FlatCore

Гибридные баки хранения водорода нового поколения

Сжатие + MOF: больше водорода в том же объёме



- **+20–30%** ёмкости
- **350–700 бар** рабочее давление
- **Безопасность** и надёжность
- **Экологичность** и чистая энергия

Почему рынку нужна новая категория

Высокое давление (сжатый H_2)



- Проверенная технология
- 350–700 бар
- Ограниченная ёмкость

Криогенное хранение (жидкий водород)



- Очень высокая ёмкость
- Сложная инфраструктура
- Потери при испарении и транспортировке

MOF-адсорбция (твёрдые сорбенты)



- Высокая ёмкость
- Низкое рабочее давление
- Низкая скорость заправки

Гибридный бак (сжатие + MOF)



- 350–700 бар с адсорбцией MOF
- +20–30% больше водорода
- Оптимальный баланс

Как это работает

1 Загрузка



Водород поступает в бак под давлением. Часть H_2 сжимается, часть адсорбируется в MOF.

2 Хранение



MOF-материал удерживает водород на своей поверхности, увеличивая общую ёмкость хранения.

3 Разрядка



При снижении давления водород высвобождается из MOF и подаётся в систему.

Конструкция гибридного бака



1. **Композитный корпус**
   Лёгкий и прочный корпус из углеродного волокна защищает систему и выдерживает высокие нагрузки.
2. **Алюминиевый лайнер**
   Герметичный алюминиевый лайнер обеспечивает надёжную герметичность и устойчивость к давлению и температуре.
3. **MOF-гранулы**
   Гранулы с MOF-адсорбентом обеспечивают высокую ёмкость хранения водорода и быструю кинетику адсорбции/десорбции.
4. **Горловина бака**
   Оптимизированная горловина обеспечивает эффективный поток водорода и надёжное соединение с системой.
5. **Внутренний сепаратор**
   Разделяет слои системы и обеспечивает равномерное распределение потока водорода.

Детали конструкции

Композитный корпус



Алюминиевый лайнер



MOF-гранулы



Внутренний сепаратор



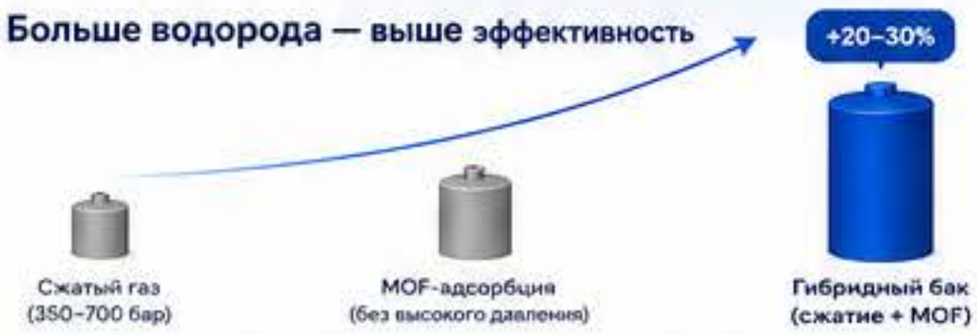
Горловина бака



Преимущества Hybrid MOF

- **+20–30%** больше ёмкости
- **Высокая безопасность** и надёжность
- **350–700 бар** рабочее давление
- **Экологичность** чистая энергия без выбросов
- **Эффективность** быстрая заправка и разрядка
- **Гибкость** для разных сценариев применения

Больше водорода — выше эффективность



Сравнение технологий

Параметр	Сжатый газ (350–700 бар)	Криогенное хранение (H_2)	MOF-адсорбция (без высокого давления)	Гибридный бак (сжатие + MOF)
Рабочее давление	350–700 бар	1–10 бар	~1–10 бар	350–700 бар
Объёмная ёмкость	Средняя	Очень высокая	Высокая	Выше на 20–30%
Температура	Окружающая	−253 °C	Окружающая	Окружающая
Безопасность	Высокая	Низкая (кипение)	Высокая	Очень высокая
Сложность системы	Низкая	Высокая	Средняя	Средняя
Инфраструктура	Широкая	Ограниченная	Развивающаяся	Совместима с текущей

