПа
Выходное давление	35 МПа
Номинальный расход	20 Нм ³ /ч (соответствует электролизеру мощностью 100 кВт)
Ступени сжатия	3-4 ступени (1,6 → 5 → 15→35 МПа)

Параметр	Спецификация
Мощность двигателя	~ 15-22 кВт
Метод охлаждения	С водяным или воздушным охлаждением
Требования к чистоте H ₂	Вход ≥99,999% (после PSA)
Метод контроля герметизации	EMS-linked, автоматический запуск/остановка благодаря металлической диафрагмой при хранении под давлением, нулевому загрязнению маслом

Техническое примечание: В мембранном компрессоре используется металлическая диафрагма для сжатия водорода без использования смазочного масла в цилиндре, что обеспечивает нулевое загрязнение чистоты водорода - предпочтительного метода сжатия водорода для топливных элементов. Потребляемая мощность компрессора составляет примерно 15-20% энергии производства водорода в электролизере.

4.5 Система хранения водорода

Система хранения использует систему хранения газообразного водорода под высоким давлением 35 МПа с использованием композитных баллонов типа III, расположенных на сгруппированных стеллажах в независимой камере хранения.

4.5.1 Расчет емкости хранилища

потребность в 48-часовом резервном режиме работы на полную мощность H₂:
 $m_{48h} = m_{H_2, cons} \times 48 = 2,89 \times 48 = 138,6 \text{ кг}$
 Включая 10%-ный запас на случай деградации стека и системных потерь:
 $m_{design} = 138,6 \times 1,10 = 152,5 \text{ кг}$
 Соответствующий стандартный объем: $152,5 / 0,0899 = 1,696 \text{ Nm}^3$

4.5.2 Конфигурация цилиндра

Параметр	Спецификация	Примечания
Тип баллона	Тип III композитный	алюминиево-пластиковый вкладыш + обертка из углеродного волокна
Объем одного баллона	400 л	Стандартная спецификация
Рабочее давление	35 МПа	Стандартная конфигурация
Испытательное давление	52,5 МПа	1,5 × рабочее давление
Single Cyl. Производительность H ₂	~ 5,5–6,0 кг	Фактическая 35 МПа (вкл. коэффициент сжатия)
Количество цилиндров	14 единиц	Технические рекомендации

Параметр	Спецификация	Примечания
Общий объем хранения H ₂	~ 154-168 кг	Удовлетворяет проектной потребности в 152,5 кг
Общий объем воды	5600 л (5,6 м ³)	—
Формат стеллажей	Групповое крепление в стойку	Независимая кабина для хранения
Предохранительные приспособления	TPRD на каждом цилиндре + аварийный запорный клапан	-

4.5.3 Спецификация системы хранения

Номер	оборудования	Спецификация	Кол-во
1	Составной баллон H ₂	400 л, 35 МПа, тип III	14
2	стойки для баллонов	сгруппированы, сейсмическая конструкция	4 комплекта
3	Загрузочный коллектор	35 МПа, нержавеющая сталь	1 комплект
4	Выпускной коллектор	Редуктор 35 МПа → 0,3 МПа	1 комплект
5	Аварийный запорный клапан	35 МПа, пневматический/электрический	2 шт
6	Датчик давления	0-40 МПа, 4-20 мА	2 шт
7	Датчик температуры	PT100	Несколько
8	Предохранительный клапан	заданное давление 38 МПа	2 шт
9	Ручной запорный клапан	35 МПа,	несколько из нержавеющей стали

4,6 ПК — Система преобразования мощности

ПК содержит как выпрямитель, так и инвертор, реализующий преобразование энергии от ветра переменного тока в электролизер постоянного тока и от топливных элементов постоянного тока в нагрузку переменного тока соответственно.

Параметр	Выпрямитель (со стороны ветра)	Инвертор (со стороны топливного элемента)
Вход	переменного тока 380 В/50 Гц, 3-фазный	постоянный ток 400 В
Выход	регулируемый по постоянному току (со стороны электролизера)	Переменный ток 380 В/50 Гц, 3-фазная
номинальная мощность	≥100 кВт (соответствует электролизеру)	≥50 кВт (соответствует топливному элементу)
КПД	>96%	>96%

Параметр	Выпрямитель (со стороны ветра)	Инвертор (со стороны топливного элемента)
Степень защиты	IP54	Функции защиты
принудительного воздуха	охлаждения	Принудительная подача воздуха
Функции защиты	Защита от перенапряжения, перегрузки по току, перегрева, короткого замыкания	Защита от перенапряжения, перегрузки по току, перегрева, изолирования
Связь	Modbus / CAN	Modbus / CAN

4.7 EMS — Система энергоменеджмента

EMS построен на платформе ПЛК с интерфейсом SCADA HMI (опционально русский язык). Это управляющий мозг всей системы.

