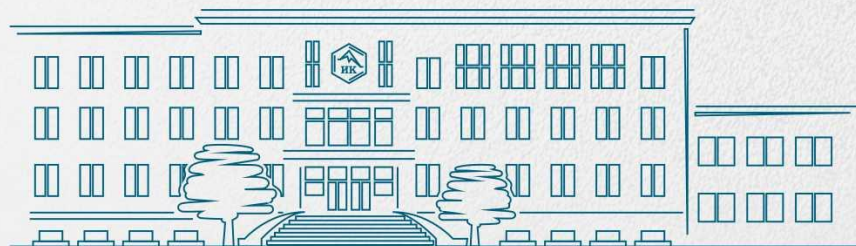




BORESKOV INSTITUTE
OF CATALYSIS

Каталитические технологии для водородной энергетики

О.Н. Мартянов



Новосибирск, 2023

КОНЦЕПЦИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

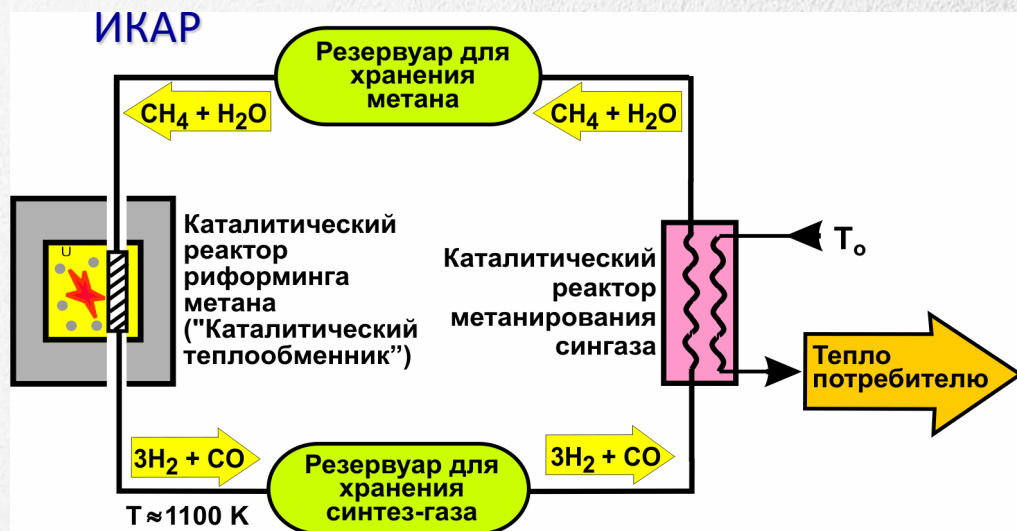


КОНЦЕПЦИЯ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ



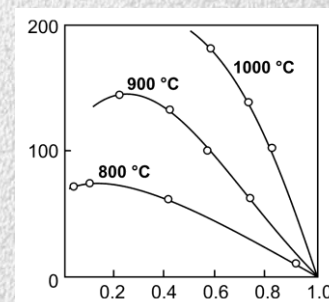
Водородные технологии в атомной и солнечной энергетике

Обратимые каталитические реакции для конверсии ядерной и солнечной энергии, а также химических тепловых насосов



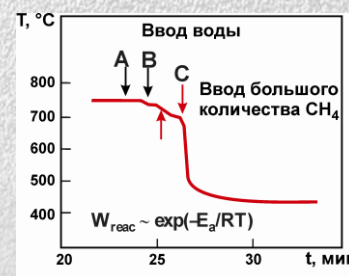
N	Реакция	ΔH°_{298} , ккал / моль	ΔS°_{298} , ккал / моль	T^* , К
4	$\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}(\text{ж}) \rightarrow 3 \text{H}_2 + \text{CO}$	59.8	79.7	960
5	$\text{CH}_4 + \text{CO}_2 \rightarrow 2 \text{H}_2 + 2 \text{CO}$	59.1	61.5	960

Катализатор позволяет регулировать удельную энергонапряженность процесса (УЭН), стоимость и размер устройства для превращения энергии:

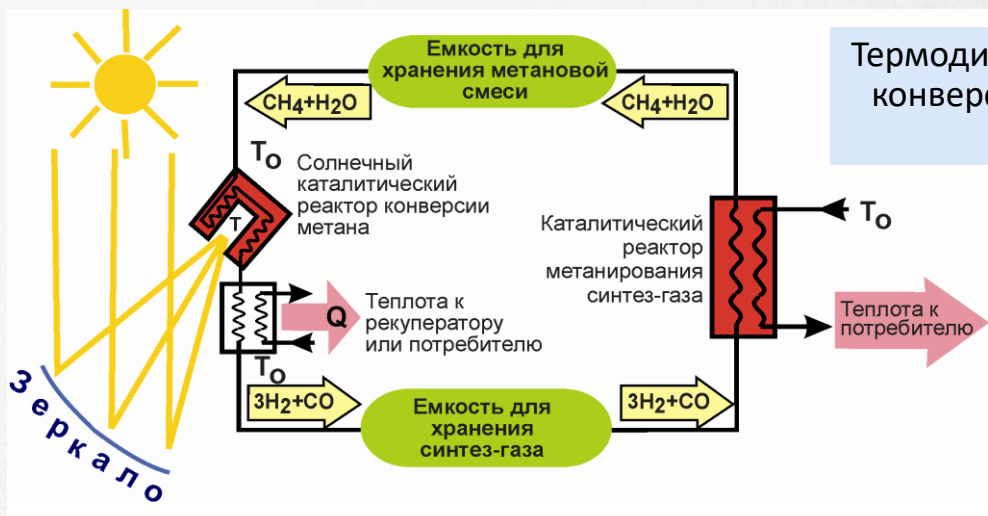


УЭН (кВт/дм³) катализатора 0,8 % Ru/UO₂ в реакции конверсии метана

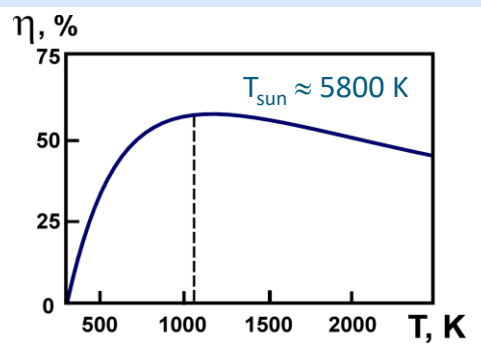
Экспресс-регулировка температуры катализатора (например, в аварийной ситуации)



Термокаталитическое преобразование солнечной энергии



Термодинамически разрешенная эффективность конверсии солнечной энергии в химическую в термохимических процессах



Опытная установка термокаталитического преобразования солнечной энергии

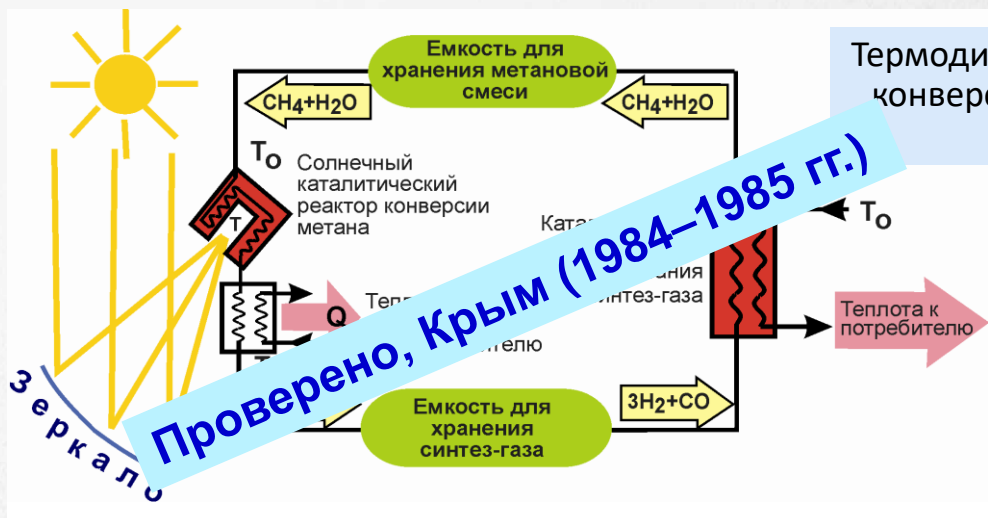
- ✓ Диаметр параболического зеркала 5 м
- ✓ Конверсия солнечной энергии в химическую (к.п.д.) 43 %
- ✓ Полезная мощность 2,4 кВт
- ✓ Общий к.п.д. замкнутого контура: 20 %



$T \approx 1000\text{--}1100\text{ K}$ может достигаться с помощью концентраторов солнечного света

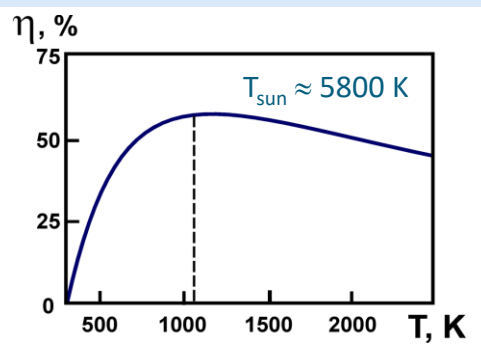


Термокаталитическое преобразование солнечной энергии



Проверено, Крым (1984–1985 гг.)

Термодинамически разрешенная эффективность конверсии солнечной энергии в химическую в термохимических процессах



Опытная установка термокаталитического преобразования солнечной энергии

- ✓ Диаметр параболического зеркала **5 м**
- ✓ Конверсия солнечной энергии в химическую (к.п.д.) **43 %**
- ✓ Полезная мощность **2,4 кВт**
- ✓ Общий к.п.д. замкнутого контура: **20 %**



$T \approx 1000\text{--}1100\text{ K}$ может достигаться с помощью концентраторов солнечного света



Комплексная программа поисковых, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по водородной энергетике и топливным элементам ГК «Норникель» и РАН

НИОКР «Разработка стационарных и транспортных электрохимических установок и портативных источников питания на основе топливных элементов, а также перспективных технологических процессов, материалов и изделий для водородной энергетики»

Исследование и разработка катализаторов и процессоров для топливных элементов, головная организация – Институт катализа СО РАН

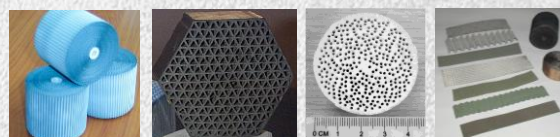
(Договор № ННУ186-2004 (0/1245) от 24 февраля 2004 года.)