Применения

Легковые автомобили



Электрический транспорт



Беспилотные летательные аппараты



Системы хранения энергии



Мобильные генераторы



Путь развития технологии

1. **Текущая система (сжатие)**
   350–700 бар
2. **Гибрид 1.0 (пассивные кассеты MOF)**
   +15–25% ёмкости
3. **Гибрид 2.0 (оптимизированные MOF)**
   +25–35% ёмкости
4. **Гибрид 3.0 (активное управление)**
   Термоуправление и контроль
5. **Будущее поколение** (ниже давление, выше ёмкость)
   100–250 бар

МЫ СОЗДАЁМ НОВУЮ КАТЕГОРИЮ

ГИБРИДНЫЕ БАКИ: СЖАТИЕ + MOF – НОВЫЙ СТАНДАРТ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА

1. КОМПОЗИТНЫЕ БАКИ (Тип IV / V)



Технология	Зрелая, серийная
Давление	350–700 бар
Ёмкость (грав.)	2–4 мас.% H_2
Температура	Окружающая
Преимущества	Проверено, стандартизовано, быстрое заполнение
Ограничения	Ограниченная ёмкость, высокое давление

Индустриальный стандарт сегодня, но упирается в физические пределы ёмкости

2. КРИОГЕННОЕ ХРАНЕНИЕ (ЖИДКИЙ ВОДОРОД)



Технология	Зрелая, но сложная
Давление	1–10 бар
Ёмкость (грав.)	8–12 мас.% H_2
Температура	-253 °C
Преммущества	Высокая плотность энергии по массе
Ограничения	Испарения, низкая эффективность, сложная инфраструктура

Высокая ёмкость, но высокая сложность и потери

3. АДСОРБИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ (MOF / СОРБЕНТЫ)



Технология	Научные разработки, пилотные проекты
Давление	Низкое / среднее (1–100 бар)
Ёмкость (грав.)	До 4–7 мас.% H_2 (при оптимальных условиях)
Температура	Чувствительна (часто требуется охлаждение)
Преммущества	Потенциал высокой ёмкости при низком давлении
Ограничения	Кинетика, масса сорбента, стоимость, отсутствие стандартов

Большой потенциал, но нет промышленного решения

4. НОВАЯ КАТЕГОРИЯ ГИБРИДНЫЙ БАК (СЖАТИЕ + MOF)



Технология	Сочетает лучшее из двух миров
Давление	350–700 бар (основное хранение) + адсорбция в MOF
Ёмкость (грав.)	**+20–30% к ёмкости в том же объёме**
Температура	Окружающая (оптимизированная MOF)
Преммущества	Больше ёмкость, выше безопасность, та же инфраструктура
Ограничения	Новая категория – требуется стандартизация и масштабирование

НОВАЯ КАТЕГОРИЯ, КОТОРАЯ УСТРАНЯЕТ ОГРАНИЧЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕШЕНИЙ

РЫНОЧНЫЙ РАЗРЫВ

Спрос на водород быстро растёт (энергетика, транспорт, промышленность)

Существующие решения не обеспечивают оптимального баланса ёмкости, стоимости, безопасности и удобства

Рынку нужна новая категория – с шаговым улучшением ёмкости без усложнения инфраструктуры

НАШЕ РЕШЕНИЕ – НОВАЯ КАТЕГОРИЯ

ГИБРИДНЫЙ БАК (СЖАТИЕ + MOF)



Высокое давление (основное хранение) + MOF-картридж (дополнительное хранение) = Больше водорода в том же объёме и при том же давлении

+20–30% к ёмкости в том же баке

Выше безопасность за счёт адсорбции части водорода

Та же инфраструктура (350–700 бар)

Сохранение экономики и масштабируемости

ЦЕННОСТЬ ДЛЯ ПАРТНЁРОВ И КЛИЕНТОВ

Больше водорода – больше дальность, меньше баков – меньше вес и стоимость системы

Повышенная безопасность (часть водорода связана в MOF)

Совместимость с существующими стандартами и цепочкой поставок

Формируем новую категорию и стандарты будущего рынка водорода

Мы не просто улучшаем существующие решения — мы создаём новую категорию хранения водорода.

Гибридный бак (сжатие + MOF) – это следующий шаг эволюции водородной энергетики.

