



ИНСТИТУТ КАТАЛИЗА
им. Г.К. БОРЕСКОВА



О Центре компетенций НТИ «Водород как основа низкоуглеродной экономики»

Снытников Павел Валерьевич



20 – 23 июня 2022 года, г. Черногоровка

Национальная
технологическая инициатива

Пространство возможного

Центр компетенций НТИ «Водород как основа низкоуглеродной экономики»

Базовая организация Центра НТИ -
Федеральный исследовательский центр
«Институт катализа СО РАН» - самый крупный в
стране специализированный научный центр в
области химического катализа и каталитических
процессов.

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

Консорциум Центра компетенций НТИ – консолидация усилий по приоритетным направлениям в области водородных технологий

37

ОРГАНИЗАЦИЙ
В КОНСОРЦИУМЕ

11

КОММЕРЧЕСКИХ
КОМПАНИЙ

12

НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

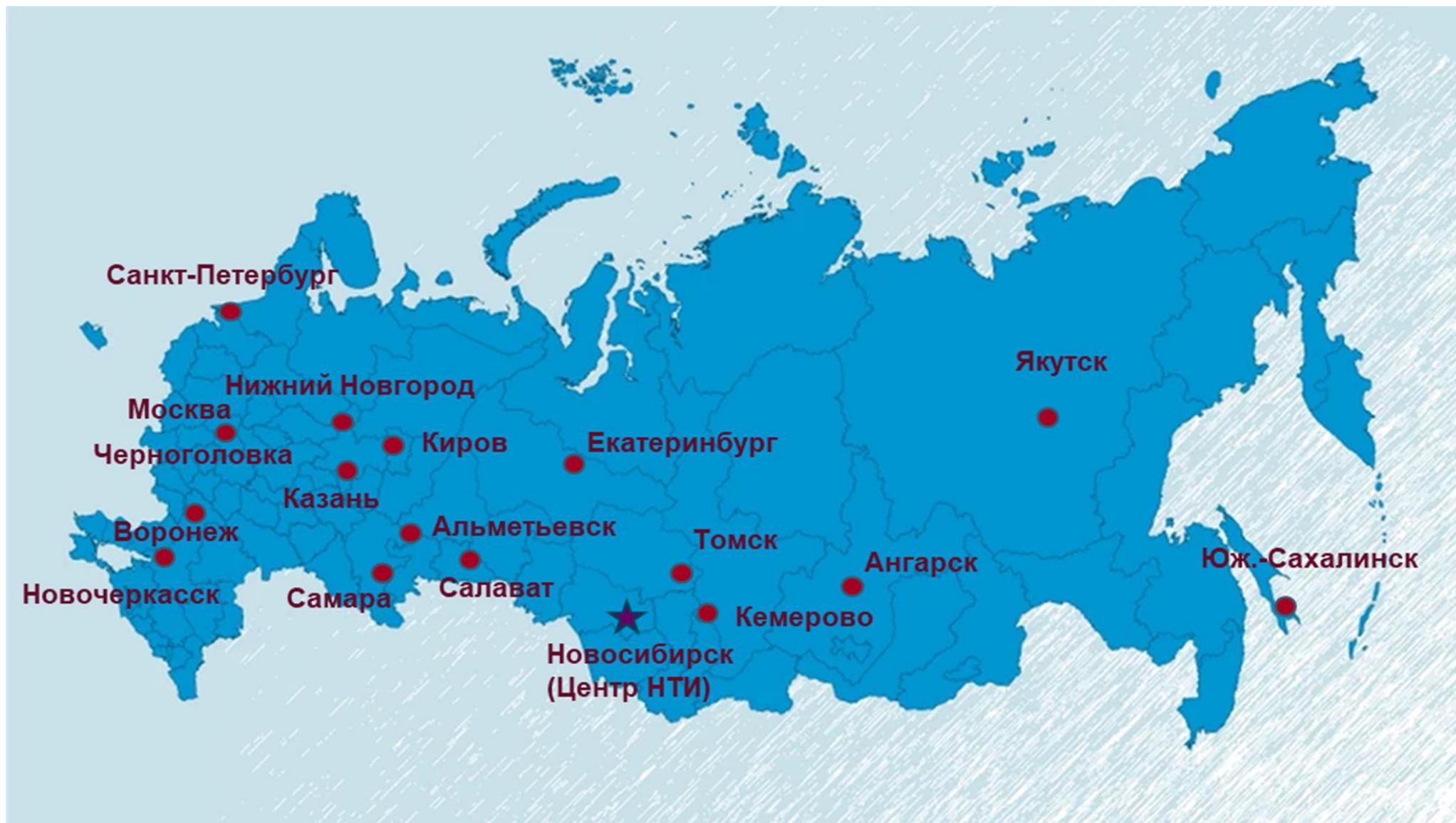
14

ВУЗОВ

Планы по сотрудничеству :

- Силами Консорциума доведение уровня готовности предлагаемых технических решений до стадии УГТ 5-6
- Совместно с ВУЗами (МГУ, НГУ, ТГУ, РХТУ, МФТИ, МГТУ, ЮРГПУ, ВятГУ, СахГУ, АГНИ и ВШЭ) будут запущены 5 новых программ магистратуры, более 40 новых дисциплин и 19 программ ДПО. Ежегодно под руководством специалистов центра будет защищено не менее 50 выпускных квалификационных работ.
- Формирование инфраструктуры и научно-технологической базы для создания новых и развития существующих технологий безопасного получения, кондиционирования, хранения, транспортировки и использования водорода и его носителей в сочетании с технологиями улавливания, хранения, транспортировки и использования CO₂, в том числе для получения ценных химических продуктов и перспективных материалов

География консорциума Центра НТИ



- «Водородная заправка» (Проект 1)
- «Биоводород для генерации электроэнергии» (Проект 2)
- «Водород для E-химии и E-топлив, как основа низкоуглеродной экономики» (Проект 3)
- «Крупнотоннажный водород для низкоуглеродной экономики» (Проект 4)
- Разработка высокоэффективных катализаторов сероочистки природного газа, низкотемпературной паровой конверсии оксида углерода и синтеза метанола на российской технологической и ресурсной базе (Проект Технологического суверенитета)