1. Разработка многофункционального топливного процессора производительностью 5 м³/час водорода для энергоустановки на твердооксидных и твердополимерных топливных элементах.
2. Создание топливного процессора мощностью 3 кВт использующего принцип высокотемпературной адсорбционной очистки
3. Разработка высокоэффективного генератора чистого водорода, основанного на использовании боргидридных соединений
4. Разработка микрочастиц для получения водорода из метанола для портативных топливных элементов мощностью до 100 Вт на базе микрореакторов с внутренним и внешним нагревом
5. Разработка катализаторов получения синтез-газа с высоким (до 60%) содержанием водорода при помощи циклической окислительной каталитической конверсии природного газа
6. Создание новых катализаторов для риформеров топливных элементов на основе синергетического эффекта Pd и оксидных соединений марганца
7. Разработка научных основ технологии переработки природного газа в чистый водород (для топливных элементов) и нанокремниевые материалы

Катализаторы и процессы получения синтез-газа



Структурированные катализаторы



Каталитические реакторы и топливные процессоры



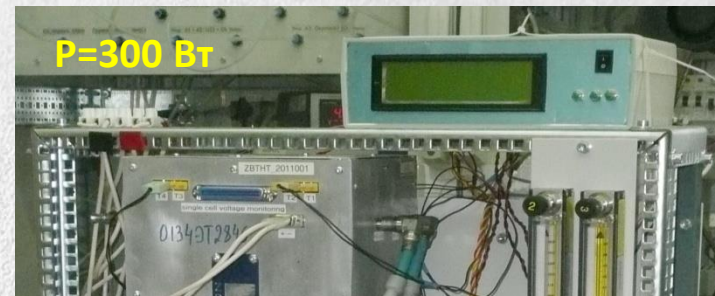
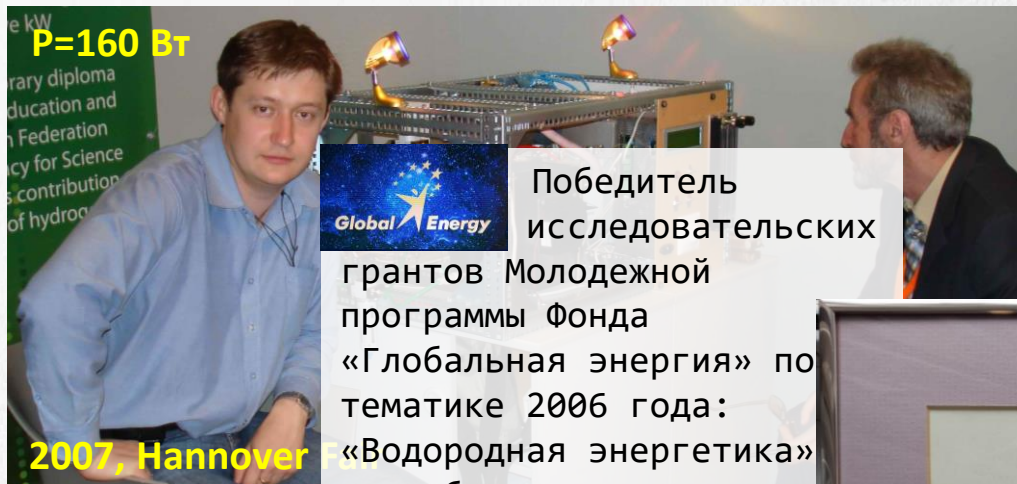
Компактный топливный процессор 160 Вт (топливо – водный раствор метанола)



- ✓ Одноступенчатая паровая конверсия метанола – содержание CO ~1% .
- ✓ Изготовлена батарея НТ РЕМ (совместно с компанией ZBT, Германия)
- ✓ Разработан и изготовлен демонстрационный прототип энергоустановки мощностью 160 ватт.



Компактный топливный процессор 160 Вт (топливо – водный раствор метанола)



Победитель исследовательских грантов Молодежной программы Фонда «Глобальная энергия» по тематике 2006 года: «Водородная энергетика» за работу по теме «Получение водорода из метанола, диметилового эфира и этанола для питания топливных элементов»



- ✓ PEM (совместно с компанией ZBT, Германия)
- ✓ Разработан и изготовлен демонстрационный прототип энергоустановки мощностью 160 ватт.



Топливный процессор на базе интегрированного блока риформера паровой конверсии природного газа для энергоустановки на основе ТОТЭ мощностью 10 кВт



Топливный процессор

высота – 1,4 м,
глубина – 0,5 м,
ширина – 0,8 м

Топливный процессор включает:

- блок сероочистки природного газа
- интегрированный блок риформера
- систему подачи природного газа, воды, воздуха
- контрольно-измерительные датчики температуры, давления, расходов реагентов
- систему автоматизированного управления работой топливного процессора, включая пусковое устройство риформера

Результаты испытаний топливного процессора:

- устойчивая работа
- производительность по синтез-газу – до 5 м³/час
- содержание Н₂ в синтез-газе – 75 об.%

Совместно с ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»

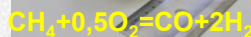
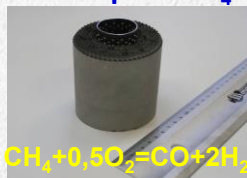
Технология получения синтез-газа *on board* для повышения эффективности транспортных средств

