



Комитет по энергетике ГД РФ,  
Экспертный совет  
комитета по энергетике ГД РФ  
«Основные направления перехода  
к экологически чистой и  
ресурсосберегающей энергетике,  
курс на ESG»  
МЭИ, г. Москва, 16 февраля 2022 г.

# О технологиях низкоуглеродной и безуглеродной энергетики

**С.В. Алексеенко,**

*академик РАН,*

*председатель Объединенного ученого совета СО РАН по  
энергетике, машиностроению, механике и процессам управления,  
научный руководитель Института теплофизики СО РАН*



# Фундаментальная роль энергетики

**ЭНЕРГЕТИКА** – базис экономики любой страны вне зависимости от технологического уклада. Однако сегодня в обществе возникла **беспрецедентная ситуация**, когда необходимо безотлагательно принимать принципиальные решения по дальнейшему **развитию мировой энергетики**.

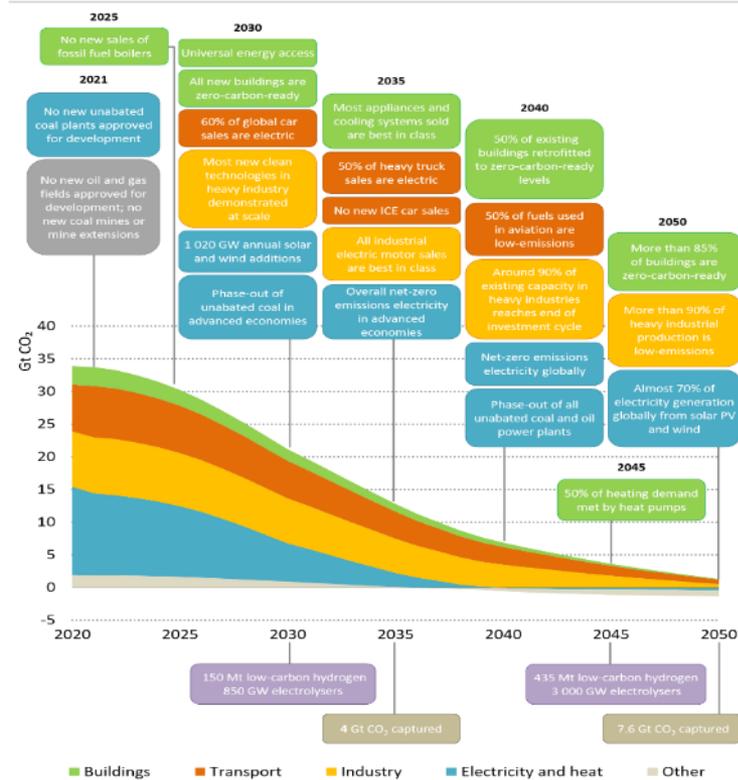
## 21-я Всемирная конференция по климату (Париж, 2015)

- Подписано Соглашение, конечной целью которого является не допустить повышения температуры на **2°C** до **конца XXI столетия**.
- Рост температуры связывается с **глобальным потеплением**, основной причиной которого считаются выбросы парниковых газов – прежде всего, **CO<sub>2</sub>**.
- Полагается, что **антропогенная эмиссия CO<sub>2</sub>** играет ключевую роль, а главным виновником антропогенных выбросов объявлена **энергетика** на **органическом топливе**.
- **Энергетический** сектор дает **3/4** выбросов **парниковых** газов (но доля «большой» **энергетики 40%**).
- При выполнении требований Парижского соглашения структура мировой энергетики в ближайшие десятилетия должна претерпеть **радикальные изменения** в результате вытеснения **угля** и замещения его газом и безуглеродными источниками.
- Ряд стран заявил о готовности перейти к **безуглеродной** энергетике уже к **2050** г.
- Дорожная карта **International Energy Agency**: к **2050** году почти **90%** производства электроэнергии будет производиться из **возобновляемых** источников, при этом на долю **ветра и солнечной** энергии вместе приходится почти **70%**.

# «Net Zero by 2050» A Roadmap for the Global Energy Sector

Дорожная карта для глобальной энергетической системы - одно из самых важных и сложных начинаний в истории МЭА (IEA -International Energy Agency). Лидеры G7 признают дорожную карту МЭА "Чистый ноль к 2050 году" (июнь 2021).

Key milestones in the pathway to net zero

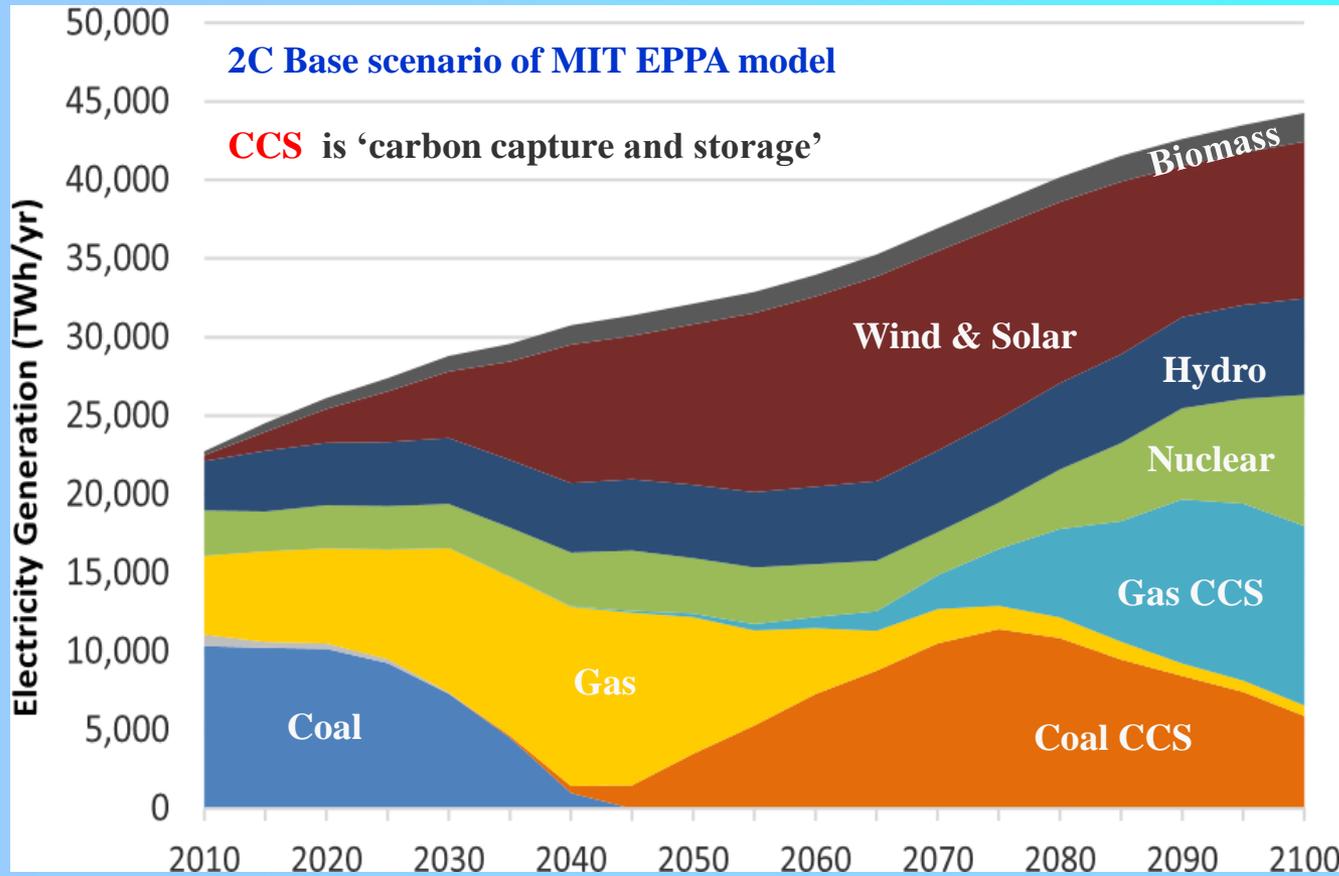


**Энергетический** сектор дает **3/4** выбросов **парниковых** газов (но доля «большой» энергетики - **40%**).  
К **2021** году не будет вложений в разработку новых **угольных** станций и месторождений **нефти** и **газа**.  
К **2024** году не будет новых продаж **котлов** на **органическом** топливе.  
К **2030** году страны **G7** приняли решение отказаться от **угля** в качестве топлива.  
К **2030** году доля **электромобилей** в мировых продажах автомобилей вырастет с **5%** до более чем **60%**.  
К **2035** году продаж новых легковых автомобилей внутреннего сгорания не будет.  
К **2040** году мировая электроэнергетика уже достигнет **нулевого** объема выбросов.  
К **2050** году почти **90%** производства электроэнергии будет производиться из **возобновляемых** источников, при этом на долю **ветра** и **солнечной** энергии вместе приходится почти **70%**.  
Оставшаяся часть будет приходиться в основном на **ядерную** энергетику.



# Сценарий MIT

*Morris et al. // Climate Change Economics, 2021*



**2C Base scenario** приводит к совершенно иному сочетанию электроэнергии, чем в **Reference scenario**, а также к меньшему общему производству (примерно на **30%** меньше в 2100 году). К 2100 году на **CCS** приходится почти **40%** мирового производства электроэнергии. Конечная глобальная генерация в 2100 году составит около **13% coal CCS, 26% gas CCS, 19% nuclear, 14% hydro, 23% wind and solar, 4% biomass** и менее **2% natural gas**.

**EPPA** - это вычислимая общая равновесная многорегиональная, многосекторная рекурсивно-динамическая модель **мировой экономики**. Сценарий **2C** означает стабилизацию средней температуры атмосферы на **2°C** выше уровня доиндустриальных лет с вероятностью **66%**.

Типичное **увеличение** затрат на электроэнергию для **угольных** электростанций составляет **60%** при снижении выбросов **CO<sub>2</sub>** на **95%**. Для **газовой** электростанции типичное увеличение составляет **40%** при сокращении выбросов **CO<sub>2</sub>** на **90%**.



## Документы

**СТРАТЕГИЯ научно-технологического развития Российской Федерации.**

Утверждена Указом Президента РФ от 1 декабря 2016 г. № 642.

**ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ СТРАТЕГИЯ Российской Федерации на период до 2035 года.**

Утверждена распоряжением Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р.