Центр компетенций НТИ
«ВОДОРОД КАК ОСНОВА НИЗКОУГЛЕРОДНОЙ ЭКОНОМИКИ»

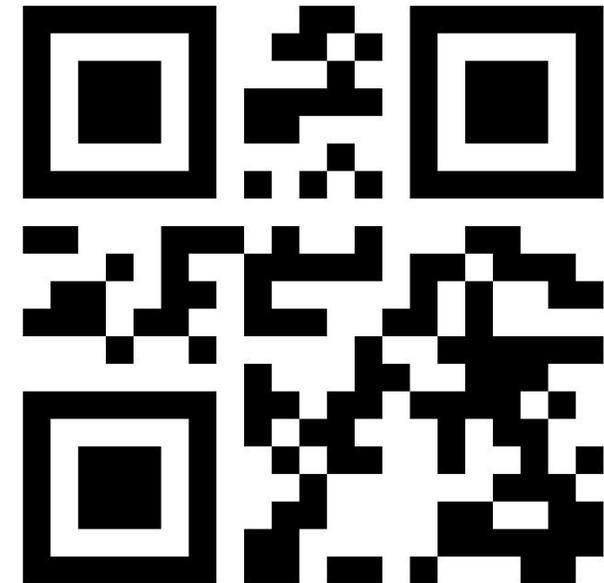
Члены консорциума Центра

Логотипы участников консорциума: ИК, СИКТУМ, ВЯТГУ, КФУ, АГПИ, САМАРСКИЙ ПОЛИТЕХ, РХТУ, КОСМОС-НЕФТЬ-ГАЗ, ИФТТ РАН ISSP RAS, СО РАН, ФИЦ ИТЯ И УЛЬЯНОВСКИЙ СО РАН, НИИ, В, Самарский политех, РХТУ, ГРУТС, Татнефт, Центр водородных технологий, ГРАСИС, НИЖЕГОРОДСКИЕ СОРБЕНТЫ, АЭХК РОСАТОМ, inenergy, НАУКА И ИННОВАЦИИ РОСАТОМ, ТОПАЗ.

- «Водородная заправка» (Проект 1)
- «Биоводород для генерации электроэнергии» (Проект 2)
- «Водород для E-химии и E-топлив, как основа низкоуглеродной экономики» (Проект 3)
- «Крупнотоннажный водород для низкоуглеродной экономики» (Проект 4)
- Разработка высокоэффективных катализаторов сероочистки природного газа, низкотемпературной паровой конверсии оксида углерода и синтеза метанола на российской технологической и ресурсной базе (Проект Технологического суверенитета)



Сайт Центра НТИ:
<https://h2nti.ru>



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)

Руководитель Центра НТИ



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

Зам. руководителя



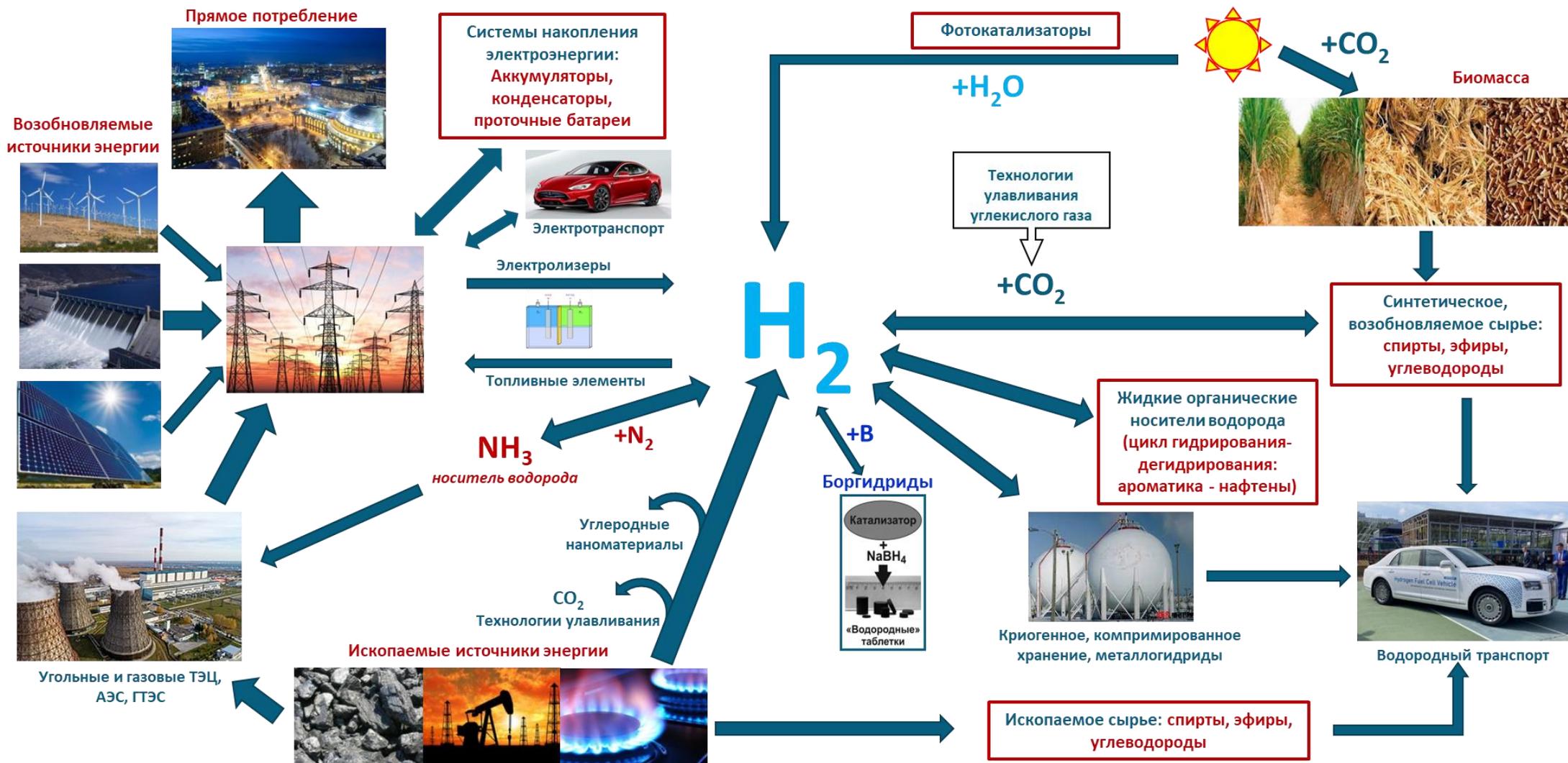
Козлов Д. В.
доктор химических наук,
руководитель Проекта «Водород
для E-химии и E-топлив, как основа
низкоуглеродной экономики»
(e-mail: kdv@catalysis.ru)