Автомобиль «Соболь» с двигателем ЗМЗ-40522 на природном газе с добавками CO+H₂

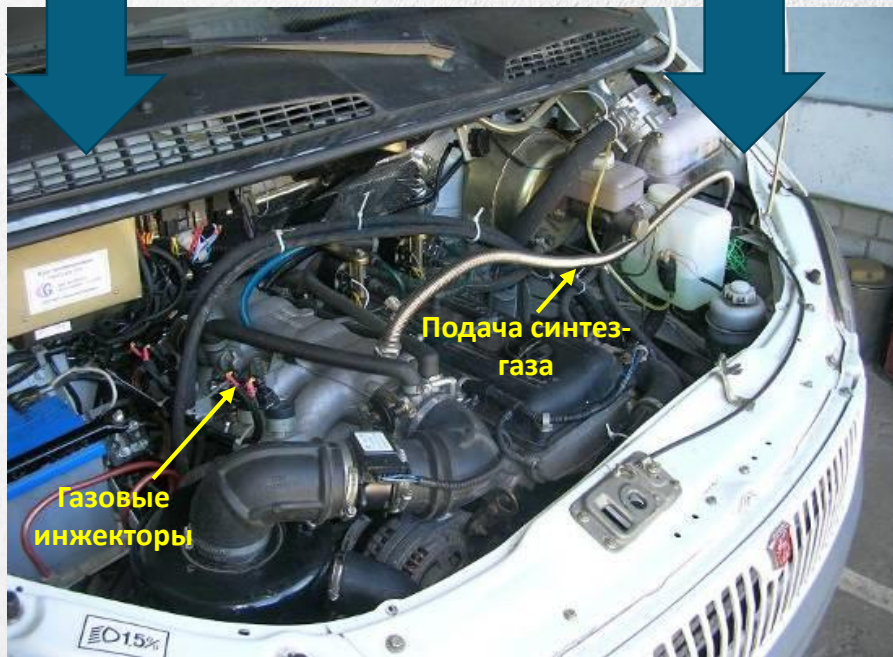


Блок управления с исполнительным устройством

Катализатор конверсии CH₄



Генератор синтез-газа



Подача синтез-газа

Газовые инжекторы



Автопробег Санкт-Петербург – Москва (17-22 сентября 2008 г.), сравнение с двигателем, работающим только на метане:

- ✓ Снижение выбросов CO и NO_x в ~15-20 раз (Евро-4)
- ✓ Снижение выбросов CO₂ на ~15-20%
- ✓ Снижение расхода топлива на ~15-20% (возможность работы на более «бедных» смесях)
- ✓ Время запуска – 10-15 сек (от T окр. среды до рабочей температуры 600 °C)
- ✓ Решение проблемы «холодного» запуска



Центр компетенции Национальной Технологической Инициативы (НТИ) «Водород как основа низкоуглеродной экономики»



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПРОТОКОЛ

заседания Конкурсной комиссии по отбору получателей грантов
на государственную поддержку центров Национальной технологической
инициативы на базе образовательных организаций высшего
образования и научных организаций

(Протокол подведения итогов конкурсного отбора)

от 18 ноября 2021 г.

№ 14-пр/33-21

Члены Конкурсной комиссии,
принявшие участие в заседании

Медведев В.В., Гареев А.Р.,
Алдошин С.М., Афанасьев Д.В.,
Боровков А.И., Бортник И.М.,
Гудков П.Г., Ефремов И.А.,
Иванов К.А., Иващенко А.А.,
Княгинин В.Н., Ковалевич Д.А.,
Костюков В.Е., Матушанский А.В.,
Пономарев А.К., Семенов А.Е.,
Тихоновская Т.А., Трухановская Н.С.,
Фертман А.Д., Хохлов А.Р.,
Чугуева И.Н.

2.3. По направлению сквозной технологии «Водородные технологии» по итогам проведенной процедуры оценки заявок Конкурсная комиссия приняла решение выставить оценки заявкам, согласно приложению № 1 к настоящему протоколу, и признать ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Институт катализа им. Г.К. Борескова Сибирского отделения Российской академии наук», заявка которого по итогам оценки заявок набрала наибольшее количество баллов, победителем конкурсного отбора по направлению сквозной технологии «Водородные технологии».

Цели создания Центра НТИ:

- Доведение уровня готовности предлагаемых технических решений до стадии «УГТ 5-6»
- «Единое окно» по водородным технологиям
- Консолидация и формирование инфраструктуры и научно-технологической базы для создания новых и развития существующих технологий
- Подготовка кадров в области водородных технологий

В фокусе – технологии:

- Производства H_2
- Транспортировки и хранения H_2
- Использования H_2



Ключевые сотрудники Центра компетенции НТИ

Руководитель Центра НТИ

Зам. руководителя



Потемкин Д. И.

кандидат химических наук,
руководитель Проекта
«Водородная заправка»
(e-mail: potema@catalysis.ru)

Зам. руководителя



Яковлев В. А.

доктор химических наук,
руководитель Проекта
«Крупнотоннажный водород для
низкоуглеродной экономики»
(e-mail: yakovlev@catalysis.ru)



Снытников П. В.