Указ Президента РФ от 4 ноября 2020 г. № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов».

Указ Президента РФ от 8 февраля 2021 г. № 76 «О мерах по реализации государственной научно-технической политики в области экологического развития РФ и климатических изменений».

**КОНЦЕПЦИЯ развития водородной энергетики в Российской Федерации.**

Утверждена распоряжением Правительства РФ от 5 августа 2021 г. № 2162-р.

**СТРАТЕГИЯ социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года.**

Утверждена распоряжением Правительства РФ от 29 октября 2021 г. № 3052-р.

Правительством РФ подготовлена **Федеральная научно-техническая программа в области экологического развития России и климатических изменений на период до 2030 года.**

На её реализацию из федерального бюджета будет выделено **5,9 млрд рублей** на ближайшие три года.  
8 февраля 2022 г.



# Стратегия научно-технологического развития РФ

УТВЕРЖДЕНА Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642

## Комплексные научно-технические программы (КНТП)

Для достижения результатов по приоритетам научно-технологического развития Российской Федерации, установленных настоящей Стратегией, Правительством Российской Федерации по согласованию с Советом при Президенте Российской Федерации по науке и образованию формируются и утверждаются **комплексные научно-технические программы (КНТП) и проекты (КНТП)**, включающие в себя все этапы **инновационного цикла**: от получения новых **фундаментальных** знаний до их **практического** использования, создания технологий, продуктов и услуг и их выхода на рынок.

**Совет по Приоритетному направлению «Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии» (Совет 20"б" Энергетика).**

Председатель: **академик Филиппов С.П.**

№	Экспертная группа	Руководитель
1	Экологически чистая централизованная, распределенная, мобильная энергетика и хранение энергии	Академик <b>Филиппов С.П.</b>
2	Цифровая энергетика и силовая электроника	Член-корр. РАН <b>Новиков Д.А.</b>
3	Возобновляемые источники энергии	Академик <b>Алексеев С.В.</b>
4	Добыча, транспортировка и переработка углеводородного сырья	Академик <b>Бухтияров В.И.</b>
5	Ядерная и термоядерная энергетика	Академик <b>Большов Л.А.</b>



## Комплексные научно-технические программы (КНТП). Совет 20"б" Энергетика

### 1. КНТП «Чистый уголь - зеленый Кузбасс».

Инициатор: Правительство Кемеровской области – Кузбасса.

Одобрено Правительством РФ 24 сентября 2020.

Финансирование **не открыто**.

### 2. КНТП «Энергетика больших мощностей нового поколения».

Инициатор: НИУ МЭИ.

Заявка одобрена Советом 03 июня 2020 г.

Сформирована экспертная группа. Формируется Предложение.

### 3. КНТП «Комплексные системы обращения с коммунальными и промышленными отходами».

Инициатор: Институт теплофизики СО РАН.

Заявка одобрена Советом 14 октября 2021 г.

Сформирована экспертная группа (в стадии утверждения).



# «Адаптация экономики России к глобальному энергопереходу» (июль 2021)

## Структура основных направлений (треки) адаптации экономики России к глобальному энергопереходу

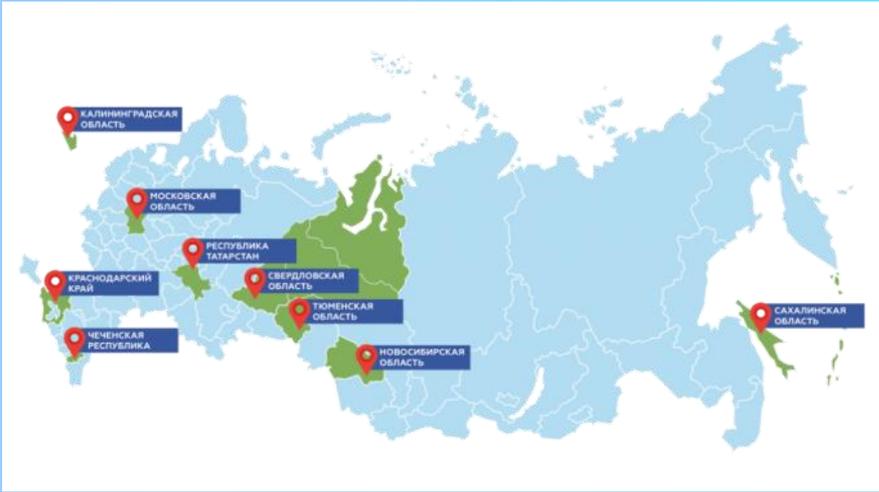
№	Направление	Руководитель	Ведомство
1	Аналитика	И.Э.Торосов / П.Ю.Сорокин / А.А.Пермякова	Минэкономразвития России / Минэнерго России / Аналитический Центр при Правительстве Российской Федерации
2	Горизонтальные регуляторные меры	И.Э.Торосов	Минэкономразвития России
3	Научное сопровождение	А.М.Медведев	Минобрнауки России
4	Международная политика	_____/ С.М.Аноприенко	МИД России, Минприроды России
5	Реструктуризация реального сектора	А.А.Ученев	Минпромторг России
6	Реструктуризация энергетики	П.Ю.Сорокин	Минэнерго России
7	Водородные проекты	П.Ю.Сорокин	Минэнерго России
8	Влияние энергоперехода на регионы, адаптация к изменениям климата	И.Э.Торосов	Минэкономразвития России
9	Зеленые финансы	И.Э.Торосов	Минэкономразвития России

*Отв.: Первый вице-премьер А. Белоусов*



# Мероприятия по декарбонизации

## Карбоновые полигоны



**Карбоновые полигоны** – это территории с уникальной экосистемой, созданные для реализации мер контроля климатических активных газов с участием университетов и научных организаций. Вначале карбоновые полигоны будут созданы в Чеченской Республике, Краснодарском крае, Калужской, Калининградской, Московской, Новосибирской, Сахалинской, Свердловской и Тюменской областях, а также Татарстане. На территории карбоновых полигонов планируется как научная, так и образовательная деятельность. В НГУ уже создан **Климатический центр**.

## Carbon Free Zone (Роснано)

**ПИЛОТНЫЕ ПРОЕКТЫ:**

**На промышленных площадках:**

Заключены соглашения с:

- Ульяновская область
- Ленинградская область
- Мурманская область
- Сахалинская область
- Ростовская область
- Новосибирская область**
- Республика Татарстан
- г. Москва

В проработке:

- Сахалинская область
- Ростовская область
- Новосибирская область
- Республика Татарстан
- г. Москва

Ульяновская область (ОЗЗ «Заволжье») имеет наивысший уровень готовности к реализации пилотного проекта

**ПРИМЕР:**

В муниципалитетах образования:

Достижута предварительная договоренность:

- ЭКОПОЛИС
- Сириус Образовательный Центр
- ЗАОТ

В проработке:

- Сириус Образовательный Центр
- ЗАОТ

В соответствии с соглашением от 4.06.2022

ROSNANO

- ПОДПИСАНО СОГЛАШЕНИЕ И УТВЕРЖДЕН ПЛАН МЕРОПРИЯТИЙ
- ОБЕСПЕЧЕНО ПРИСОЕДИНЕНИЕ К СОГЛАШЕНИЮ (РАТИФИКАЦИЯ):
- MARS DMG MORI
- ABInBev
- ЗАПУЩЕНА ПИЛОТНАЯ ОЦЕНКА «СЛЕДА» НА ПРЕДПРИЯТИЯХ-РЕЗИДЕНТАХ:
- SCHAEFFLER FAG TAKATA HEMPEL
- ПОДГОТОВКА ЗАПУСКА ПИЛОТНОГО ПРОЕКТА ПО ПРОСЛЕЖИВАЕМОСТИ ВХОДЯЩЕГО «СЛЕДА»:
- SCHAEFFLER FAG

**КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ CARBON FREE ZONE В РОССИИ**

**РОSNANO**

**ЧТО ЭТО?**

Земельный участок, на котором реализуется комплекс закрепленных в обязывающем соглашении мероприятий по достижению минимальных уровней эмиссии CO2 и эквивалентов, а также иных компенсирующих мероприятий

**ГДЕ ЭТО?**

- 1 Специализированные производственные площадки: ОЗЗ, промышленный парк, промышленное предприятие
- 2 Муниципальные образования: Муниципальное образование, Монгород, ТОР, ТОСЭР, ЗАОТ (Росатом)