Зам. руководителя

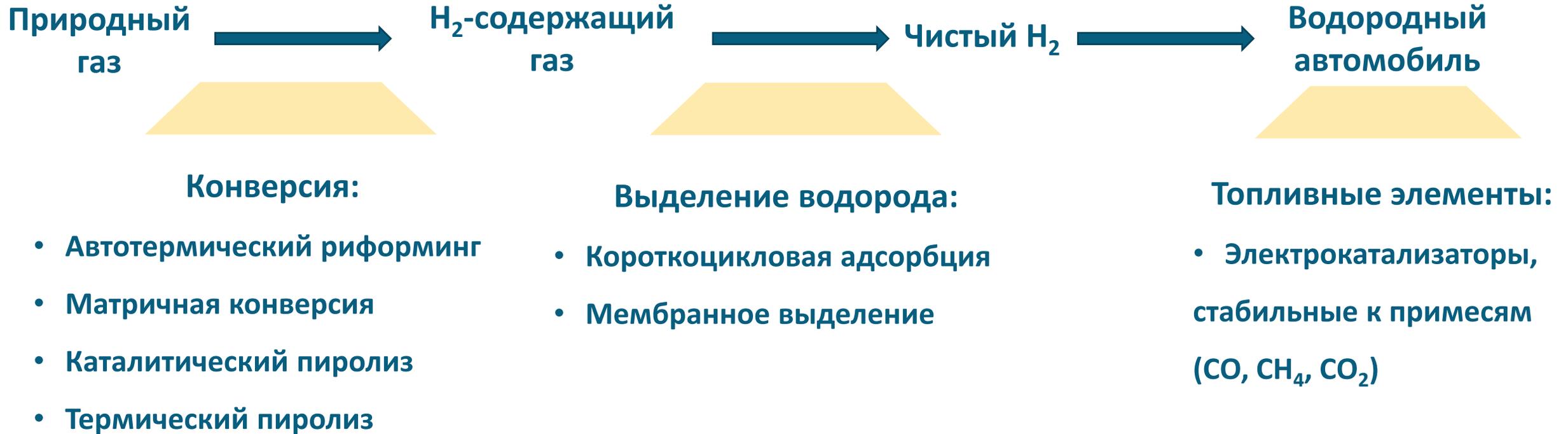


Козлова Е. А.
доктор химических наук
руководитель образовательного
направления Центра НТИ
(e-mail: kozlova@catalysis.ru)

ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ И ИСТОЧНИКИ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРОДА

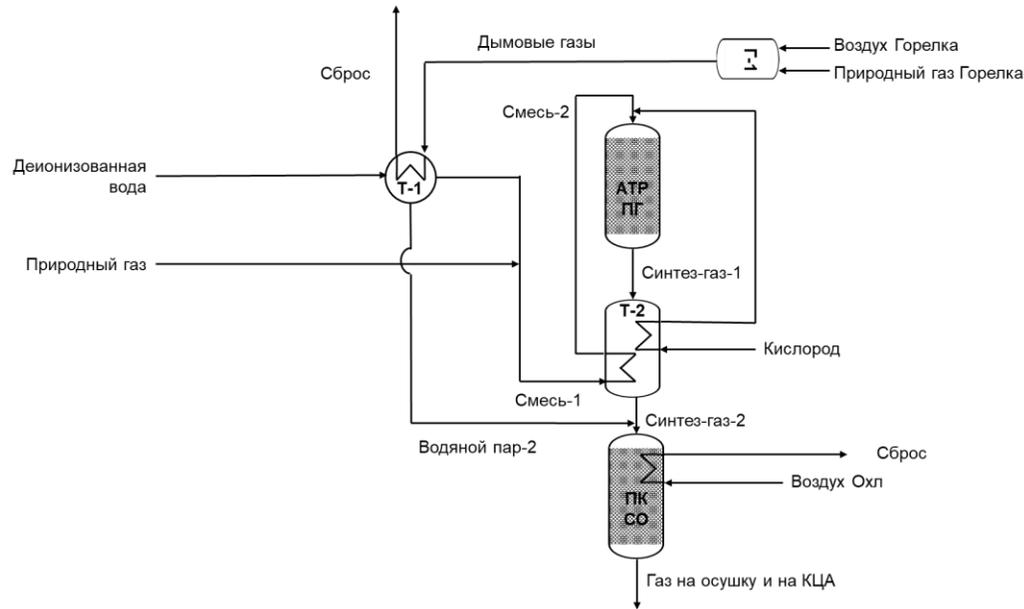


Проект 1 («Водородная заправка»)



Проект 1 («Водородная заправка»)

