Российская Академия Наук

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»
г. Москва, *13 декабря 2018 г.*

Перспективные технологии возобновляемой энергетики

С.В. Алексеенко,
академик РАН,
Председатель ОУС СО РАН по энергетике, машиностроению, механике и процессам управления

Возобновляемые источники энергии (ВИЭ)

Технический потенциал ВИЭ в России - 6,4 млрд. т у.т./год
(в 6 раз больше общего энергопотребления)

• **Солнечная энергия**:	**2 300 млн. т у.т.**
• **Ветровая энергия**:	**2 000 млн. т у.т.**
• **Геотермальная энергия:**	**1 800 млн. т у.т.**
• **Энергия малых водотоков:**	**125 млн. т у.т.**
• **Биомасса, включая отходы**:	**53 млн. т у.т.**
• **Низкопотенциальное тепло:**	**115 млн. т у.т.**

Прочие ВИЭ: энергия волн; энергия приливов; термоградиенты в океане; градиенты солености; тепло грунта и незамерзающих водоемов…

Особенность ВИЭ: огромное разнообразие по физической сущности и методам их практического использования!

Тенденции в развитии энергетики

Ближайшая перспектива:
Развитие экологически чистых и эффективных технологий переработки органического топлива (в частности, *парогазовые установки, глубокая переработка угля*).

Более дальняя перспектива (но начинать надо сейчас):

Освоение ВИЭ и разработка эффективных методов преобразования и хранения энергии, включая топливные элементы.
Наиболее перспективные виды ВИЭ:

- **Солнечная энергия**
- **Геотермальная энергия с постепенным переходом на глубинное тепло (тепло сухих пород Земли на глубинах 3 – 10 км при $t \leq 350°C$).**

Побудительные мотивы и проблемы использования ВИЭ

Побудительные мотивы:

- **Истощаемость запасов органического топлива**

Мир:	газ – 40-60 лет	Россия:	газ – 80 лет
	нефть – 40-60 лет		нефть – 20 лет
	уголь – 200 лет		уголь – 400 лет

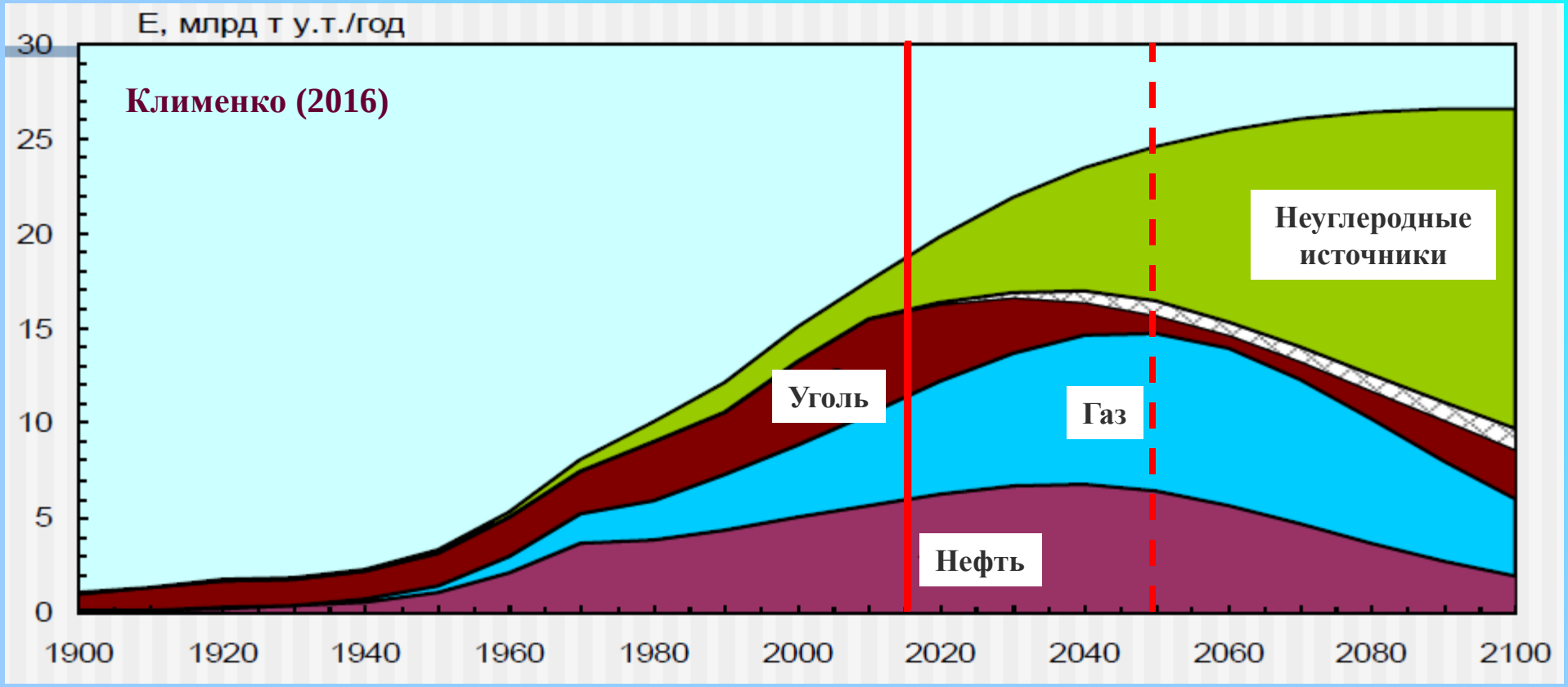
- **Неисчерпаемость запасов ВИЭ**
- **Энергобезопасность**
- **Труднодоступность многих районов России для централизованного энергоснабжения (по оценке, от 50 до 70% территории России с населением 20 млн. человек не охвачены централизованным электроснабжением)**
- **Экология - Парижское соглашение по климату (2016 г.).**