**ЗА СЧЕТ ЧЕГО СНИЖЕНИЕ?**

**Ключевые направления GREEN DEAL**

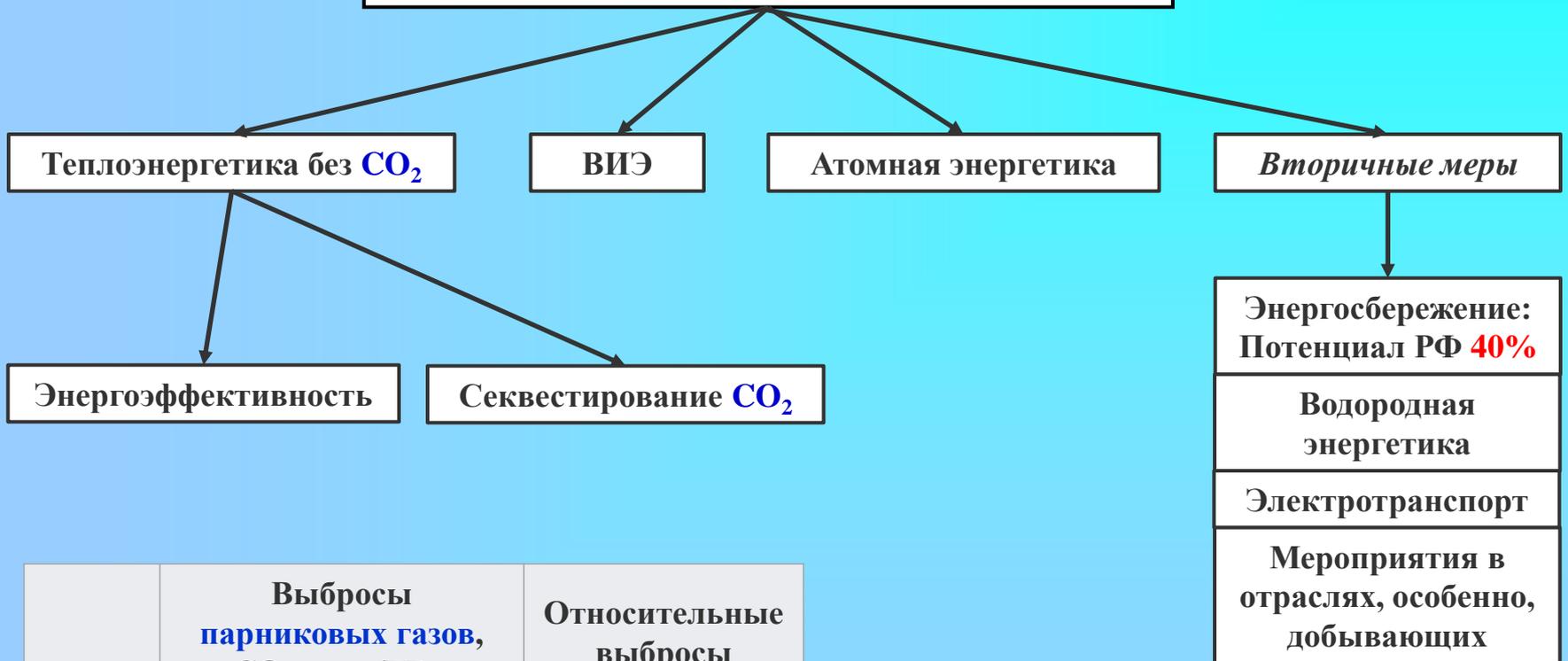
- Техники ТСО
- Регулирование ТСО
- Энергоэффективность
- Повышение энергоэффективности
- Масштабная энергия
- Развитие возобновляемых источников ТСО
- Возрастная группа
- Повышение энергоэффективности
- Внедрение ВИЭ
- Переработка / утилизация ТБО
- Переход на электро-транспортировку (в ст.ч. на водородные технологии)
- Сельское хозяйство / лесной фонд
- Планирование ГЧП-заказчика
- Создание благоприятных условий для бизнеса
- Создание благоприятных условий для бизнеса



**Энергетические технологии,  
удовлетворяющие  
требованиям сокращения  
выбросов CO<sub>2</sub>**



## Основные направления снижения выбросов парниковых газов в энергетике



	Выбросы парниковых газов, т CO <sub>2</sub> -экв./ГВт·ч	Относительные выбросы
Уголь	820	1.00
Газ	490	0.60
ФЭУ	48	0.06
АЭС	12	0.015
ВЭС	11	0.013

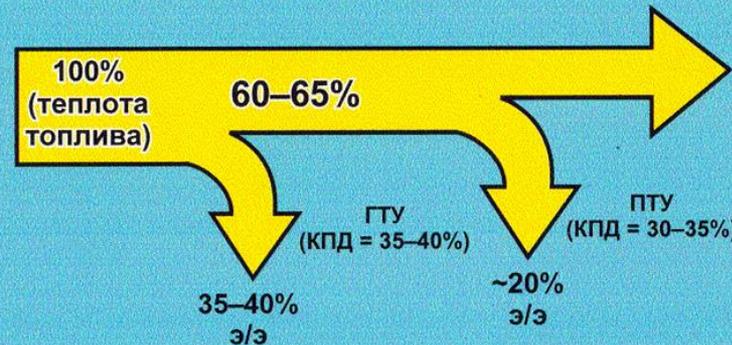
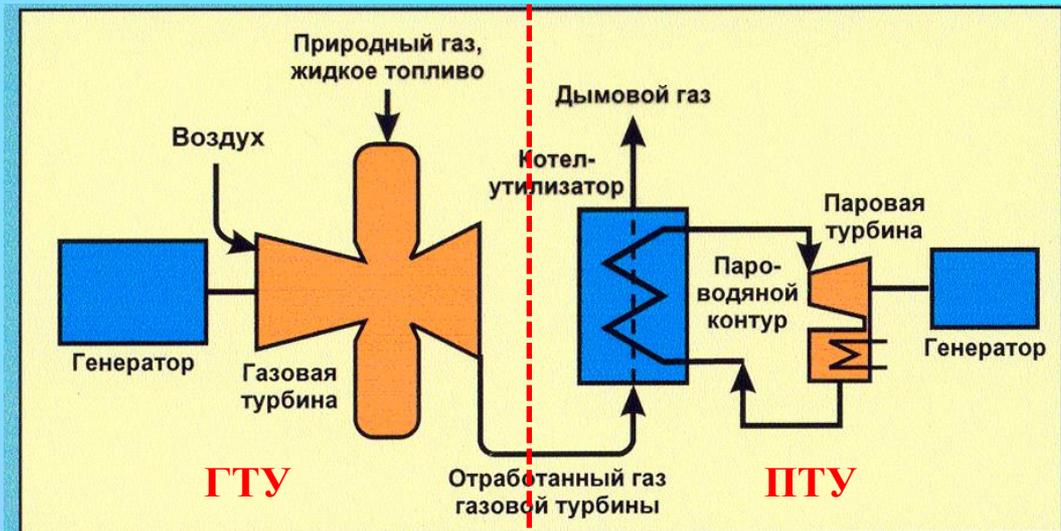


# Парогазовые установки (ПГУ) на природном газе

Основное решение в теплоэнергетике на природном газе связано с применением **парогазовых** установок ПГУ (сочетание *паротурбинной* установки и *газотурбинной* установки) с максимально возможным КПД в теплоэнергетике: **50 - 60%**. КПД лучшей ПГУ в Германии составляет **61%**. Для сравнения - *паротурбинные* установки на природном газе имеют КПД = **33 - 45%**. В России доля ПГУ в энергетике составляет всего **4%**.

**КНТП «Энергетика больших мощностей нового поколения»:**  
**Проект 2.** Создание линейки отечественных **ГТУ** средней и большой мощности с высокими показателями энергетической и экологической эффективности для осуществления масштабного перехода к комбинированным циклам.

- проектирование отечественных газовых турбин мощностью **65 МВт, 170 МВт и 500 МВт** (начальная температура газов  $T_{in} = 1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , КПД  $\eta = 43\%$ ).





# Цикл Аллама на природном газе

Сжигание природного газа в  $O_2$ :  $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$

Нет выбросов  $CO_2$  в атмосферу!

Теплоноситель – **сверхкритический  $CO_2$** .

Параметры цикла:  **$1150^\circ C$ , 300 атм.**

КПД нетто **59%**.

Нормированная себестоимость составит **6 цент/кВт ч !**

Пилотный стенд на газе **50 МВт (т)** в Хьюстоне (**2018 г.**).

Создана **турбина** на сверхкритическом  $CO_2$  (Тошиба).

Коммерческий проект на газе **300 МВт (э)**.

Разработчик: **NET Power**. Заказы на 2 ТЭС по **280 МВт (э)**.

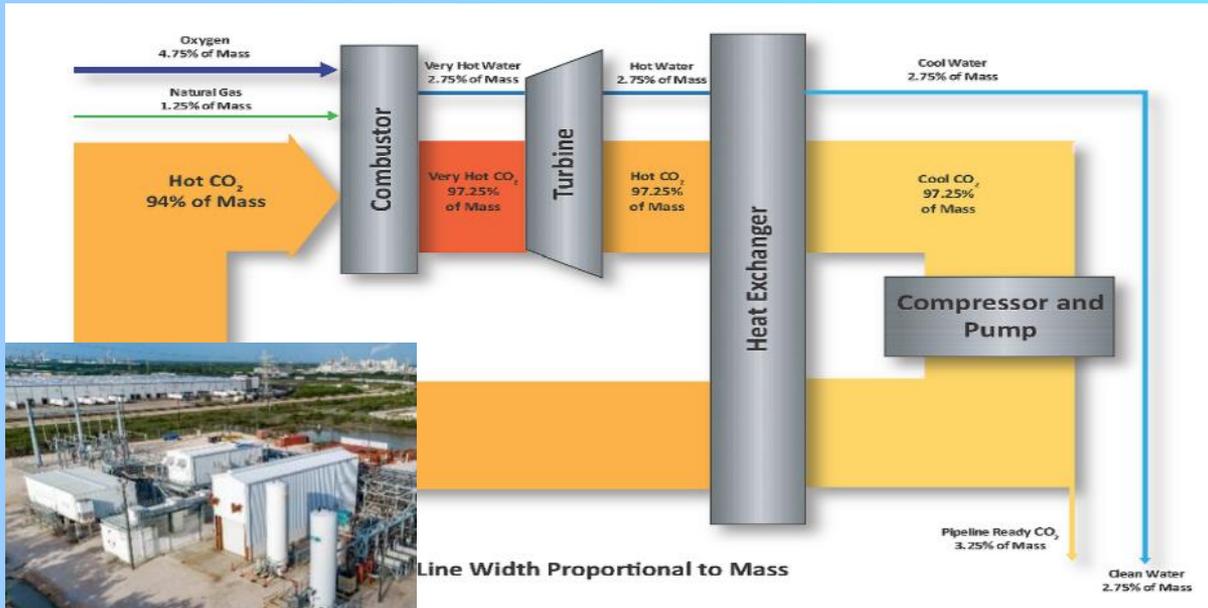
Если потребовать секвестирование  $CO_2$  для ПГУ, то их КПД упадет до **40 - 50%** вместо 50 - 60%.



**Родни Аллам** (Великобритания)  
– лауреат Нобелевской премии.

**Цикл ОИВТ** на природном газе с **бескомпрессорной** парогазовой установкой – *аналог*.

**КНТП «Энергетика больших мощностей нового поколения»:**  
**Проект 4.** Создание опытно-промышленного кислородно-топливного энергетического комплекса с нулевыми выбросами на сверхкритическом диоксиде углерода.





# Угольные энергоблоки с супер-сверхкритическими параметрами пара

Идея заключается в том, чтобы повысить термический КПД паротурбинного цикла за счет увеличения температуры и давления пара вплоть до значений **600 - 700°C** и **350 атм**, соответственно. Такие параметры считаются *суперсверхкритическими*.

КПД может достигать **47 - 55%** в сравнении с **35 - 36%** для типичных ТЭС.

Лучший угольный котел в Германии имеет КПД = **47,5%** (**29,2 МПа, 600/620°C**).

В России таких котлов нет. Но есть опыт эксплуатации небольших котлов с давлением **300 атм** и температурой **650°C** в Кашире (с 1963) и ВТИ (с 1949).