Функциональный модуль	Описание
Мониторинг в режиме реального времени	Мощность ветра, давление H ₂ , состояние топливных элементов, потребляемая нагрузка, параметры оборудования
Переключение режима	Автоматические переходы Wind Direct → Hybrid → H ₂ Backup
Управление электролизером	Автоматическая регулировка мощности электролизера в зависимости от избытка ветра
Управление топливными элементами	Запуск / остановка, отслеживание нагрузки, модуляция мощности
Управление компрессором	Поэтапный автоматический запуск / остановка в зависимости от давления хранения H ₂
Контроль Безопасности	Многоуровневый контроль концентрации, температуры, давления H ₂ и аварийные сигналы
Удаленный доступ	, Удаленный 4G / Ethernet диагностика и оперативный мониторинг
Регистрация данных	Хранение данных о производительности, исторические тенденции, профилактическое обслуживание
Управление аварийными сигналами	Уведомления по SMS / электронной почте, многоуровневые пороговые значения аварийных сигналов
Интерфейс HMI	Сенсорный экран, опционально русский / английский / китайский

5. Расчет энергетического баланса и пополнения запасов

5.1 Анализ соотношения производства и потребления

Долгосрочная автономность системы зависит от соотношения скорости выработки водорода в электролизере и расхода водорода в топливных элементах.

$$\text{Отношение производства к потреблению} = m_{\text{prod}} / m_{\text{cons}} = 1,80 / 2,89 = 62,3\%$$

Это означает: производительность электролизера составляет 62,3% от расхода топливных элементов. На каждый 1 час выработки полной мощности требуется примерно 1,6 часа электролиза для пополнения запасов. При обилии ветра достигается увеличение чистых запасов водорода; при недостатке ветра система постепенно отключается, что в целом обеспечивает долгосрочную работу по замкнутому циклу.

5.2 Расчет времени заправки

Время, необходимое для полного пополнения 48-часового хранилища водорода (138,6 кг без учета запаса):

$$t_{\text{refill}} = 138,6 / 1,80 = 76,9 \text{ часов}$$

ежедневных производственных часов	Дней до полной заправки	Применимый сценарий
8 часов в день	9,6 дней	в регионах со слабым ветром
10 часов в день (проектный базовый уровень)	7,7 дня	Умеренные ветровые ресурсы
12 часов в день	6,4 дня	Отличные ветровые ресурсы
24 часа в день (сетевое питание)	3,2 дня	Аварийная перезарядка / внешнее питание

5.3 Сравнение: V3.0 (20 кВт) против V4.0 (100 кВт)

Элемент сравнения	V3.0 (электролизер мощностью 20 кВт)	V4.0 (электролизер мощностью 100 кВт)	Улучшение
мощности электролизера	20 кВт	100 кВт	5 ×
Производительность H ₂	0,36 кг / ч	1,80 кг / ч	5 ×
Производительность / минусы. Соотношение	12,5%	62,3%	5 ×
Заправка 48 часов (10 часов в день)	~ 38 дней	~ 7,7 дня	Снижение на 80%
автономности системы	Трудно поддерживать	Длительный замкнутый цикл, способный к	качественному скачку

5.4 Комплексный расчет эффективности

Общая эффективность от подачи ветра к выходу переменного тока:

$n_{total} = n_{EL} \times n_{PSA} \times n_{comp} \times n_{FC} \times n_{PCS}$		
этапе	эффективность	замечания
в PEM электролизер	60%	HTC основе
СРП очистки	80%	H2 скорость восстановления
H2 компрессор	85%	Изоэнтروпический КПД
топливного элемента Пэм	52%	HTC основе
ПК инвертора	96%	—
$n_{total} = 0.60 \times 0.80 \times 0.85 \times 0.52 \times 0.96 \approx 20.4\%$		

То есть, 100 кВт * ч потребляемой энергии ветра в конечном итоге дают примерно 20,4 кВт * ч электроэнергии переменного тока. Это типичный уровень эффективности для накопления энергии на водороде (15-25%), при этом основные потери происходят в термодинамической эффективности преобразования электролизера и топливного элемента.