доктор химических наук,
руководитель Проекта
«Биоводород для генерации
электроэнергии»
(e-mail: pvsnyt@catalysis.ru)

Зам. руководителя



Козлов Д. В.

доктор химических наук,
руководитель Проекта «Водород
для Е-химии и Е-топлив, как основа
низкоуглеродной экономики»
(e-mail: kdv@catalysis.ru)

Зам. руководителя



Козлова Е. А.

доктор химических наук,
руководитель образовательного
направления Центра НТИ
(e-mail: kozlova@catalysis.ru)

Консорциум ЦЕНТРА НТИ – консолидация усилий по приоритетным направлениям

33

ОРГАНИЗАЦИЙ В КОНСОРЦИУМЕ

10

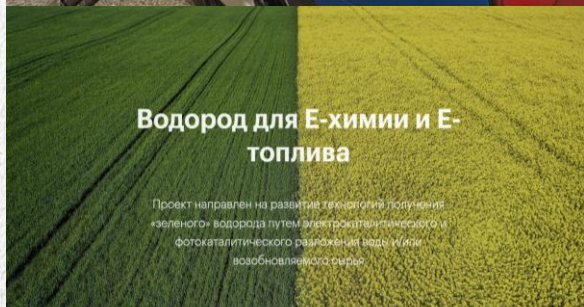
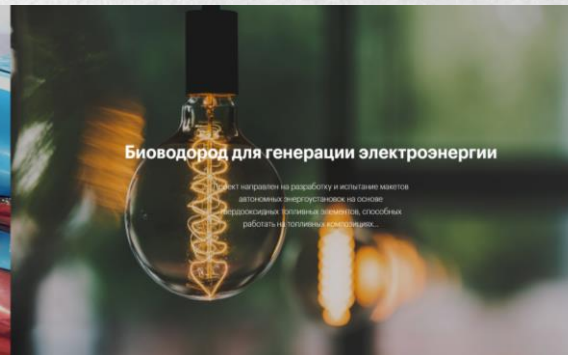
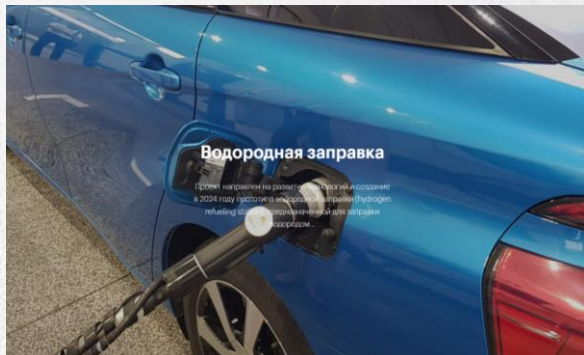
КОММЕРЧЕСКИХ КОМПАНИЙ

10

НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

13

ВУЗОВ



«Водородная заправка»	технология и прототип заправки водородом транспортных средств	от УГТ 1-3 к УГТ 5
«Биоводород для генерации электроэнергии»	разработка и испытания макетов автономных энергоустановок на основе ТОТЭ, интегрированных с топливным процессором	от УГТ 3-4 к УГТ 5-6
«Водород для E-химии и E-топлива»	создания технологий получения «зеленого» водорода, пригодного для ПОМ ТЭ, декарбонизации промышленных процессов, технологии трансформации возобновляемого сырья в ценные химические соединения и топлива	от УГТ 1-2 к УГТ 4
«Крупнотоннажный H ₂ для низкоуглеродной экономики»	разработка и апробирования технологических решений получения, кондиционирования, хранения и использования водорода на предприятиях нефте- и газохимического комплекса	от УГТ 2-3 к УГТ 6-7