Проблема: **конструкционные материалы**

**КНТП «Энергетика больших мощностей нового поколения»:**

**Проект 1.** Разработка и промышленное освоение угольных высокотемпературных энергетических комплексов на суперсверхкритические (**28-30 МПа, 600-650°C**) и ультрасверхкритические (**32-35 МПа, 700-760°C**) параметры пара.

- разработка комплекса решений, обеспечивающих существенное сокращение выбросов вредных веществ по сравнению с нормами наилучших доступных технологий (НДТ): **NO<sub>x</sub> до 100 мг/м<sup>3</sup>, SO<sub>2</sub> до 80 мг/м<sup>3</sup>, зольных частиц до 20 мг/м<sup>3</sup>**;

- создание опытной энергетической установки мощностью **20 МВт** с начальной температурой **720 °C** и давлением **32 - 35 МПа**, осуществление промышленной эксплуатации.



# Газификация угля (синтез-газ)

Генеральное направление в угольной теплоэнергетике связано с **глубокой переработкой угля**, прежде всего, **газификацией** - неполным сжиганием угля и получением **синтез-газа** (смесь  $H_2$  и  $CO$ ).

**Газификация:**  $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$ .

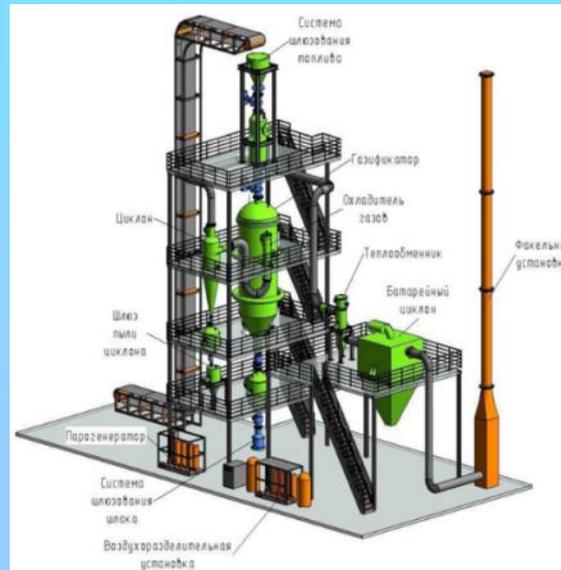
**Обычное сжигание:**  $C + O_2 \rightarrow CO_2$

**Назначение газификации:** производство тепловой и электрической энергии; получение **водорода** и жидкого топлива; производство **химических продуктов**.

## Цикл Аллама на угле

Включение **цикла Аллама** в общий термодинамический цикл на угле дает новое качество. Сначала получается **синтез-газ** в процессе газификации угля а затем синтез-газ используется в цикле Аллама с итоговым КПД порядка **51%**. То есть, реализуется цикл Аллама на угле с полным секвестрированием  **$CO_2$** . Таким образом решается проблема удовлетворения требований **Парижского соглашения**, в соответствии с которым необходимо полностью отказаться от сжигания угля из-за выбросов  **$CO_2$** .

## НИЦ «Экоэнергетика 4.0» ТПУ



Одна из целей – подготовка к реализации **цикла Аллама**. В составе - **две** полномасштабные технологические линии по газификации твердых топлив (**Томская ТЭЦ-3**), в т.ч. : **Горновая газогенераторная установка (ОАО «ВТИ»)**.

Комплекс перерабатывает до **4 тонн топлива в час** – самый **крупный** в России и Европе.

Научный руководитель:  
**С.В. Алексеенко, акад. РАН**



# Утилизация CO<sub>2</sub>

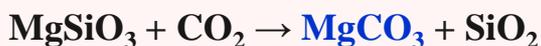
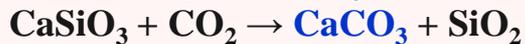
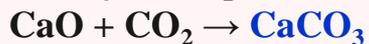
## Минерализация CO<sub>2</sub> путем карбонизации

3 пути утилизации CO<sub>2</sub>: (1) **Захоронение**; (2) Применение в качестве **сырья** для химических производств; (3) Химическое связывание с образованием долгоживущего **нейтрального** продукта.

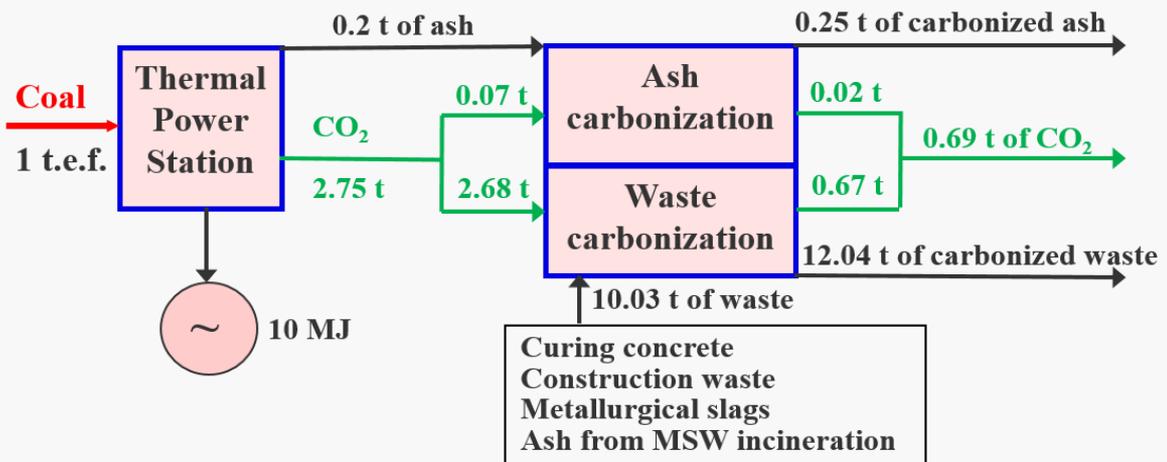
Согласно МЭА, наиболее перспективное направление – **минерализация CO<sub>2</sub>** путем **карбонизации золошлаковых отходов ТЭС**. Вовлечение в процесс химического рециклинга региональных ресурсов (золошлаки иных производств, строительные отходы) может поднять степень безотходности ТЭС по выбросам CO<sub>2</sub> до **70–90 %**.

Взаимодействие активных компонентов золы (Ca, Mg) с CO<sub>2</sub> с образованием термодинамически стабильного карбоната кальция или магния по брутто реакциям (**твердая нейтральная фаза**).

Для сухого процесса:



Баланс CO<sub>2</sub> в угольном энергокомплексе (*Рыжков и др. 2020*).  
Снижение эмиссии CO<sub>2</sub> в 4 раза.





# Утилизация CO<sub>2</sub>

## Захоронение CO<sub>2</sub> в газогидратном состоянии на океанском дне

- **Газовый гидрат** – нестехиометрическое кристаллическое соединение (молекулы газа в решетке воды).
- В 1 тонне воды можно законсервировать более 300 кг CO<sub>2</sub>.
- **Плотность** газогидрата выше, чем у морской воды, т.е. в воде не всплывает.
- Стабилен на глубине океана ниже 500 м или в зоне вечной мерзлоты при температуре ниже 10 °С.
- **Растворение** CO<sub>2</sub> из гидратов в окружающую его воду минимально.
- В Институте теплофизики СО РАН разрабатываются новые **методы** быстрого получения газовых гидратов в процессе кипения сжиженного гидратообразующего газа (**метан** или CO<sub>2</sub>) в объеме воды.

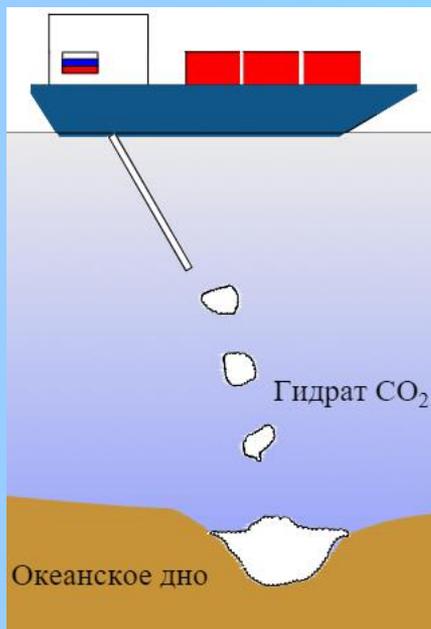


Схема захоронения CO<sub>2</sub> на океанском дне

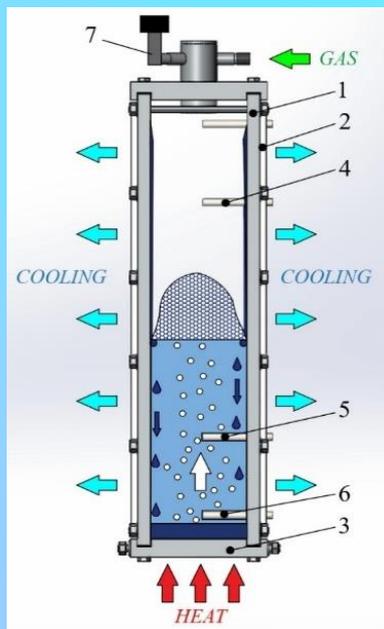


Схема получения гидрата [Meleshkin et. al. 2019]