6. Дизайн 48-часовой гарантии резервного копирования

6.1 Проверка возможности резервного копирования

Значение	элемента расчета
Номинальной мощности топливного элемента	50 кВт
Целевой продолжительности резервного копирования	48 часов
Общая потребность в энергии	$50 \times 48 = 2400 \text{ кВт*ч}$
КПД топливного элемента	52% LHV
Теоретическая потребность в H2	$2,400 / (0.52 \times 33.3) = 138.6 \text{ кг}$
Проектное хранилище (запас 10%)	152,5 кг
Фактическая конфигурация (14 цилиндров)	~ 154-168 кг
Вывод резервной копии	Удовлетворяет 48-часовой работе на полной мощности + запас

6.2 Продолжительность резервного копирования при различных нагрузках

Мощность нагрузки	Расход H ₂	Продолжительность резервного копирования (152,5 кг)
50 кВт (полная мощность)	2,89 кг/ч	52,8 часа
40 кВт (нагрузка 80%)	2,31 кг/ч	66,0 часов
30 кВт (нагрузка 60%)	1,73 кг/ч	88,1 часа
25 кВт (нагрузка 50%)	1,45 кг/ч	105,2 часа

Заключение по проекту: При полной мощности 50 кВт система обеспечивает примерно 53 часа резервного копирования (включая запас), что соответствует запланированному сроку в 48 часов. При типичных частичных нагрузках (30-40 кВт) продолжительность резервного копирования увеличивается до 66-88 часов.

7. Контейнерная интеграция

7.1 Общая планировка

Из-за большей площади электролизера мощностью 100 кВт и 14-цилиндрового хранилища водорода в данном предложении используется отдельная компоновка:

- Контейнер для питания (40-футовый): вмещает электролизер, топливный элемент, ПК, EMS, систему охлаждения и очистки воды.
- Кабина для хранения водорода (независимая): вмещает 14 баллонов типа III мощностью 35 МПа, компрессор H₂, блок PSA и коллекторы.

Преимущества отдельной компоновки: физическая изоляция между хранилищем водорода и силовой электроникой повышает безопасность; стойки для баллонов можно транспортировать и устанавливать независимо; упрощается расширение мощностей в будущем.

7.2 Компоновка 40-футового энергетического контейнера

Зона	Оборудования
Зона 1 (Передняя)	Диспетчерская: EMS + SCADA + PCS инвертор
Зона 2	Электролизер PEM (100 кВт) + Очистка воды
Зона 3	Система охлаждения (общая для электролизера и топливного элемента)
Зона 4 (Задняя)	Топливный элемент PEM (50 кВт) + Воздушная система
Внешний вид	 вентиляторы, датчики H ₂ , связь. антенна, пожарный интерфейс

7.3 Расположение кабины для хранения Водорода

Оборудование	зоны
спереди	очистки PSA +

Оборудование	зоны
Средний	коллекторы для зарядки/ выгрузки компрессора H2 + группа клапанов
Сзади	14 баллонов с водородом (сгруппированные стойки)
Снаружи	Кнопка аварийной остановки, спринклерная система пожаротушения, датчики H2

7.4 Технические характеристики контейнера

Параметр	40-футовый контейнер для хранения энергии	Кабина для хранения H2
Внешние размеры	12192 × 2438 × 2591 мм	Адаптируется к компоновке баллона
Внутренняя высота	~ 2300 мм	—
Изоляция	сэндвич-панель из 100 мм полиуретана (R>3,5)	Дополнительная изоляция
Грузоподъемность пола	> 5 тонн	Рассчитана на вес баллона
Степень защиты	IP54	IP54
Двери	двойные сзади + боковой доступ	Двойная дверь
Вентиляция	Принудительная + естественная	Принудительная (взрывозащищенная - защищенные вентиляторы)
Освещение	светодиодное низкотемпературное	Взрывозащищенное светодиодное
Отопление	Электрическое + рекуперация отработанного тепла на топливных элементах	Дополнительный нагрев следов

8. Проект адаптации к экстремальным климатическим условиям

8.1 Базовые характеристики в холодную погоду (-35°C)

В стандартной конфигурации все основное оборудование (топливный элемент, электролизер, компоненты BOP) проверено на стабильную работу при температуре -35 °C. Непрерывные полевые испытания в течение двух зимних циклов в сибирских условиях показали отсутствие сбоев при холодном запуске.