Консорциум ЦЕНТРА НТИ – консолидация усилий по приоритетным направлениям

37

ОРГАНИЗАЦИЙ
В КОНСОРЦИУМЕ

11

КОММЕРЧЕСКИХ
КОМПАНИЙ

12

НАУЧНЫХ
ОРГАНИЗАЦИЙ

14

ВУЗОВ



Консорциум ЦЕНТРА НТИ – консолидация усилий по приоритетным направлениям

37

ОРГАНИЗАЦИЙ
В КОНСОРЦИУМЕ

11

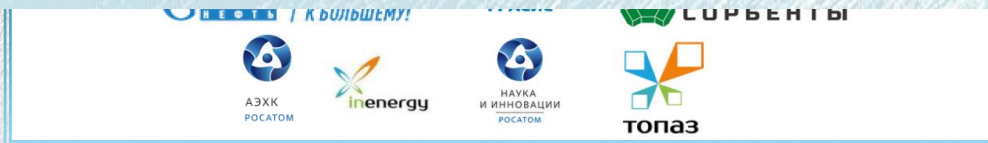
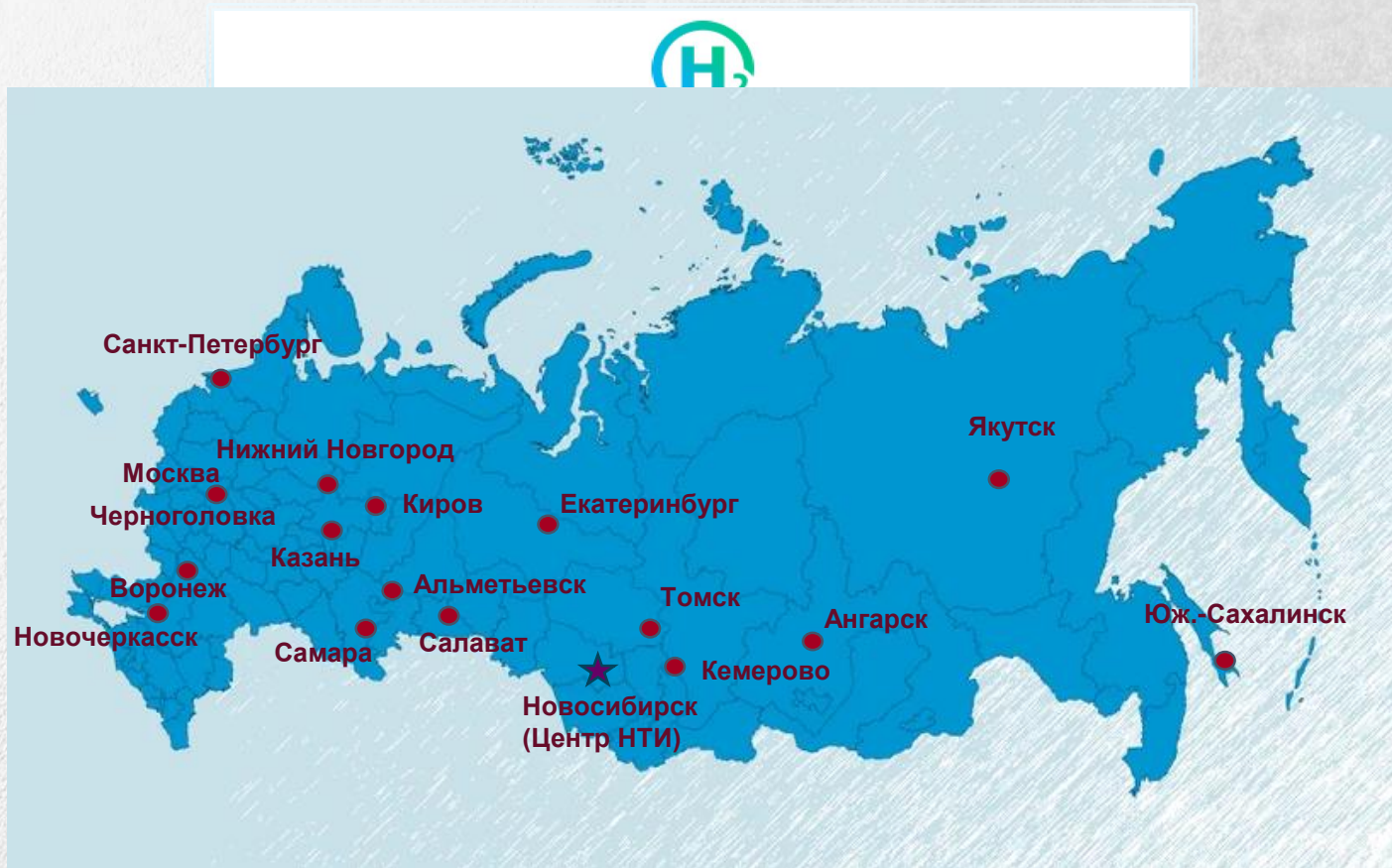
КОММЕРЧЕСКИХ
КОМПАНИЙ

12

НАУЧНЫХ
ОРГАНИЗАЦИЙ

14

ВУЗОВ



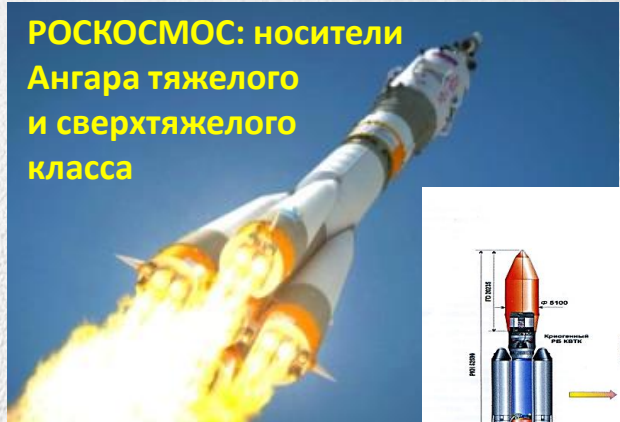


Крупнотоннажный водород для низкоуглеродной экономики

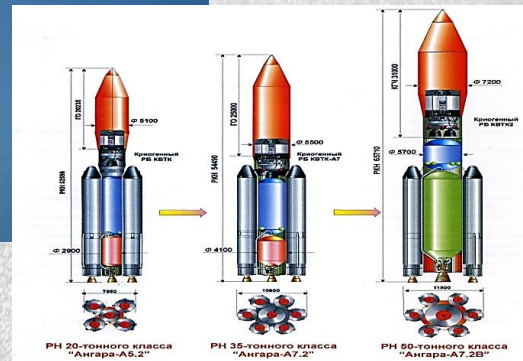
Жидкий водород – удобно хранить, перевозить и использовать
плотность LH_2 (70 кг/м^3) в **~ 800** раз больше, газообразного H_2 (90 г/м^3)



Криогенная технология сжижения водорода для его хранения, транспортировки и использования