Прорабатывается ПК и АТР природного газа

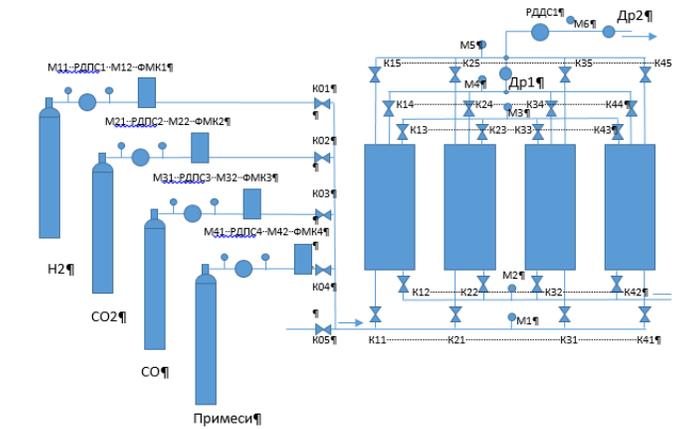


ИК СО РАН (ИТ СО РАН) – научное сопровождение, ТЗ на ОКР, моделирование реакторов

ФПК «Космос-Нефть-Газ» – проектирование, производство, проработка схемы

Выделение водорода методом КЦА

1. Создан стенд КЦА



Объем адсорбера бл, диаметр 70 мм.
С обеих сторон предусмотрены фильтрующие
диски с демпфированием скачков давления

2. Разработка математической модели разделения

Рассматривается 4-х адсорберная схема с промежуточным перепуском.

3. Приготовление образцов сорбента

Наработка опытных партий цеолитного сорбента на ООО «Салаватский катализаторный завод». Разработка методики его модификации для улучшения селективности разделения смесей H_2 , CH_4 и CO_2 .

Проект 1 («Водородная заправка»)

Создание высокоэффективных мембран для разделения смесей H_2/CO_2

□ Комплекс данных по транспортным и разделительным свойствам мембран: определение коэффициентов газопроницаемости и диффузии газов в мембранных материалах; определение газопроницаемости (P_i) и идеальной селективности ($\alpha = P_i/P_j$) экспериментальных образцов мембран по ряду газов, в том числе по H_2 и CO_2 .

□ Экспериментальные образцы мембран: разработка методики создания мембран для разделения H_2/CO_2 ; получение экспериментальных образцов мембран.



Установка для определения транспортных и разделительных свойств мембранных материалов и мембран

Планируемые свойства мембран:

- Проницаемость по водороду – не менее $3 \text{ л}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{атм})$
- Идеальная селективность по паре газов H_2/CO_2 – не менее 5



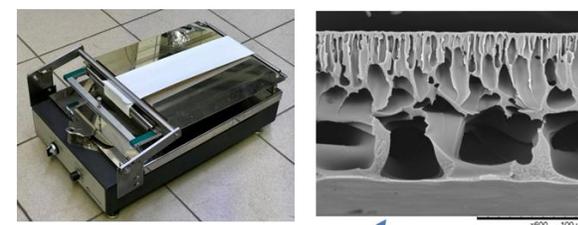
Задел в области полимерных газоразделительных мембран

Получение волоконных мембран



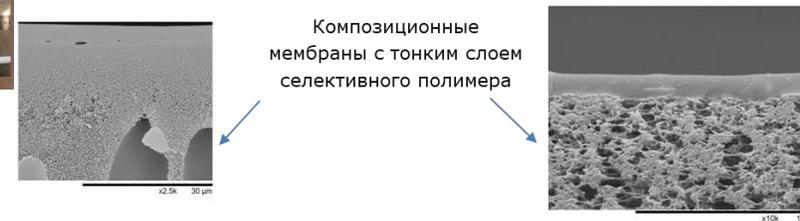
Производительность
360 м/час

Получение плоских мембран

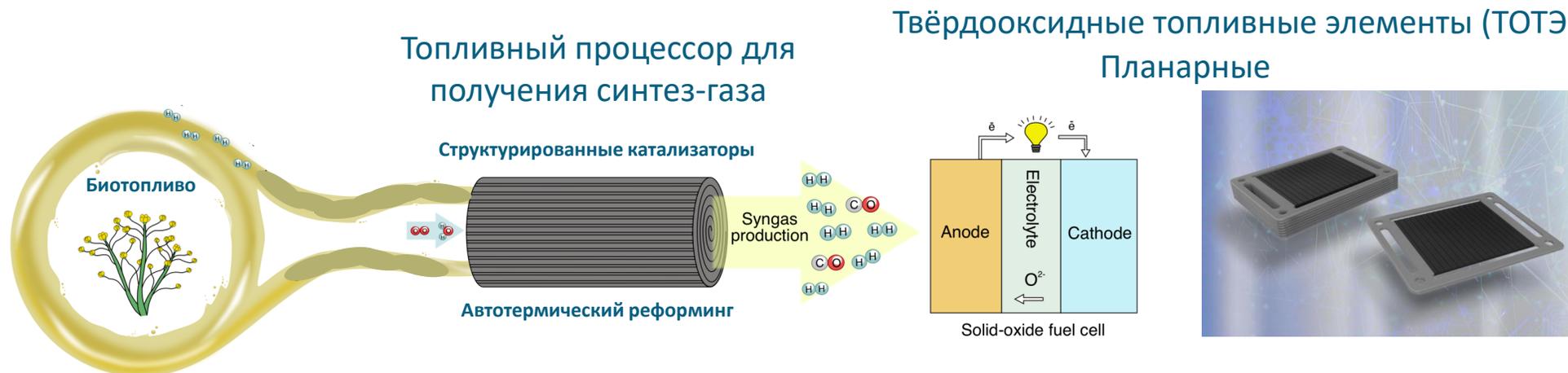


Асимметричные мембраны

Композиционные
мембраны с тонким слоем
селективного полимера



Проект 2 («Биоводород для генерации электроэнергии»)