Индикатор	характеристик
Минимальная рабочая температура.	-35 ° C

Индикатор	характеристик
Время холодного запуска	<15 мин в режиме ожидания при температуре -35 °С
Испытание на непрерывную работу	72 часа непрерывной работы при температуре -35°С, никаких отклонений
Рабочий диапазон	от -35 °С до +40 ° С, без снижения производительности
Проверка в полевых условиях	Сибирь, два зимних цикла, испытания в полевых условиях

Пакет обновления 8.2 -40 °С

Для соответствия требованиям температуры -40 ° С на заводе-изготовителе необходимо предварительно установить только стандартный комплект для работы в холодном климате - никаких конструктивных изменений основного оборудования не требуется.

Внешний вид	Стандартный (-35 °С)	-40 ° С Обновление
дополнительных компонентов	Нет	1 × комплект для холодного климата (стандартный)
Установка	-	Заводская предустановка
Конструктивные изменения	—	Нет
Влияние на производительность	Базовый уровень	Без ухудшения
Валидация	Полевые испытания в Сибири	Лаборатория + двойная валидация в полевых условиях
Влияние на доставку	базовый уровень	+ 1 неделя (установка и тестирование)
Влияние на стоимость	базового уровня	минимальное (стандартные детали)

8.3 Изоляция контейнеров и терморегулирование

Особенность	Конструкции
Изоляционный материал	100-миллиметровая сэндвич-панель из полиуретана, R> 3,5
Система отопления	Электрическое отопление + рекуперация отработанного тепла на топливных элементах
Трассировка тепла в трубах	Все трубопроводы H2 с саморегулирующимся тепловым кабелем
Охлаждающая жидкость	Водно-гликолевая смесь с температурой до - 50 ° С

Особенность	Конструкции
Вентиляция	Контролируемый поток воздуха, защита от замерзания, безопасный выхлоп H ₂
Внутренняя целевая температура	> 5 ° C при экстремальных холодах

9. Проектирование системы безопасности

Безопасность использования водорода является основным соображением при проектировании. Это предложение объединяет несколько уровней защиты для обеспечения безопасной эксплуатации в любых условиях.

9.1 Защита от использования водорода

Конфигурация	уровня защиты
Обнаружение H ₂	многоуровневые детекторы газа H ₂ (потолочные, H ₂ поднимается)
Обнаружение утечки	Автоматическое включение принудительной вентиляции + сигнализация при обнаружении
Аварийное отключение	Пневматические / электрические клапаны ESD на всех трубопроводах H ₂
Безопасность баллонов	TPRD (термоактивируемый сброс давления) на каждом баллоне
Защита от избыточного давления	Предохранительные клапаны (комплект 38 МПа) в системе хранения
пожаротушение	Система на основе азота (совместимая с H ₂), дополнительный разбрызгиватель
Электрический взрыв-	оборудование зоны хранения соответствует стандартам ATEX/IECEx
Защита конструкции	Взрывозащищенная конструкция кабины для хранения
Статическая защита	Все оборудование и трубопроводы надежно заземлены

9.2 Логика защитной блокировки

- Концентрация H₂ >25% LEL → Автоматическая вентиляция + сигнализация
- Концентрация H₂ >50% LEL → Аварийное отключение H₂ + отключение системы + сигнализация
- Давление при хранении >37 МПа → Отключение компрессора + аварийный сигнал
- Давление при хранении <2 МПа → Снижение мощности топливного элемента или выключение + сигнализация
- Ненормальная температура → Соответствующее отключение оборудования + сигнализация
- Задымление/пожар → Аварийное отключение + пожаротушение + сигнализация

10. Объем поставки

10.1 Сфера Деятельности поставщика

Категория	Содержимого
Основного оборудования	40-футовый энергетический контейнер (электролизер, топливный элемент, ПК, EMS)
Система хранения H ₂	Независимая камера хранения (баллоны 14 × 35 МПа, компрессор, PSA, клапаны)
Внутренняя интеграция	Все трубопроводы, кабели, инструменты, клапаны
Система управления	EMS + SCADA HMI (опционально русский / английский / китайский)
Система безопасности	Детекторы H ₂ , электростатические клапаны, пожаротушение, заземление
Проверка на жирность	Заводские приемо-сдаточные испытания, вкл. проверка холодного запуска
Сервисное обслуживание на месте	Руководство по установке, вводу в эксплуатацию и поддержка интеграции
Обучение	Обучение оператора (на месте или удаленно)
Запасные части	Год-1 комплект запасных частей
Документация	Руководство по эксплуатации, руководство по техническому обслуживанию, чертежи (русский / английский)