Образец полученного газового гидрата CO<sub>2</sub>



# Атомная энергетика

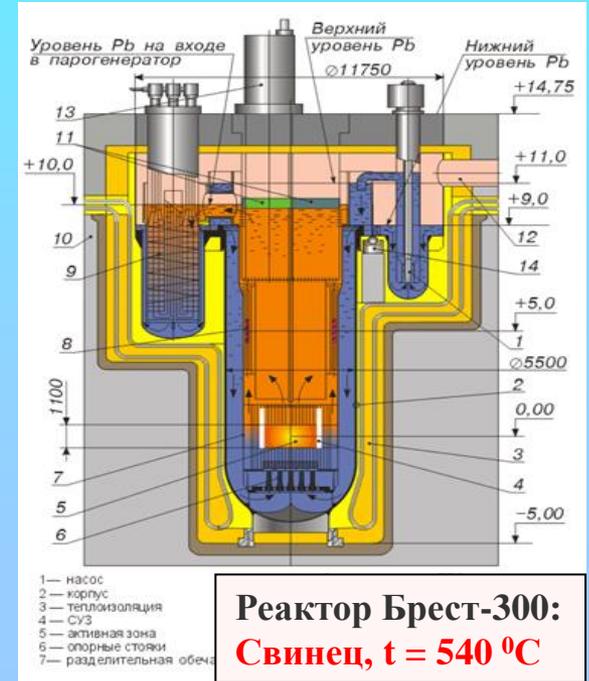
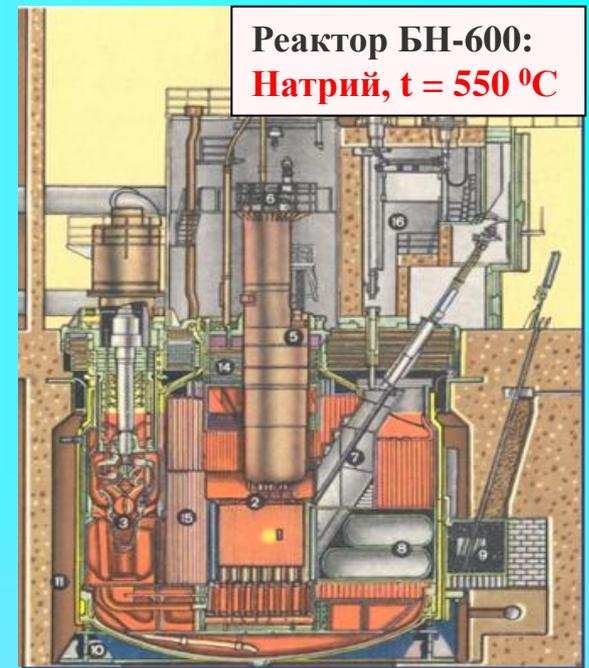
## Реакторы на быстрых нейтронах

Вне всяких сомнений **будущая энергетика** будет базироваться на источниках с максимально высокой концентрацией энергии. И здесь вне конкуренции **ядерная энергетика**. В атомной энергетике используется преимущественно изотоп урана **U235** (в реакторах на тепловых нейтронах), но его очень мало (запас на **несколько десятков лет**). В то время как запасов **U238** при использовании в **быстрых реакторах** хватит на **1 000 лет** при нынешнем мировом энергопотреблении.

Пока в мире эксплуатируются только два быстрых реактора с **натриевым** теплоносителем (**БН-600**, **БН-800**, Екатеринбург), но это будущее ядерной энергетики.

Новое прорывное направление в ядерной энергетике прописано в российском проекте «**Прорыв**», название которого означает его значимость. Предусмотрено сооружение опытно-демонстрационного энергоблока с РУ **БРЕСТ-ОД-300** (**реактор на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем**) мощностью 300 МВт (э), технологий замкнутого ядерного топливного цикла (ЗЯТЦ), новых видов топлива и материалов. Старт проекта был дан в **сентябре 2021 г., г. Томск**.

**Термоядерный синтез** в планах на 21 век не рассматривается.





# Возобновляемые источники энергии (ВИЭ)

По сценарию Международного энергетического агентства к 2050 году почти 90% производства электроэнергии будет производиться из возобновляемых источников, при этом на долю **ветра и солнечной энергии** вместе приходится почти 70%. Для России такой подход **неприемлем**, поскольку условия для реализации этих типов ВИЭ неподходящие. Но главная причина - в России (самой холодной стране мира) огромная доля энергии потребляется в виде **тепла** для обогрева (175 ГВт из 450 ГВт в мире, то есть почти 40%!). **Невозможно столько тепла производить из ВИЭ!**

## Основные комплексные задачи по направлению «Возобновляемые источники энергии»:

1. Развитие технологий **солнечной** энергетики.
2. Развитие технологий **ветроэнергетики**.
3. Развитие технологий использования **биомассы**, включая **отходы**.
4. Развитие технологий **гидроэнергетики**, включая малые (до 25 МВт) и крупные (более 25 МВт) гидроэнергетические установки.
5. Развитие технологий **геотермальной** энергетики.
6. Развитие **других** видов возобновляемой энергетики. Разработка **гибридных** схем.
7. Развитие технологий использования **низкопотенциального** тепла (**энергосбережение**).
8. **Накопители энергии**.



# Возобновляемые источники энергии (ВИЭ)

## Накопители энергии

Эффективное развитие возобновляемой энергетики в силу периодичности действия основных видов **ВИЭ** немислимо без использования **накопителей энергии** как составной части энергоустановок. Огромное значение накопители имеют и для получившей в последнее время развитие распределенной генерации. Хорошо известны **ГАЭС** (гидроаккумулирующая ЭС) и **ТАЭС** (твердотельная аккумулярующая ЭС). Но особо выделяются **электрохимические** источники тока, а именно – **литий-ионные батареи** (аккумуляторы) и **топливные элементы** (ТЭ). Топливные элементы отличаются от аккумуляторов наличием топлива, то есть расходуемого материала, и представляют собой прямой преобразователь химической энергии в электрическую с максимально возможным КПД = **60 - 80%**. Главное топливо для топливных элементов – **водород**. Перспектива – **новые топлива**.

Топливные элементы на боргидридах



**Первое в мире** промышленное производство.  
**Medis Technologies.**  
**1,5 млн. ед./месяц**

Алюминиевые топливные элементы



Мощность **100 Вт.**  
Удельная энергоёмкость **300 Вт ч/кг.**  
**ИТ СО РАН**

Топливный элемент GenCell (Израиль)



1. Топливный элемент на **водороде**:  
1 стандартный баллон водорода - 3 часа работы, 4 кВт (раствор КОН)
2. Топливный элемент на **аммиаке**:  
75%  $H_2$  + 25%  $N_2$ .  
3 кг аммиака - 5 кВт час.

# **КНТП «Комплексные системы обращения с коммунальными и промышленными отходами»**



**СОВЕТ по приоритетному направлению Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации «Переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии»**

**Цель КНТП:** Разработка и внедрение экономически выгодных и экологически чистых передовых отечественных технологий переработки и утилизации твёрдых и жидких коммунальных и промышленных отходов с одновременной выработкой тепловой, электрической энергии и полезных продуктов.

**Инициатор КНТП:** **Институт теплофизики СО РАН**

**Предполагаемый ответственный исполнитель-координатор комплексной программы:**  
**Министерство промышленности и торговли Российской Федерации.**

**Предполагаемый соисполнитель комплексной программы, комплексного проекта:**  
**Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации,**  
**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.**

**Заказчики программы:** **Российский экологический оператор, ГК «Ростех»,**  
**ГК «Росатом», АО «ОДК Авиадвигатель», ПАО «Силовые машины» и др.**

**Комплексная программа включает в себя**  
**5 технологических направлений и 13 проектов.**

**Предусмотрено создание 8 профильных экотехнопарков.**

**Заявка на КНТП «Отходы» **поддержана** Советом по энергетике 14.10.2021 г.**

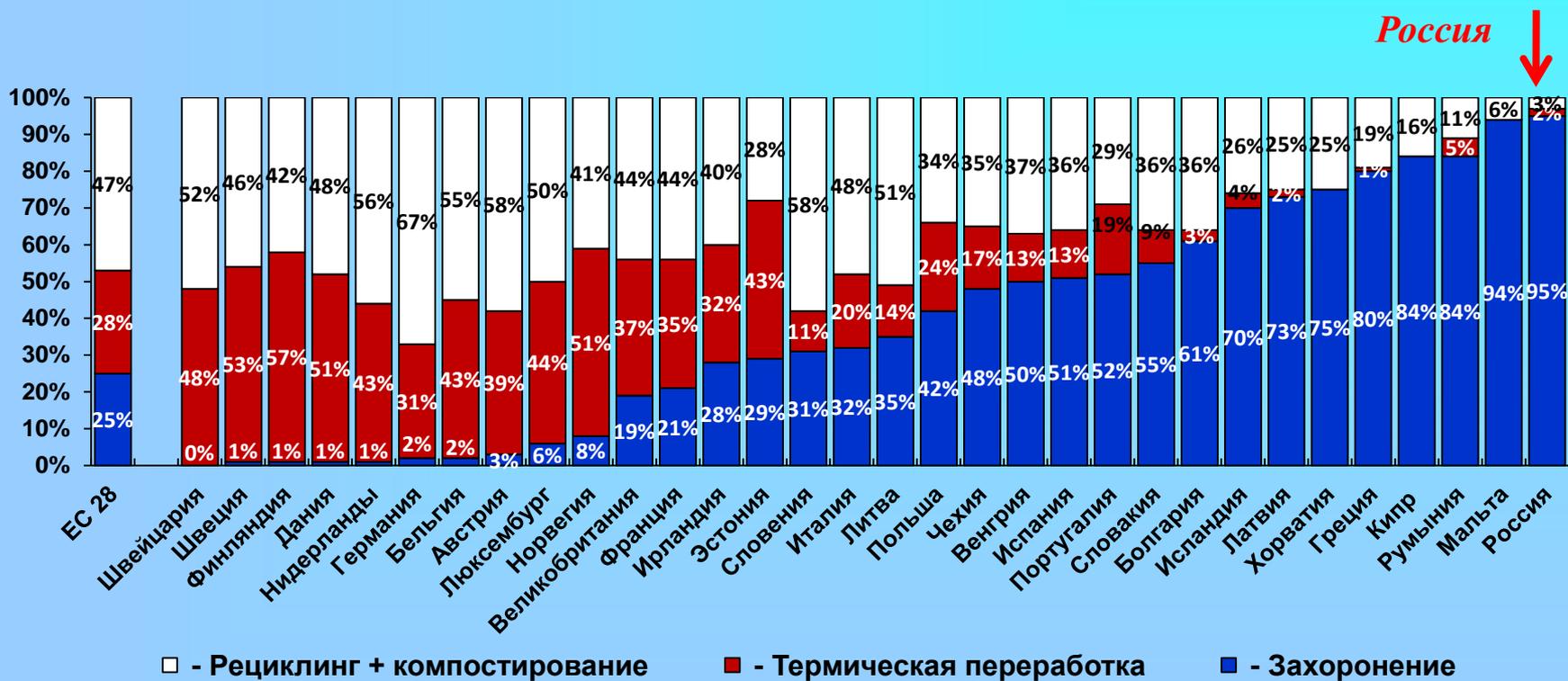
# КНТП «Комплексные системы обращения с коммунальными и промышленными отходами»

## Обоснование необходимости программы

- **Глобальная проблема** человечества связана с бурным ростом производимых **отходов**.
- Не существует **единой** универсальной технологии утилизации отходов.
- **Мировая тенденция: Waste-to-Energy.**
- **Термическое обезвреживание** (в частности, **плазменная** переработка) – обязательный элемент системы обращения с отходами.
- Признанный подход – создание «**Комплексной системы обращения с отходами**», которая включает в себя комплекс мер: от сокращения потенциальных отходов на стадии производства и до захоронения полностью обезвреженных остатков от переработки отходов.
- **Автоматическая предварительная сортировка:** Интеллектуальные **роботизированные** системы на основе машинного зрения и **нейронных** сетей глубокого обучения.
- Российские свалки за год выделяют в атмосферу более 1,5 млн. тонн **метана** и 21,5 млн. тонн **CO<sub>2</sub>**.