ИНТЕГРАЦИЯ MOF В ПЛОСКИЙ БАК FLATCORE

ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА: СЖАТИЕ + АДСОРБЦИЯ

1. КОНСТРУКЦИЯ ГИБРИДНОГО БАКА (FLATCORE + MOF)



2. КАК РАБОТАЕТ ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА

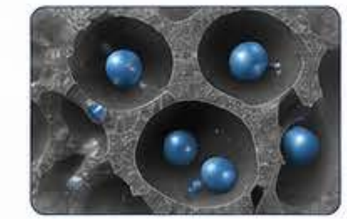
ЗАПРАВКА

Водород под высоким давлением поступает в бак. Часть газа остаётся в виде сжатого газа в свободном объёме, часть адсорбируется в порах MOF.



ХРАНЕНИЕ

MOF удерживает молекулы водорода в порах за счёт физического взаимодействия. Это увеличивает общую плотность хранения.



РАЗРЯДКА

При снижении давления газ высвобождается из MOF и подаётся в систему потребителя, обеспечивая стабильный поток.



Молекулы H_2 в газовой фазе Молекулы H_2, адсорбированные в MOF

3. МАТЕРИАЛ MOF – ФУНКЦИЯ И НАСТРОЙКА

Газ	Цель	Типичные подходы к настройке MOF
H_2	Максимальная ёмкость при умеренном давлении и безопасная работа	• Открытые металлические центры (Mg, Cu, Ni, Fe) • Ультрамикропористые структуры (0.5–1.2 нм) • Doping (Li, Mg) для увеличения поляризации и энергии адсорбции • Функционализация лигандов (π-системы, аминогруппы)
CH_4	Высокая ёмкость при умеренных давлениях	• Гидрофобные поры подходящего размера (0.6–1.0 нм) • Высокая объёмная плотность • Стабильность к влаге
CO_2	Высокая селективность и ёмкость	• Аминофункционализация (—NH_2, —OH) • Щелочные металлы (K, Na) • Сильные полярные центры

Настройка MOF осуществляется выбором металла, органического лиганда, модификацией узлов, пор и поверхностной химии.

4. КАССЕТНЫЙ МОДУЛЬ MOF



5. ИНТЕГРАЦИЯ ВНУТРИ БАКА



Кассеты с MOF размещены в рабочей зоне бака. Поток газа равномерно распределяется по каналам, проходя через гранулы MOF.

6. ПРЕИМУЩЕСТВА ИНТЕГРАЦИИ MOF

- Увеличение массы хранимого газа на 15–30% (при 350–700 бар и 20–25 °C)
- Снижение требований к давлению при той же ёмкости
- Стабильная отдача газа и буферизация давления
- Повышенная безопасность (часть газа связана в порах)
- Модульная замена кассет MOF (сервис/апгрейд)

7. СРАВНЕНИЕ: БАК 25 ЛИТРОВ

Конфигурация	Рабочее давление	Хранимая масса H_2 (без MOF)	Хранимая масса H_2 (с MOF)	Прирост
Сжатый газ (текущий прототип)	350 бар	0,60 кг	0,72 – 0,78 кг	+20 – 30%
Сжатый газ (текущий прототип)	700 бар	1,00 кг	1,20 – 1,30 кг	+20 – 30%

Оценка при 20–25 °C. Фактический прирост зависит от типа MOF, загрузки, плотности упаковки и архитектуры кассет.

8. ПУТЬ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ

1. Текущая система (сжатие)
350–700 бар
Без MOF

→

2. Гибрид 1.0 (пассивные кассеты MOF)
+15–25% ёмкости при тех же условиях

→

3. Гибрид 2.0 (оптимизированные MOF)
+25–35% ёмкости улучшенные материалы

→

4. Гибрид 3.0 (активное управление)
Термоуправление, контроль давления и потока

→

5. Будущее поколение (ниже давление, выше ёмкость)
Высокая ёмкость при 100–250 бар для мобильных и стационарных систем

КЛЮЧЕВОЙ ВЫВОД

Интеграция MOF в плоский композитный бак позволяет существенно увеличить массу хранимого газа без роста габаритов, повысить безопасность и снизить требования к экстремальному давлению.

Это следующий шаг к высокоэффективным и практичным системам хранения водорода и других газов.