10.2 Ответственность Клиента (возможна поставка собственного ветрогенератора- ветряной стены)

- Поставка и установка ветряных турбин (класс приблизительно 100-150 кВт, соответствующий потребности в производстве водорода).
- Подключение к сети / интерфейсу нагрузки.
- Подготовка площадки (бетонный фундамент, заземление, ограждение).
- Подача воды в электролизер (деионизированная вода или сырая вода + очистка).
- Местные разрешения и сертификация (при необходимости сертификация ЕАС).
- Подъемное оборудование для позиционирования оборудования.

10.3 График поставок

Продолжительность	этапа	Ключевые действия
Контракт и инжиниринг	3 недели	Окончательная калибровка, выбор комплекта при температуре -40 ° C, проектирование интерфейса

Продолжительность	этапа	Ключевые действия
Производство и интеграция	16 недель	Сборка контейнера, установка оборудования, тестирование на жирность
Модернизация при температуре -40 ° C (при необходимости)	2 недели	Установка и тестирование комплекта для холодного климата
Транспорт и логистика	4 недели	Доставка, таможенное оформление
Установка на месте	4 недели	Фундамент, размещение оборудования, трубопроводы
Ввод в эксплуатацию	4 недели	Тестирование системной интеграции, обучение, передача в эксплуатацию
Всего (Ориентировочно)	33 недели	С момента подписания контракта до ввода в эксплуатацию

11. Краткое описание технических параметров

11.1 Общие параметры системы

Параметр	Значение
Номинальной выходной мощности	50 кВт
Номинальная мощность электролизера	100 кВт
Выходное напряжение	переменного тока 380 В/50 Гц, 3-фазный
Резервный режим	48 часов (при полной мощности)
Давление H ₂ для хранения	35 МПа
Емкость для хранения H ₂	~ 152,5 кг (расчетное значение)
Количество цилиндров	14 единиц × 400 л
Рабочая температура.	От -35 °C до + 40 ° C (опционально -40 °C)
Сквозной КПД	~ 20,4%
Время заправки	~ 7,7 дня (производство 10 часов в день)
Формат интеграции	40-футовый энергетический контейнер + независимая кабина H ₂
Цикл поставки	33 недели

11.2 Краткий справочник по основному оборудованию

Оборудование	Основные параметры
топливного элемента PEM	50 кВт, 400 В постоянного тока, эффективность 52%, ресурс > 40 000 ч, 2,89 кг/ч H ₂ мин.
Электролизер PEM	100 кВт, 1,80 кг/ч (20 Нм ³ /ч), эффективность 60%, выход 1,6 МПа
Очистка PSA	20 Нм ³ /ч, чистота >99,999%, точка росы <-70 °С, регенерация ≥80%
Компрессор H ₂	Диафрагменный, 20 Нм ³ /ч, 1,6→35 МПа, 15-22 кВт
Блок цилиндров H ₂	14 ×400 л, 35 МПа, Тип III, всего ~ 155 кг
ШТ Выпрямитель	≥100 кВт, AC380V → Регулируется по постоянному току, эффективность > 96%.
Инвертор для ПК	≥50 кВт, DC400V → AC380V, эффективность > 96%.
EMS	PLC + SCADA, пульт дистанционного управления 4G/Ethernet, многоязычный HMI

12. Ориентировочная стоимость спецификации

12.1 Спецификация основного оборудования

Количество	оборудования	Спецификация / модель,	Кол-во	всего (100 тыс. рублей),
1	Система топливных элементов PEM	мощностью 50 кВт с водяным охлаждением, вкл. Электролизер BOR	1 комплект	45
2	системы электролиза PEM	мощностью 100 кВт, 20 Нм ³ /ч, вкл. BOR	1 комплект	154
3	мембранного компрессора H ₂	20 Нм ³ /ч, 1,6→35 МПа, 3-4 ступени	1 блок	35
4	цилиндра H ₂ типа III	400 л, 35 МПа, углеродное волокно	14 шт	25
5	стоек для цилиндров и приспособлений	Сгруппированы, сейсмическая конструкция	4 комплекта	10
6	коллекторов для зарядки/разряда	35 МПа/С, вкл. Электростатические клапаны	1 комплект	6.5
7	Очистка PSA H ₂	20 Нм ³ /ч, >99,999%, <-70°C	1 комплект	25
8	Выпрямитель для ПК	Переменный ток 380V → постоянный, ≥100 кВт, > 96%	1 единица	10