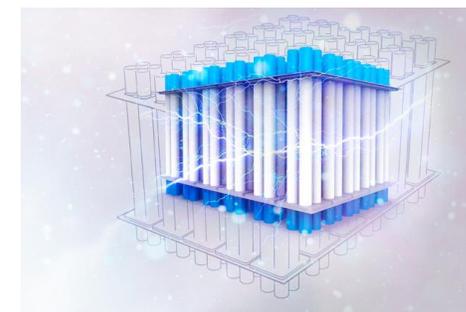
Цель проекта:

- разработка компонентов, технологий и демонстрационных устройств (макетов энергоустановок) на основе ТОТЭ, интегрированных с топливным процессором

Направления реализации результатов:

- сегменты рынка мобильного/стационарного оборудования для основной и резервной электро- и теплогенерации

Микротрубчатые



Проект 2 («Биоводород для генерации электроэнергии»)

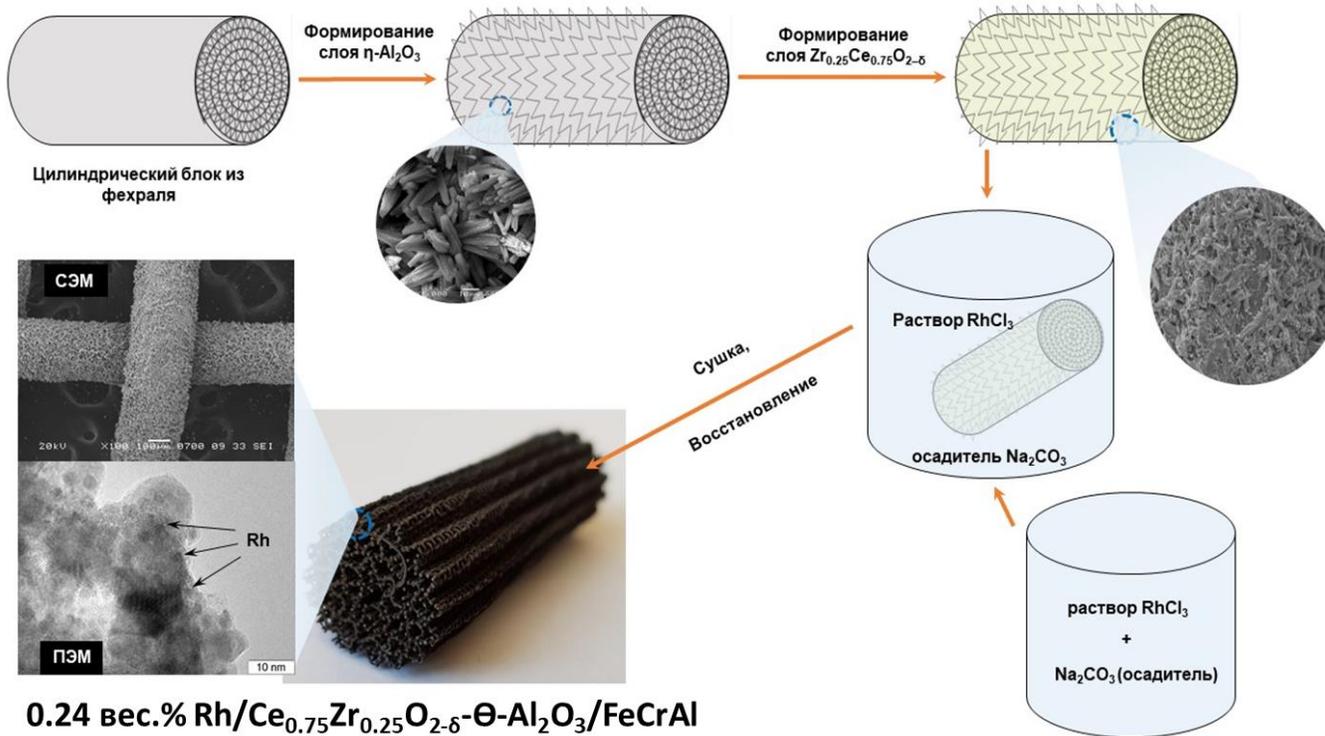


Софинансирование:
ИнЭнерджи, НИЦ ТОПАЗ (КД, изготовление компонентов ЭХГ)

Развитие партнерских отношений:
СГУПС (РЖД), ОДК, ЭФКО, Крыловский ГНЦ,
МФТИ – проект «Арктика» - полигон «Снежинка», Ямал

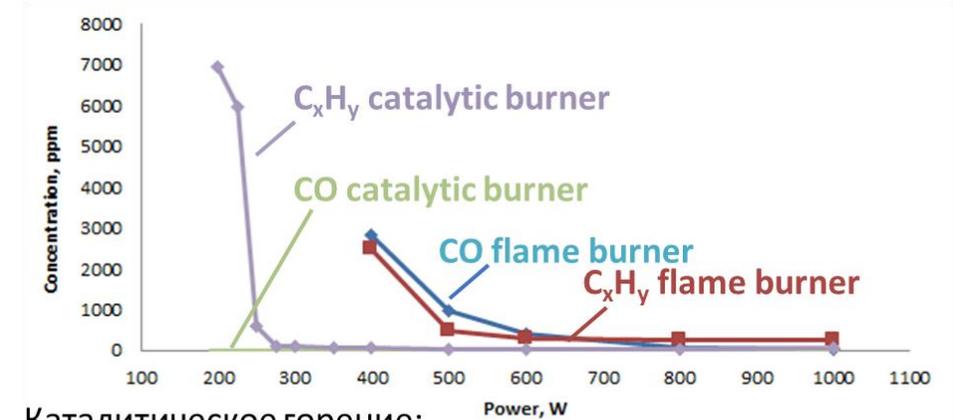
Проект 2 («Биоводород для генерации электроэнергии»)

Структурированные катализаторы для энергонапряженных процессов



Структурированные катализаторы для беспламенного горения

Каталитическая горелка vs пламенная горелка



Каталитическое горение:

- ❖ Нулевые выбросы (ниже 1 ppm) C_xH_y и CO
- ❖ Расширение области рабочих режимов горелки



Катализатор: 0.03 wt%Pt/ $\eta\text{-Al}_2\text{O}_3/\text{FeCrAl}$

- 0.6 л/мин СУГ
- 16 л/мин Воздуха
- $\lambda = 1,05$

Симонов П.А. и др. // **Патент РФ** Номер: RU2653360C1, опубликован 8 мая 2018 г.
 Shoykhorova T.B. et al. // **Applied Catalysis B: Environmental** 237 (2018) 237-244.
 Shoykhorova T.B. et al. // **Applied Catalysis B: Environmental** 245 (2019) 40-48.