# КНТП «Комплексные системы обращения с коммунальными и промышленными отходами»

## Методы обращения с ТБО в странах ЕС и России



# КНТП «Комплексные системы обращения с коммунальными и промышленными отходами»

**КНТП включает в себя 13 проектов, объединенных в 5 технологических направлений**

1. Интеллектуальное (**цифровое**) управление «Комплексными системами обращения с отходами» и технологическими процессами переработки отходов – цифровая платформа.
2. Автоматическая **сортировка** ТКО на основе искусственного интеллекта.
3. **Плазменная газификация**.
4. **Пиролиз** с твердым теплоносителем для получения электроэнергии, тепла и полезных продуктов из отходов лесопромышленного и с/х комплексов.
5. Сжигание и газификация топлив в **циркулирующем кипящем** слое для переработки отходов добычи и обогащения углей. **Совместное** сжигание органосодержащих отходов с ископаемыми топливами.
6. Энергетическая **утилизация ТКО** для ТЭС электрической мощностью **12 МВт** и более.
7. Технология низкоэмиссионного сжигания **жидких** горючих отходов с производством тепловой энергии.
8. Производство **RDF** из органической части ТКО.
9. Комплексная переработка **отвалов** рудообогатительных фабрик.
10. Каталитические технологии окисления **иловых осадков** коммунальных и промышленных очистных сооружений.
11. **Биотехнологическая** переработка органических отходов.
12. Технологии **рекультивация** полигонов твердых коммунальных отходов с производством строительных материалов и вторсырья.
13. **Модульные** комплексы для электроснабжения установок по переработке ТКО за счет сжигания низкокалорийного топливного газа собственного производства.

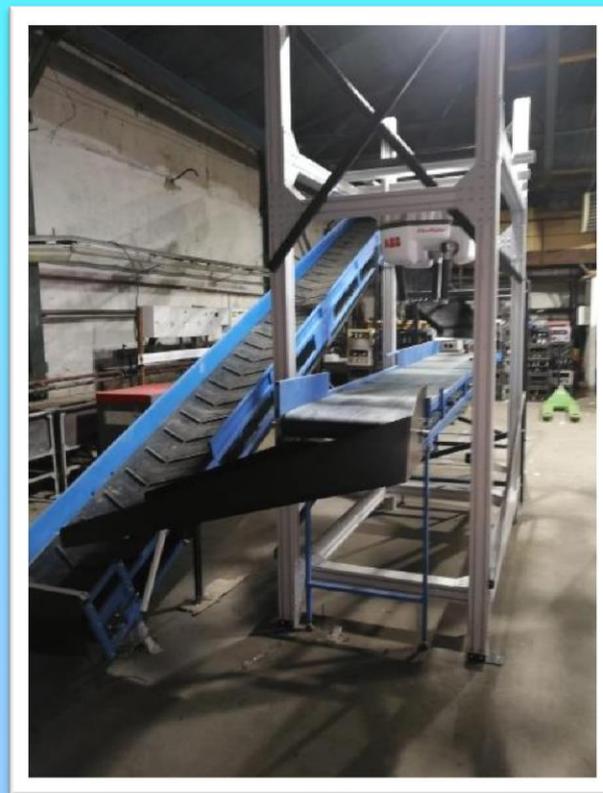
# КНТП «Комплексные системы обращения с коммунальными и промышленными отходами»

## Проект №2: Автоматическая сортировка ТКО на основе искусственного интеллекта

**Проект ФЦП:** «Разработка решений по созданию эффективной технологии **сортировки** твердых бытовых отходов на основе искусственных **нейронных сетей**». Технология основана на алгоритмах распознавания образов, на применении искусственных нейронных сетей и мультиспектрального машинного зрения.



ИТ СО РАН, Тайгер-Сибирь

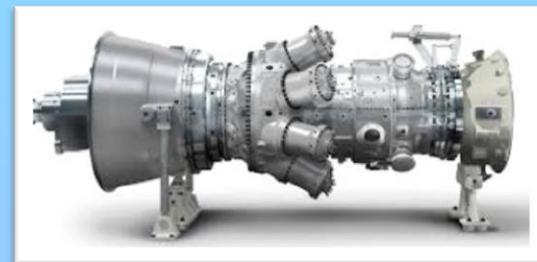


# КНТП «Комплексные системы обращения с коммунальными и промышленными отходами»

## Проект №3: Плазменная переработка ТКО



1. АО «ОДК-Авиадвигатель» (Пермь).
  2. Институты и предприятия Новосибирска.
- Подана заявка на проект КНТП от АО «ОДК-Авиадвигатель»



# КНТП «Комплексные системы обращения с коммунальными и промышленными отходами»

## Экотехнопарки – пилотные проекты КНТП

С целью реализации КНТП на региональном уровне с учетом специфических местных условий предусмотрено создание 8 профильных экотехнопарков:

- в **Новосибирской области** – по технологиям переработки ТКО с производством электроэнергии и рекультивации полигонов;
- в **Кемеровской области** – по переработке отходов сжигания углей, углеобогащения;
- в **Омской области** – по переработке жидких коммунальных отходов;
- в **Ивановской области** – по технологиям переработки ТКО с производством электроэнергии и рекультивации полигонов;
- в **Тюменской области, ХМАО, ЯНАО** – по утилизации отходов нефтедобычи;
- в **Нижегородской области** – по переработке промышленных отходов;
- в **Республике Алтай** – по утилизации органических пищевых отходов с выработкой электроэнергии;
- в **Республике Крым** – по утилизации органических пищевых отходов с выработкой электроэнергии.



# Геотермальная энергия

**ПРИПОВЕРХНОСТНОЕ ТЕПЛО** – тепло подземных источников нагретой воды  
**ГИДРОГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА**

**ГЛУБИННОЕ ТЕПЛО (3 – 10 км)** – тепло сухих пород с температурой до **350 °C**  
**ПЕТРОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА**

## Преимущества петротермальной энергетики

Непрерывное производство энергии

В любом месте Земли

ВИЭ

Нет экологических последствий

Отсутствие эмиссии газов, в т.ч. CO<sub>2</sub>

Не надо хранить первичную энергию

Не надо много земли

Неисчерпаемый источник энергии



# Геотермальная энергия

## Петротермальная энергетика

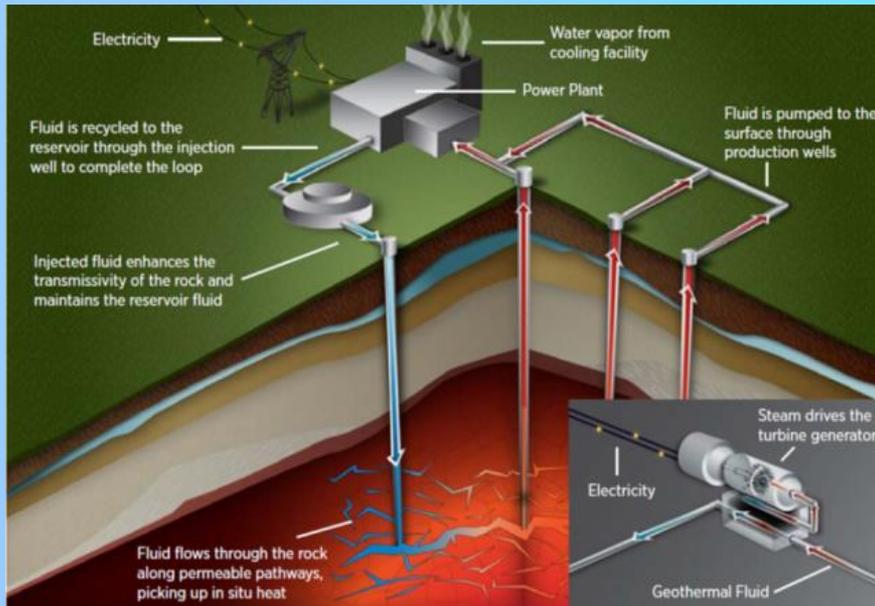


Схема утилизации глубинного тепла.  
Глубина до **10 км**, температура до **350°C**.

**Извлекаемые** запасы геотермальной энергии в США: **20 000** годовых потреблений энергии (!).

### Планы:

К 2030 г. достичь цены **6 ¢/kWh** за геотермальную энергию.

К 2050 г. достичь уровня **60 ГВт** за счет глубинного тепла (**3,7%** установленной электрической мощности в США или **25%** - в России) и

**8,5%** по производству энергии.

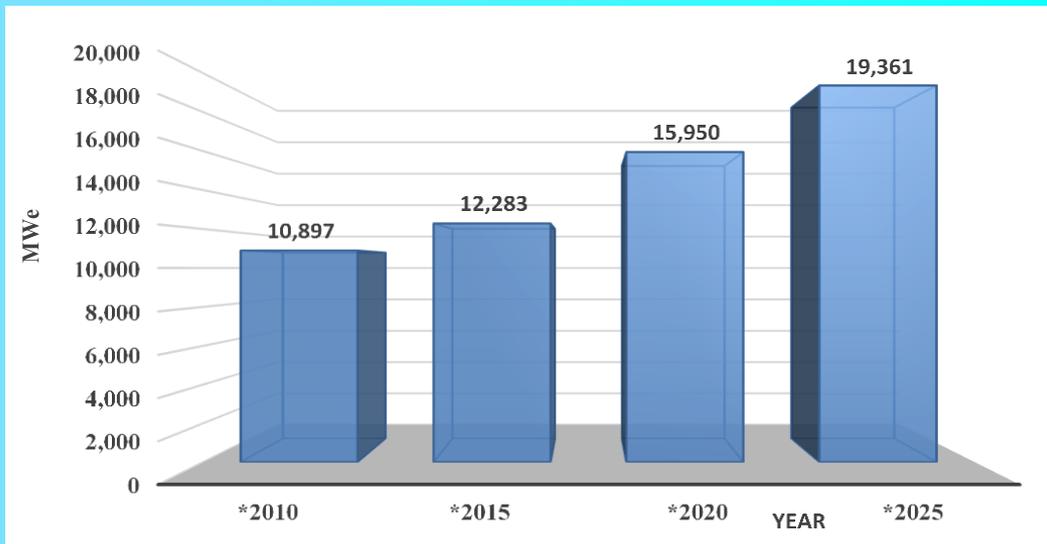
А также **320 ГВт** по теплу.