Количество	оборудования	Спецификация / модель,	Кол-во	всего (100 тыс. рублей),
9	Инвертор для ПК	DC400V→AC380V, ≥50 кВт, > 96%	1 единица	10
10	Система EMS	PLC + SCADA + HMI , 4G, многоканальный	1 комплект	15
11	Система	охлаждения	с замкнутым контуром подачи воды, общая	1 комплект
15	12	Деионизированная вода для	очистки воды, > 5 МОМ · см	1 комплект
8,5	13	Пневматический источник управления	Воздушный компрессор + осушитель	1 комплект
8,5	14	Азотная система	Контейнерный генератор N2	1 комплект
15	Контроль Безопасности	Датчики H2/дыма/температуры + сигнализация	, 1 комплект	6
16	пожаротушения	на основе N2 + спринклеры	1 комплект	4,5
17	Трубопроводов, клапанов, приборов	H2/охлаждающих труб, кабелей, датчиков	1 лот	16
		основного оборудования Итого		409

12.2 Стоимость контейнера и интеграции

Номер	Предмет	,	Сумма (100 тыс. рублей)
1	Изоляция контейнера	сэндвич из полиуретана толщиной 100 мм, R>3,5	4
2	Внутренняя отделка контейнера	Стены, пол, освещение, двери	3.5
3	. Контрольная	Прокладка труб H2, обогрев кабины	2
4	Складская кабина H2 Индивидуальная	кабина, взрывозащищенная вентиляция	10
5	Установка и интеграция оборудования	Размещение, трубопроводы, электропроводка, отладка	35
	Промежуточный итог по контейнеру и интеграции		54,5

12.3 Стоимость проектирования и обслуживания

Нет.	Пункт	описание	сумму (100 тыс. рублей)
1	жира тестирование	функции холодного запуска, тесты производительности	7
2	транспорта и логистики	домашний + международная доставка в Россию, таможенная	12
3	места установки поддерживающих	техник на месте руководства (2-3 недели)	8
4	ввод в эксплуатацию и пробный запуск	системы интеграции, 72ч суд	10
5	обучения	очная/заочная, в т. ч. учебные материалы	4
6	Техническая документация	Руководства, чертежи (Ru/En/Cn)	3
7	Год-1 Запасные части	Изнашиваемые детали, фильтры, уплотнения, датчики	12
8	Сертификация ЕАС (при необходимости)	Сертификация Евразийского экономического союза	15
	Итого по инжинирингу и сервисному обслуживанию (без учета ЕАС)		71

12.4 Сводная стоимость

Категория затрат	Сумма (100 тыс. рублей)	Примечания
Основное оборудование	409	
Контейнеров и интеграции	54,5	
Инжиниринг и сервис	71	
Общие прямые затраты	534,5	
Накладные расходы	108,8	
Всего по проекту (без учета ЕАС)	643,3	+ Прибыль 25%
Вкл. Сертификация ЕАС (+10)	653.3	Итого: 816625500.00 р.

Примечание: Все цены рассчитаны для целей предварительного составления бюджета.

Окончательное предложение будет предоставлено после технического подтверждения.

Не включает: Ветряную турбину, подготовку площадки, местные разрешения и логистику внутри страны, в России.

13. Модель партнерства: использование ветроэнергетических активов клиентов

В этом разделе разъясняется, как предлагаемая система интегрируется с существующими ветряными турбинами заказчика — основа нашего подхода к сотрудничеству.

13.1 Интеграция ветряных турбин с заказчиком

В настоящее время заказчик эксплуатирует ветряные турбины трех номинальных мощностей:

Турбина клиентов	В переменного тока выходное	напряжение	интеграционный метод
10 кВт	переменного тока	380 В / 220 В	напрямую к ПК выпрямителя (через AC/DC преобразования, если это необходимо)
50 кВт	переменного тока	380 В / 220 В	напрямую к ПК выпрямителя (основной конструкцией мишени)
150 кВт	переменного тока	380 В / 220 В	напрямую к ПК выпрямителя (запас для будущего масштабирования)

Все выходные сигналы турбины - переменного тока; выпрямитель PCS преобразует электролизер в постоянный ток. Если выход постоянного тока окажется более экономичным, можно сконфигурировать прямой интерфейс постоянного тока.