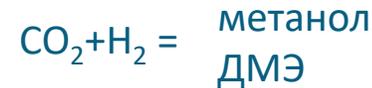
Проект 3 («Водород для E-химии и E-топлив, как основа низкоуглеродной экономики»)

Цель: создание и доведение до УГТ не ниже 4 технологии водородной энергетики, связанных с получением «зеленого» водорода, пригодного для топливных элементов, декарбонизацией промышленных процессов, в которых образуется CO₂ и технологии трансформации возобновляемого сырья в ценные химические соединения и топлива

1-2. Фото и электрокаталитическое получение водорода, сопряженное с переработкой биомассы для синтеза ценных химических соединений (артроновая и мезоксаливая кислоты, глицеральдегид и др.)



3. Связывание CO₂ в ценные химические продукты и топливо с применением водорода

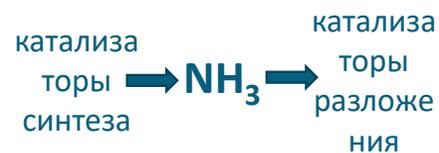


P=3-5 МПа
T=220-260 °C
χ(CO₂)=80-99 %

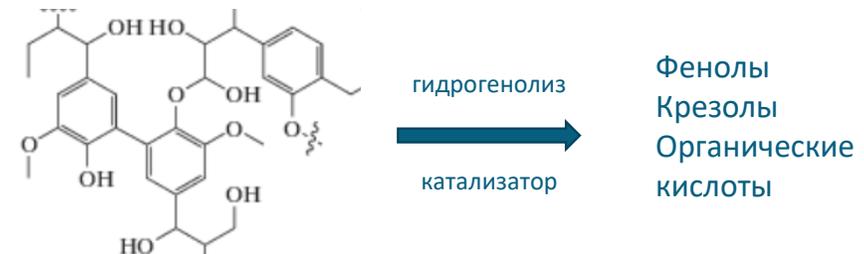
4. Плазменно-каталитическое получение водорода из лигнина



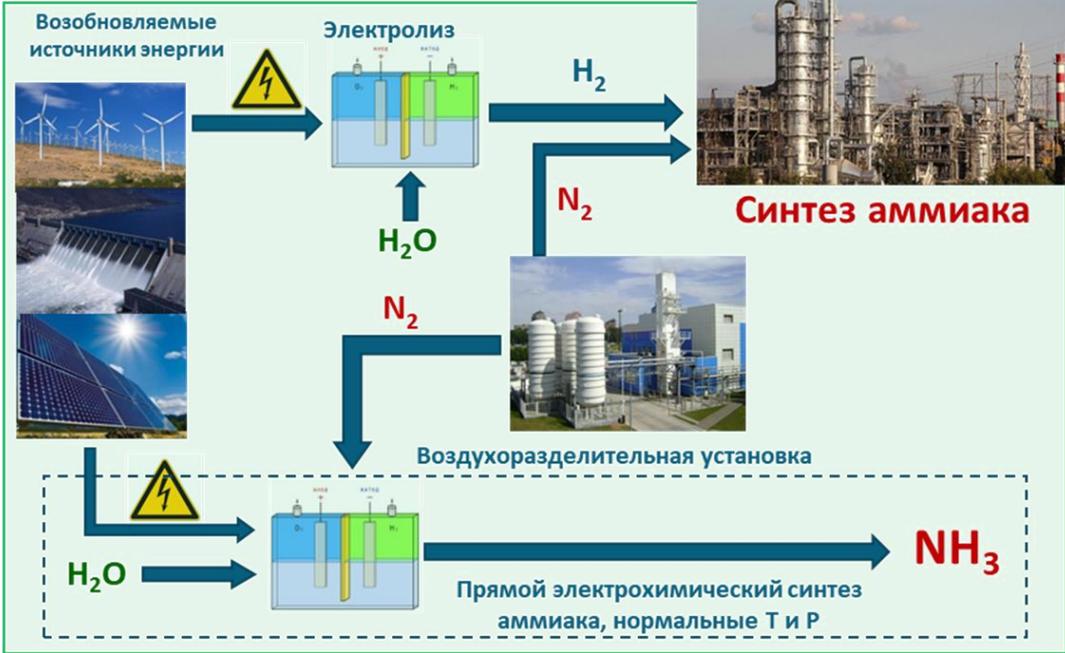
5. NH₃ в качестве носителя водорода



6. Гидрогенизация лигноцеллюлозной биомассы, растительных липидов и отходов органического происхождения