В РФ все теплоснабжение составляет **175 ГВт**.  
**28 млн.** геотермальных тепловых насосов!

**Тезис:** Петротермальной энергии достаточно, чтобы **навсегда** обеспечить человечество энергией!

# Геотермальная энергия

Установленная электрическая **мощность** геотермальных станций в мире с 2010 по 2025 гг.



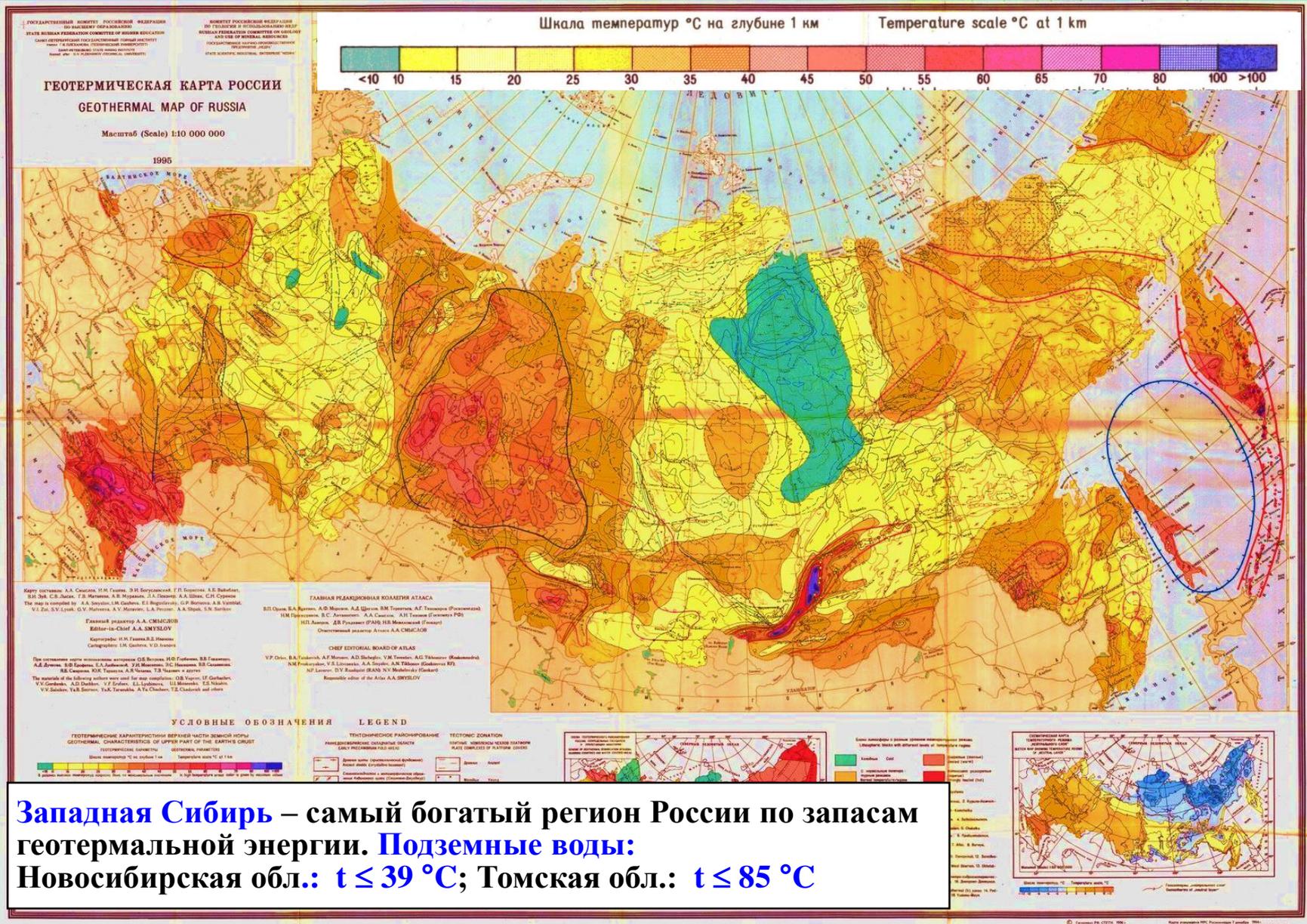
Установленная электрическая **мощность** и производство **энергии** на ГеоЭС в странах мира в 2020 г.

**Доля** геотермальной энергии в установленной мощности ВИЭ – **0,6%!**

	Страна	Установленная мощность, МВт(э)	Энергия, ГВт ч/год	Доля энергии в энергобалансе страны, %
1	<b>США</b>	<b>3 700</b>	18 366	<b>0,4%</b>
2	Индонезия	2 289	15 315	
3	Филиппины	1 918	9 893	
4	Турция	1 549	8 168	
10	Исландия	755	6 010	<b>30%</b>
14	<b>Россия</b>	<b>82</b>	441	
	...			
	<b>Всего</b>	<b>15 950</b>	<b>95 098</b>	



# Геотермическая карта России





# Гидрогеотермальная энергетика в России

## ГеоЭС на сухом паре

В 1967 г. на юге Камчатки была построена первая в России ГеоЭС - Паужетская ГеоЭС мощностью 5 МВт.

Сегодня: Камчатка:

Мутновская ГеоЭС = 50 МВт

Верхне-Мутновская ГеоЭС = 12 МВт

Паужетская ГеоЭС = 11 МВт

Курилы: 2 ГеоЭС = (2.6 + 6) МВт

Итого: 81,6 МВт



Паужетская ГеоЭС

## Бинарная ГеоЭС (сегодня в России нет!)

### Паратунская ГеоЭС (1967 - 1974)

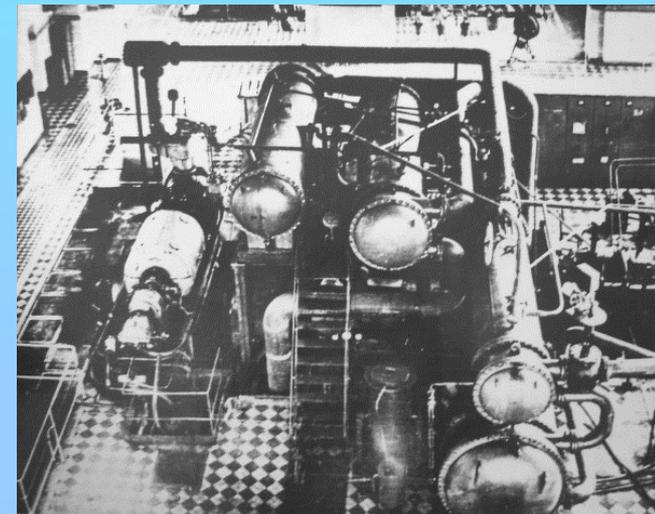
Разработчик ИТФ СО АН СССР

Авторы технологии: С.С. Кутателадзе,  
Л.М. Розенфельд (1962)

Исполнители: Петин Ю.М., Москвичева В.Н.

Впервые в мире применен бинарный цикл с фреоновой турбиной на фреоне R-12 для выработки э/э из геотермального источника:

Мощность 815 кВт,  $t_{\text{вода}} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$ .





# КНТП «Технологии геотермальной энергетики» (предложение)

## ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

**Геотермальная энергия** – самый экологически чистый и практически неисчерпаемый источник энергии. Для ее масштабного применения, особенно в свете перехода на «зеленую» энергетику, необходимо решение следующих ключевых задач:

- Развитие и масштабное применение геотермальных **тепловых насосов**.
- Преимущественное развитие **бинарных циклов**, в том числе для задач энергосбережения.
- Освоение **глубинного тепла** на базе EGS, как самого перспективного вида геотермальной энергии.
- Извлечение из термальной воды **ценных химикатов**, особенно редкоземельных элементов.
- Развитие новых эффективных технологий **бурения**, которые могут иметь революционное значение не только для геотермальной энергетики, но и многих других отраслей промышленности.
- Разработка и применение **геофизических** методов диагностики.

Для реализации указанных задач необходимо:

1. Разработать **дорожную карту** развития геотермальной и петротермальной энергетики в России.
2. В кратчайшие сроки представить в Совет по приоритетному направлению «Энергетика» заявку на Комплексную научно-техническую программу (КНТП) полного инновационного цикла: «**Технологии геотермальной энергетики**».



# Энергосбережение

## Низкопотенциальная энергетика

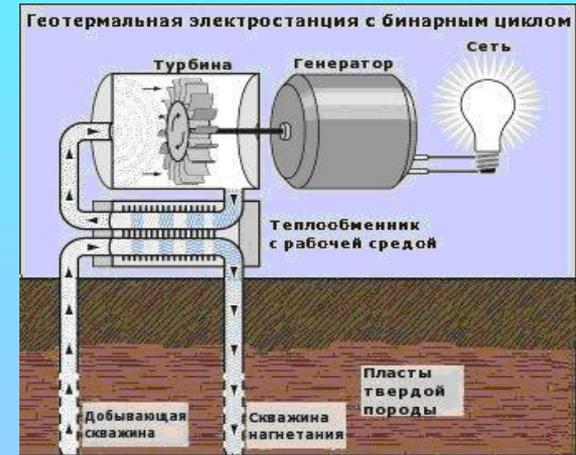
**Низкопотенциальная** энергетика является разделом энергетики, в котором осуществляется выработка электрической и тепловой энергии, а также холода (включая кондиционирование) от низкопотенциальных (**низкотемпературных**) источников. Примеры таких источников: **геотермальные** воды, **сбросное тепло** промпредприятий и бытового сектора (сточные воды и вентиляция), **солнечные** коллекторы. Утилизация тепла таких источников означает по сути решение проблем **энергосбережения**, потенциал которого в России совершенно огромен – **40%!** Его реализация может существенно снизить потребности в новой генерации, а значит снижать **выбросы CO<sub>2</sub>**. В основе технологий утилизации низкопотенциального тепла: **когенерационные** установки, **тепловые насосы** (термотрансформаторы), **бинарные** циклы.