13.2 Три уровня мощности — одна платформа

- Тракт турбины мощностью 10 кВт: топливный элемент мощностью 80 кВт понижен до 10 кВт; электролизер меньшего размера (20 кВт) для согласования. Идеально подходит для удаленных объектов с низким энергопотреблением.
- Турбинный тракт мощностью 50 кВт (первичный): топливный элемент мощностью 50 кВт на полную мощность; электролизер мощностью 100 кВт для быстрой заправки. Это эталонный дизайн этого документа.
- Турбина мощностью 150 кВт: одномодульный топливный элемент мощностью 150 кВт (или тройной мощностью 50 кВт); электролизер мощностью 100 кВт с дальнейшим расширением до 200 кВт. Масштабируемая архитектура.

13.3 Параметры продолжительности резервного копирования

Заказчик запросил варианты резервного копирования как на 24, так и на 72 часа. В таблице ниже показано влияние требований к хранению водорода:

Продолжительность резервного копирования	Требуется H ₂ (без запаса)	Расчетный H ₂ (запас 10%)	Количество цилиндров (400 л)	прибл. Контейнер
24 часа при 50 кВт	69,3 кг	76,3 кг	8 баллонов	20-футовый

Продолжительность резервного копирования	Требуется H2 (без запаса)	Расчетный H2 (запас 10%)	Количество цилиндров (400 л)	прибл. Контейнер
				или общий 40-футовый
48 часов при 50 кВт (этот документ)	138,6 кг	152,5 кг	14 баллонов	40-футовый + кабина для хранения
72 часа при 50 кВт	207,9 кг	228,7 кг	21 баллон	40-футовый + кабина для хранения большего размера

13.4 Рамки сотрудничества

Наша роль: Обеспечить полную водородную цепочку — от момента, когда ветряная турбина выдает энергию переменного тока, до запасенного водорода и надежного резервного питания 380 В переменного тока.

Роль заказчика: Обеспечить ветряную турбину, площадку, водоснабжение и подключение нагрузки. Возможно комплексное предложение «под ключ».

Вы владеете ветром. Мы преобразуем его в надежную энергию 24/7.
 Никакой солнечной энергии. Никакого газа. Просто ветер + вода → водород → электричество.
 Одна платформа. Три уровня мощности. Модульное масштабирование. Проверенная технология.

Приложение А: Терминология и сокращения

Аббревиатура	подробная форма	описания
Пэм	протонного обмена мембраны	протонного обмена мембраны
пса	адсорбцией качания давления	адсорбцией качания давления
шт	мощность преобразования системы	преобразования энергии системы
ЭМС	системы энергоменеджмента,	системы энергетического менеджмента
ПБ	балансе завода	вспомогательных систем
НТС	теплотворность	теплотворности (33.3 кВт * ч/кг H2)

Аббревиатура	подробная форма	описания
SCADA-системы	диспетчерского управления и сбора данных	для мониторинга и сбора данных
для HMI	человеко-машинный интерфейс	-человеко-машинный интерфейс
TPRD	термически активирован предохранительный клапан	теплого сброса давления
нижнего предела взрываемости	нижний предел взрываемости	нижний предел взрываемости
жира	заводские приемочные испытания	заводских приемочных испытаний
TCO	совокупная стоимость владения	совокупная стоимость владения
ОУР	аварийного отключения	аварийного отключения
ATEX	Atmosphères Explosibles	ЕС взрывозащиты директивы
EAC	Евразийского соответствия	России/Сертификация ЕАЭС



Общая предварительная стоимость интегрированной ветро-водородной установки на **150 кВт/ч** с производством водорода (**99,999%**) в объеме **20 м3/ч** и резервным хранением и бесперебойным снабжением электроэнергии (при отсутствии ветра) **от 48 до 72 часов**, составляет **100 млн. рублей**.
Ввод в эксплуатацию **9 месяцев**.
Срок окупаемости **15 месяцев**.

**Правообладатель: ООО «КОНСТРУКЦИЯ»
Управляющий партнер
«Фонда развития инноваций в возобновляемой-водородной энергетике».
Контакты: info@h2portal.ru +7 (921)3870030**