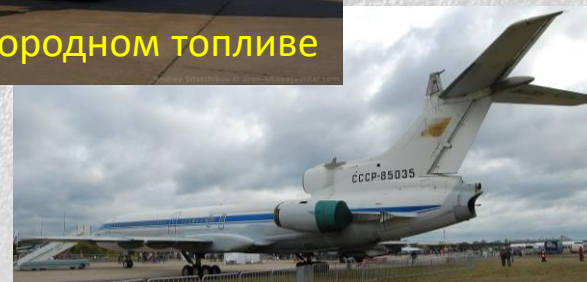


РОСКОСМОС: носители Ангара тяжелого и сверхтяжелого класса

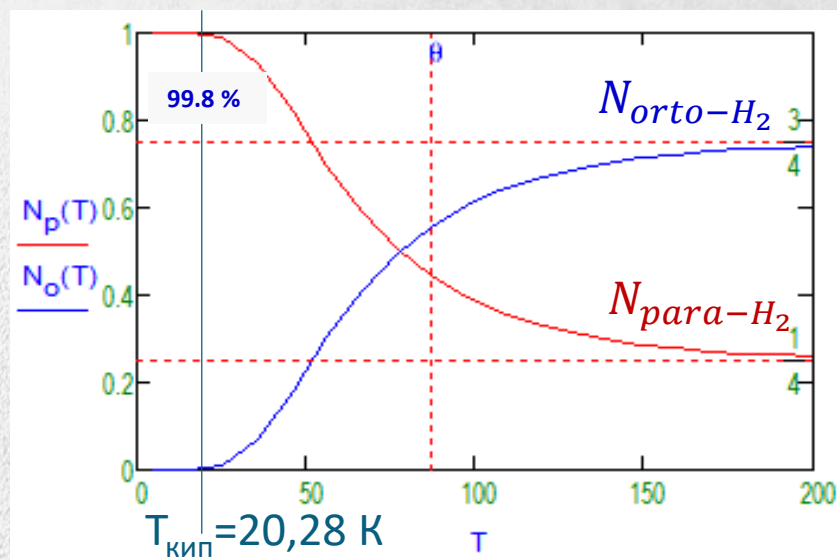
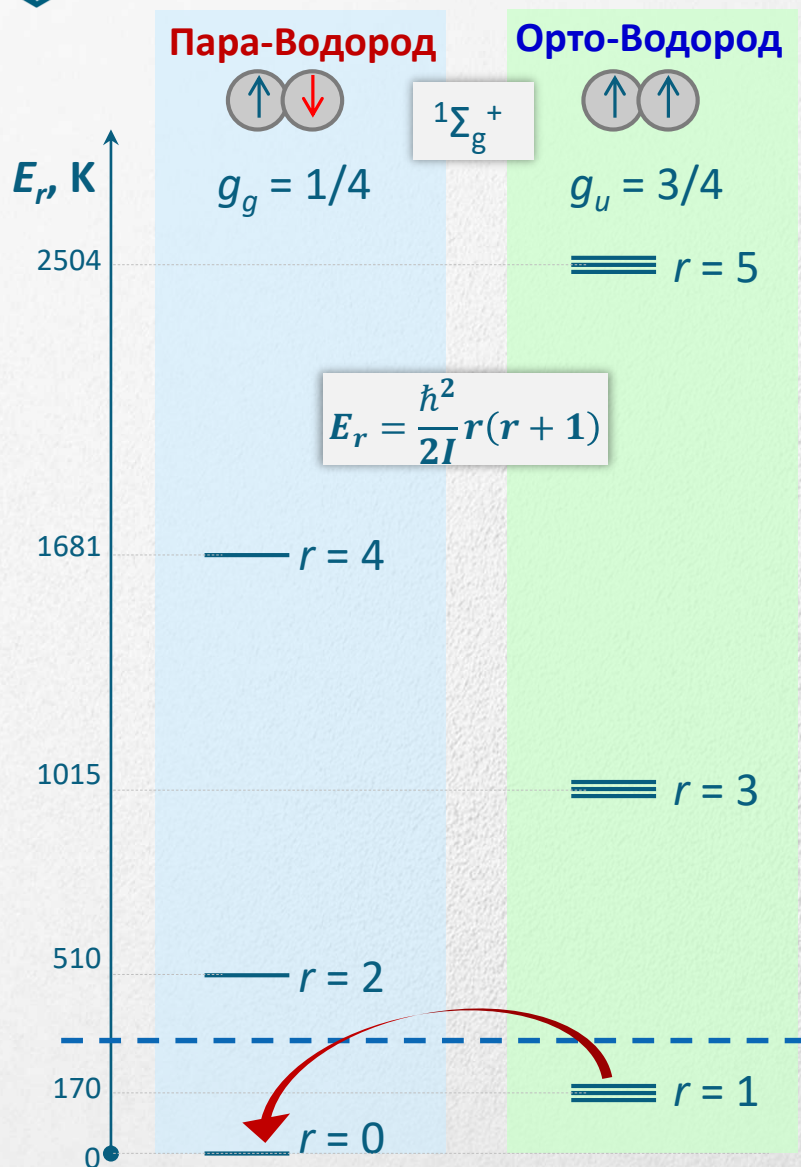