### Тепловые насос - основа энергоресбережения



Комплекс **абсорбционных бромисто-литиевых тепловых насосов 7 МВт** (**ИТ СО РАН, Теплосибмаш**)

### Бинарная ГеоЭС на органическом цикле Рэнкина (ORC)

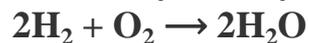


**Впервые в мире** на Паратунской ГеоЭС (1967-1974) был применен бинарный цикл с фреоновой турбиной на фреоне **R-12** для выработки э/э из геотермального источника: мощность **815 кВт**,  $t_{\text{вода}} = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$  (**ИТФ СО АН СССР**). Сейчас в мире в эксплуатации **600 ТЭС** на ORC общей мощностью **2 ГВт**.



# Водородная энергетика (экономика)

**Водород** - вторичный энергоноситель. **Водород** - наиболее емкий и экологически чистый энергоноситель из всех существующих химических веществ. Единственным продуктом реакции является **вода**:

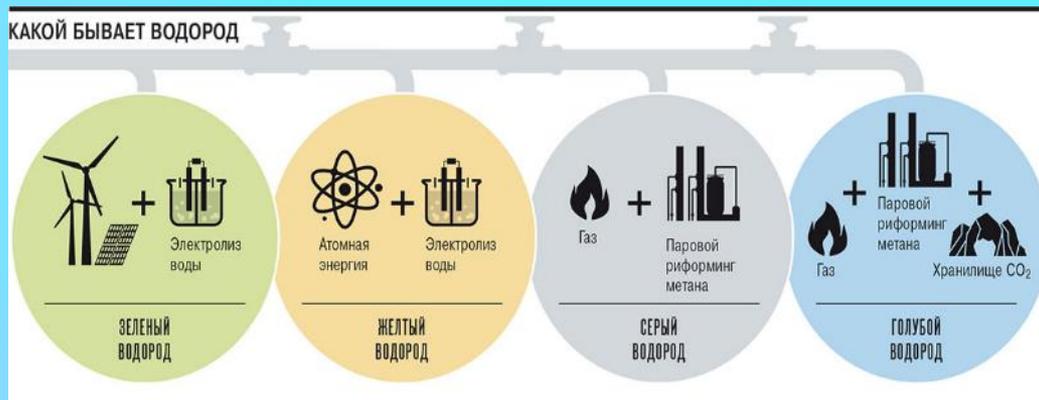


Теплота сгорания **водорода** в **2,5** раза выше, чем у природного газа. **Водород** может использоваться: в процессах эффективного **сжигания**; для прямого преобразования энергии в **топливных элементах** с высоким КПД; как сырье для многих **химических продуктов**. Среди главных проблем - **безопасность**.

Самый эффективный способ получения **H<sub>2</sub>** - метод паровой конверсии **природного газа**. Однако, в будущем предполагается, что основным источником водорода будет **электролиз воды** в атомной (или возобновляемой) энергетике.

Возможно использовать **газификацию угля**. В последнем случае имеется в виду, что вначале путем газификации угля будет получаться **синтез-газ** (смесь **H<sub>2</sub>** и **CO**), а из него уже извлекается водород. Приведенные затраты на производство:

«серого» водорода - **€1,24 за 1 кг**, а «зеленого» - в **€3,43 за 1 кг**.



Исходя из свойств **водорода**, его использование в **энергетике** сомнительно.

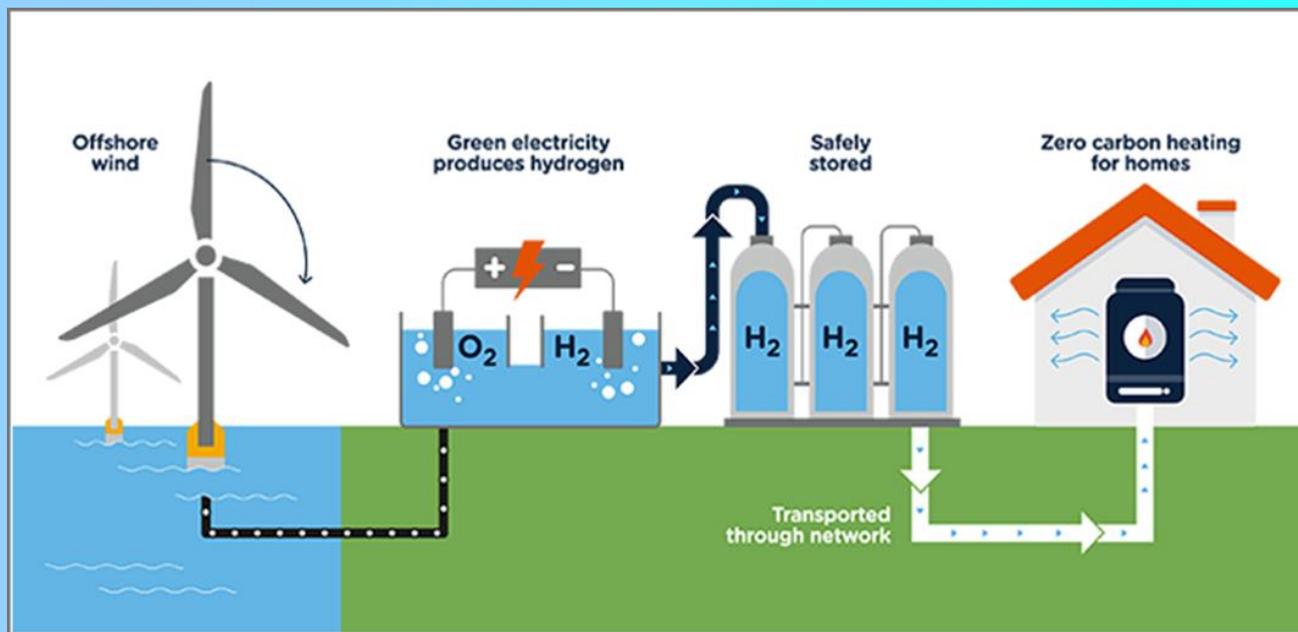
**Муравьиная кислота HCOOH** и **аммиак NH<sub>3</sub>** рассматриваются как наиболее перспективные химические носители водорода.

**КОНЦЕПЦИЯ** развития **водородной** энергетике в РФ. Утверждена распоряжением Правительства РФ 5.08.2021.



# Водородная энергетика (экономика)

## Проект по водородному отоплению в Шотландии



Проект **H100 Fife** (2020). Первая в мире программа, в которой зеленый водород будет использован для отопления района из **300 зданий**. Недавно (май 2020) Британский институт стандартов BSI выпустил первое **руководство** по газовым устройствам, работающим на водороде, для жилых и коммерческих зданий.

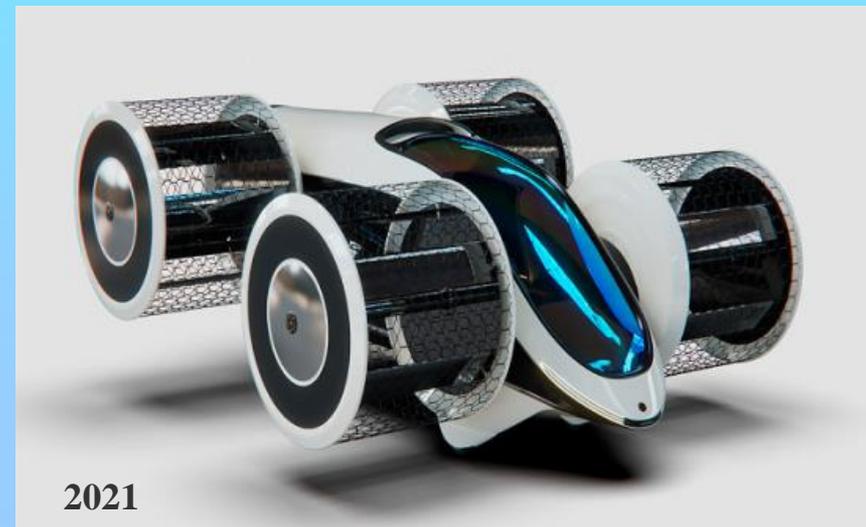
Британская газовая сеть, состоящая из более чем **280 000 км труб**, соединенных с **23 миллионами домов** и предприятий, «**может** обеспечить четкий и экономически эффективный путь декарбонизации теплоснабжения с помощью **водорода** при низких затратах, с высокими темпами и в большом масштабе».



# Электротранспорт

Казалось бы, что эта тема имеет малое отношение к **энергетике**. Но в действительности переход на **электрическую тягу** в автомобилях приведет к принципиальным (даже **революционным**, не побоимся этого слова) изменениям в **структуре энергетике**. И особенно это затронет нефтегазодобывающие страны, включая Россию. Произойдет резкое снижение в потребности нефтепродуктов и природного газа для производства автомобильного топлива. А доля нефти, потребляемой для этих целей, составляет **54,6%** (2016 г.). В свою очередь, резко вырастет потребность в **электрохимических** источниках энергии с появлением соответствующей инфраструктуры. Уже сегодня некоторые страны заявили о **100%** переходе в ближайшие годы (!) на **электротранспорт**. В этой сфере следует ожидать **кардинальных** изменений.

Фонд перспективных исследований (ФПИ) представил летный демонстратор **первого в России циклолета**. Беспилотник массой **60 кг** уже прошел летные испытания. "После этого мы перейдем к созданию большого аппарата, который будет способен перевозить до **шести человек**. И к **2024 году** должен быть создан **полноразмерный пассажирский циклолет**" – сообщили в ФПИ. Циклолет предложен учеными **ИТ СО РАН** и инженерами компании **«Авакс-Геосервис»**.





Геотермальный источник в Исландии

**Спасибо за внимание!**