Производство



«Голубой» аммиак

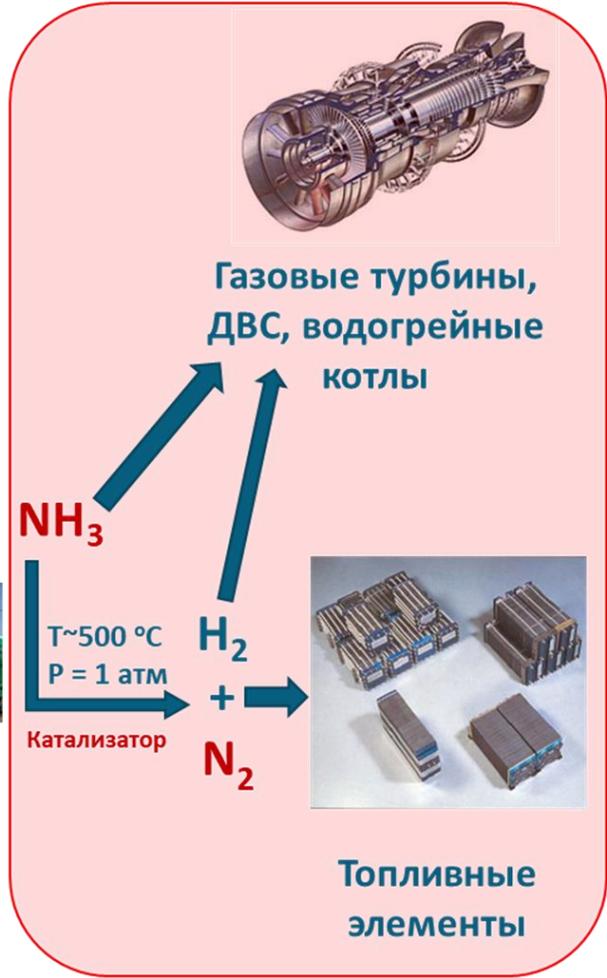


Транспортировка



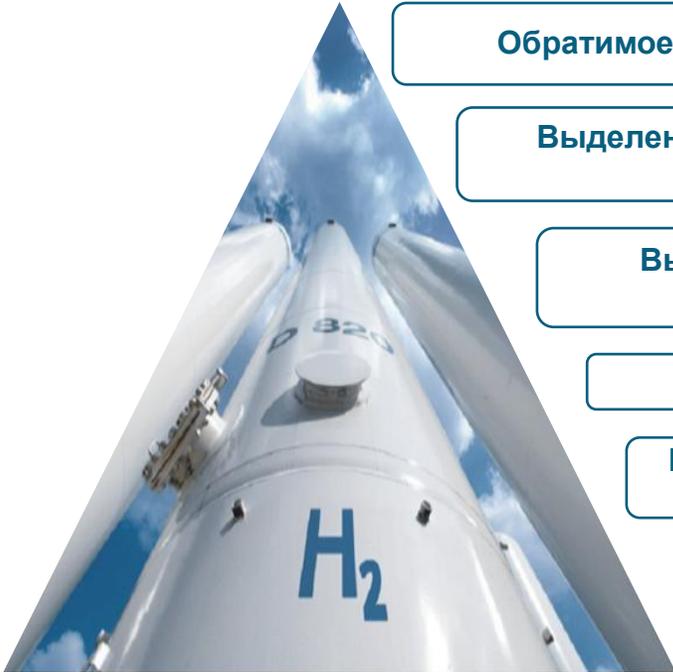
«Зеленый» аммиак

Применение



Проект 4 («Крупнотоннажный водород для низкоуглеродной экономики»)

Цель: разработка и апробация инновационных технологических решений получения, кондиционирования, хранения и использования H_2 на предприятиях нефте- и газохимического комплекса РФ, которые отвечают современным требованиям по энергоэффективности и вызовам по переходу к низкоуглеродной экономике, включая совершенствование технологий **CCUS CO_2** (Carbon capture, use, and storage).



Обратимое химическое связывание H_2 через гидрирование/дегидрирование органических субстратов (ЛОHC)

Выделение H_2 после парового риформинга природного газа с использованием технологии аминно-вихревой абсорбции/десорбции

Выделение CO_2 из технологических газов в мембранно-абсорбционных модулях и аминно-вихревых абсорберах/десорберах

Паровой риформинг природного газа с улучшенной энергетической эффективностью

Криогенная технология сжижения водорода, включая процессы очистки от микропримесей и орто-пара конверсии H_2 для его хранения, транспортировки и использования на транспорте и в энергетике

Совершенствование технологий CCUS, включая применение ингибиторов осаждения асфальтенов при закачке CO_2 в пласты и получение кальцинированной соды из CO_2 и солей пластовых вод

Проект 4 («Крупнотоннажный водород для низкоуглеродной экономики»)

Разработка научных основ технологий хранения и транспортировки водорода (ИК СО РАН, СамГТУ, ИНХС РАН)

Подходы к аккумулированию, хранению и транспортировке водорода



Хранение водорода в виде жидких органических носителей (LOHC*)



- ✓ Долгосрочное хранение энергии
- ✓ Безопасность (по сравнению со сжатым или сжиженным H_2)
- ✓ Простота транспортировки (возможность использования существующей инфраструктуры)
- ✓ Возможность многоциклового использования

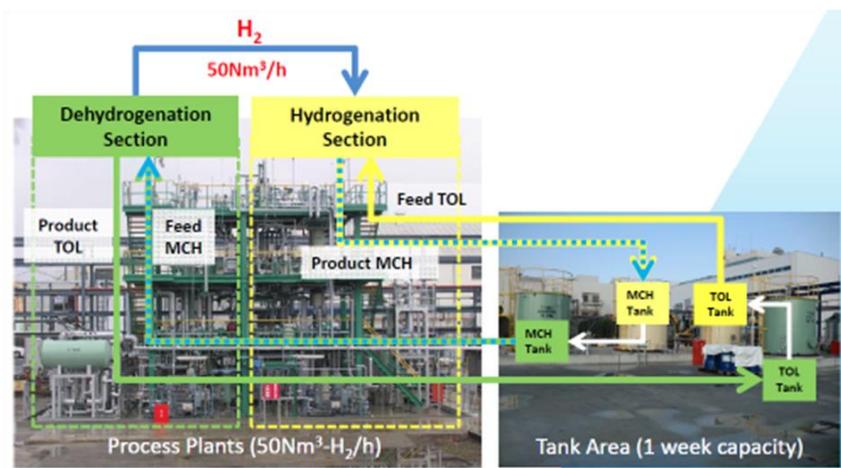
**LOHC – liquid organic hydrogen carriers*



Проект 4 («Крупнотоннажный водород для низкоуглеродной экономики»)