АВИАЦИЯ

Tu-155 на водородном топливе



Орто-водород и пара-водород



Сжижение водорода, полученного при T_k



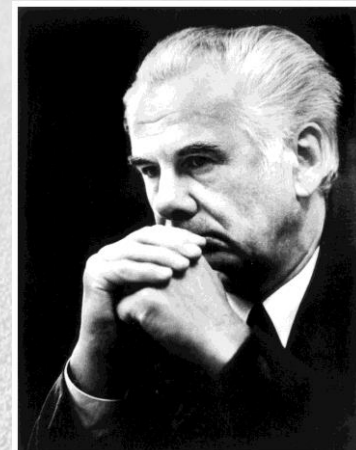
**самопроизвольный переход
орто- $\text{H}_2 \rightarrow$ пара- H_2
с выделением тепла (340 кал/моль)!
Теплота испарения H_2 – 228 кал/моль
при $T=20 \text{ K}$ потери $\text{LH}_2 > 20\%$ /сутки**

ОРТО-ПАРА КОНВЕРСИЯ ВОДОРОДА

Развертывание в СССР крупномасштабной программы по производству жидкого водорода (конец 50-х гг. XX века)



Получение жидкого пара-водорода с использованием разработанных в ИК СО АН катализаторов. Реализовано в промышленном масштабе (г. Чирчик, УзССР)



Р.А. Буянов

21.02.1927 – 04.12.2020

Передача, восстановление и развитие компетенции в ИК СО РАН по созданию катализаторов орто-пара конверсии водорода

В Институте катализа разработаны усовершенствованные технологии получения (без стадий осаждения) эффективных катализаторов Орто-Пара конверсии H_2 : ИК-5-1М и ИК-5-4М

Л.А. Исупова, О.П. Криворучко, А.В. Жужгов



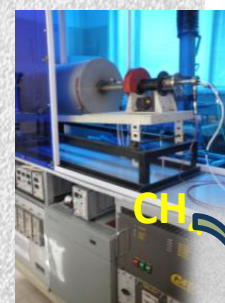
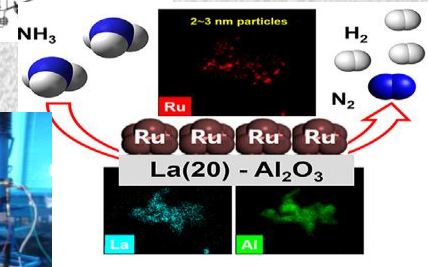
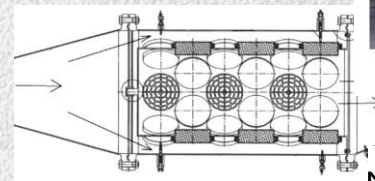
Производство и поставка опытно-промышленных партий катализатора технологическая линия (ИК-5-1М) производительностью до 5 т/год (для процесса с производительностью 180 кг/час по водороду)

Широкий фронт работ ИК СО РАН в области водородной энергетики

- ✓ Катализаторы и процессы синтеза и разложения аммиака
- ✓ Катализаторы и процессы сероочистки
- ✓ Каталитические технологии синтеза метанола
- ✓ Разработка катализаторов и устройств получения синтез-газа для низкоэмиссионных ГТУ
- ✓ Каталитический пиролиз углеводородов с получением H_2 и углеродного наноматериала
- ✓ Компактные системы хранения и генерации водорода
- ✓ Фотокаталитические процессы получения водорода с использованием возобновляемого сырья
- ✓ Сорбционно-каталитическая очистка от CO_2

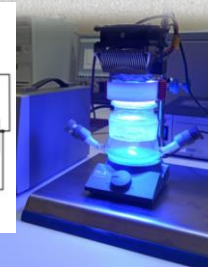
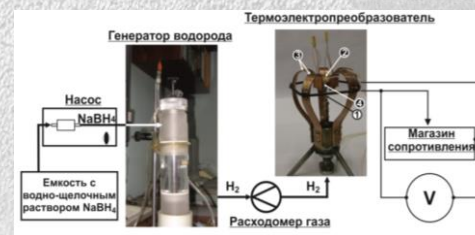
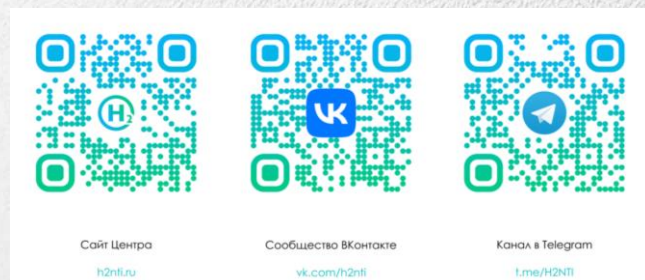
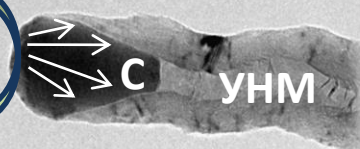


ГТУ АЛ-31СТ разработан ОКБ имени А. Льюльки по техническому заданию ОАО "Газпром"



CH₄

H₂





*Каталитические технологии, без которых
немыслима вся современная
нефтеперерабатывающая и химическая
промышленность, нефте- и газохимия,
фармацевтическая и пищевая промышленность,
составляют основу «Водородных технологий»*

Спасибо за внимание!

Boreskov Institute of Catalysis
From molecular to industrial level



Novosibirsk 630090
Russian Federation
Tel: +7 383 326 9687
Fax: +7 383 330 9687
E-mail: oleg@catalysis.ru
<http://catalysis.ru>