Разработка научных основ технологий хранения и транспортировки водорода

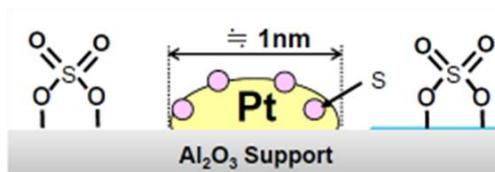
Пример реализации с использованием толуола/метилциклогексана (TOL/MCH) в качестве органических субстратов и платинового катализатора гидрирования/дегидрирования



“SPERA Hydrogen” (Chiyoda Corporation, Япония)
Демонстрационная установка

Дегидрирование MCH:

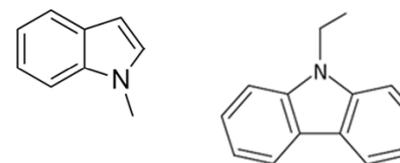
- ▶ Катализатор S-Pt/Al₂O₃
- ▶ Давление 0.3 МПа
- ▶ Температура ~ 350°C
- ▶ Селективность ~ 99.9% (X_{MCH} 99.5%)



Новые подходы к выбору органических носителей водорода: потенциальные кандидаты

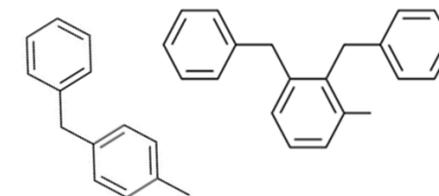
N-гетероциклические соединения

- Снижение температуры дегидрирования
- Низкая летучесть LOHC (повышение чистоты водорода)
- Низкая селективность процесса дегидрирования* (потери LOHC)
- Высокая стоимость гетероциклических соединений



Полициклические соединения

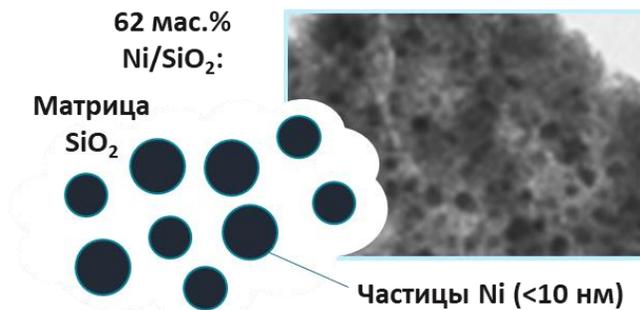
- Высокая селективность и стабильность катализаторов
- Низкая летучесть LOHC (повышение чистоты водорода)
- Низкая токсичность и пожаробезопасность
- Высокие температуры дегидрирования



* - при существующем уровне развития каталитического процесса

Проект 4 («Крупнотоннажный водород для низкоуглеродной экономики»)

Разработка катализаторов дегидрирования полициклических соединений без содержания благородных (Pt, Pd,...) металлов

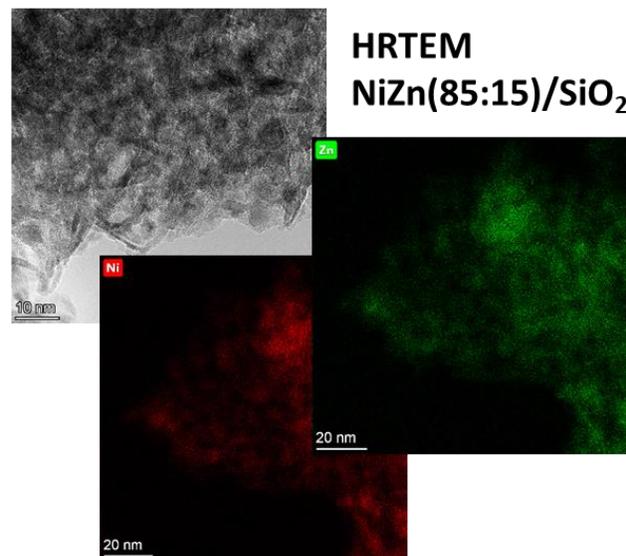


Высокопроцентные никелевые катализаторы синтезированные методом гетерофазного золь-гель синтеза продемонстрировали высокую активность в модельном процессе дегидрирования МСН*, однако характеризуются низкой селективностью процесса.

МСН → ТОЛ + Бензол

Катализатор	T _{процесса} , °C	Конверсия МСН, %	Селективность ТОЛ, %
Ni/SiO ₂	300	77.4	67.2
	350	92.5	11.3
(85:15) NiZn/SiO ₂	300	62.3	98.1
	350	87.0	91.2
(80:20) NiSn/SiO ₂	300	28.8	99.9
	350	60.4	99.9

**Условия: проточный реактор, 0.1 МПа, T = 250-350 °C, WHSV= 18.5 час⁻¹*



Модификация катализаторов Zn и Sn позволяет существенно повысить селективность процесса.

Проект ТС1. «Разработка высокоэффективных катализаторов сероочистки природного газа, низкотемпературной паровой конверсии оксида углерода и синтеза метанола на российской технологической и ресурсной базе»

Каталитические процессы:

- Сероочистка ПГ
- Конверсия оксида углерода
- Синтез метанола

Катализаторы:

CoMo/Al₂O₃ + ZnO

Cu-ZnO-Al₂O₃

Проблема:

Отсутствие в России производства современных катализаторов этих процессов

Сформирован новый проект, направленный на решение проблемы импортозамещения катализаторов, востребованных в технологических цепочках производства водорода для нефтехимических процессов, синтеза аммиака и синтеза метанола.

Соответствие приоритетным направлениям проектов технологического суверенитета (ПП №603 от 15.04.2023):

5.4.5 Катализаторы гидроочистки, гидрокрекинга, каталитического крекинга, риформинга, изомеризации (гидроочистка метана, сероочистка, паровой риформинг, конверсия оксида углерода, метанирование)



Спасибо за внимание!

<https://h2nti.ru>



<https://t.me/H2NTI>



<https://vk.com/h2nti>