Проблемы:

- **Низкая плотность энергии и неравномерность**
- **Необходимость хранения энергии**
- **Отсутствие инфраструктуры**
- **Высокая себестоимость производства энергии**

Парижское соглашение

Изменения структуры мирового энергопотребления при выполнении Парижского соглашения



Есть сомнения в обосновании Парижского соглашения.
РФ пока его не ратифицировала (по планам – в 2020 г., отв. – Минприроды).

Парижское соглашение: Проблемы

- «**Не существует** никаких убедительных научных свидетельств того, что **антропогенный** выброс углекислого газа или других парниковых газов могут в обозримом будущем вызвать катастрофическое прогревание атмосферы Земли и разрушение ее климата». **Из петиции правительству США, которую в 1997 году подписали более 15 тысяч американских ученых и инженеров.**
- **В 2004 году аналогичное заключение официально объявила РАН.**
- **Существуют прямые свидетельства того, что изменения содержания CO_2 в атмосфере являются следствием изменения температуры, а не его причиной.**
- **Колебания климатических температур на планете Земля совершенно определенно связаны с колебаниями солнечной активности!**
- **В будущем (через 50 – 70 лет) ожидается глобальное похолодание на Земле (400-летний период между великими минимумами – последний был в 1635 – 1715 гг.).**

Резюме: Требуются планомерные научные исследования причин изменения климата, но это не означает отказ от ориентации будущей энергетики на возобновляемые источники энергии – на то имеются иные веские основания!

Мероприятия в СО РАН:
Создан Экспертный совет СО РАН по проблематике Парижского соглашения по климату. Письмо Министру природных ресурсов и экологии РФ Д.Н. Кобылкину (12.11. 2018).

Вклад ВИЭ в производство энергии в мире

Баланс по потреблению первичной энергии (2015 г.)

- Органическое топливо: 78,3%
- АЭС: 2,5%
- ВИЭ: 19,2% (ВИЭ без ГЭС и дров – 6,4%)

Баланс по производству электрической энергии (2015 г.)

- Органическое топливо: 59,3%
- АЭС: 17%
- ВИЭ: 23,7% (ВИЭ без ГЭС - 7,3%)

REN21

Доля ВИЭ по годам:
2003 г. – 2%
2015 г. – 7,3%
2020 г. – 11,2% (прогноз)

Вклад ВИЭ в производство электроэнергии в мире вырос от 2% в 2003 году до почти 10% сейчас, то есть, в 5 раз за 15 лет!

В России к 2020 году планируемый вклад ВИЭ в энергетику всего лишь 1%, то есть на порядок меньше среднемирового показателя.
Есть мнение о необходимости роста доли ВИЭ по установленной мощности до 5% к 2035 г., иначе мы отстанем навсегда, а возобновляемая энергетика не будет существовать как отрасль экономики .

Установленная мощность ВИЭ в мире: Вклад отдельных видов ВИЭ (2015 г.)

Источники	Электроэнергия, ГВт	Тепло, ГВт
Ветер	433	-
Фотоэлектричество	227	-
Солнечные ТЭС	4,8	-
Биомасса	106	-
Геотермальная энергия	13,2	-
Солнечные коллекторы	-	435

REN21

Солнечная энергетика

Фотоэлектрические преобразователи ФЭП

Наиболее динамичный рынок - прирост мощности 28% в год (!) в сравнении с 18% в целом по ВИЭ.
Установленная мощность более 500 ГВт.
В Германии в отдельные дни – 87% при мощности 55 ГВт!
КПД: монокр. 15 – 16% (24%)
поликрист. 12 – 13% (17%)
аморфный 8 – 10% (11%)
90% солнечных элементов используют c-Si.

Перспективы:
1. ФЭП на основе новых материалов, например, арсенида галлия – арсенида алюминия.
2. Тонкопленочные солнечные элементы на гибких подложках.
3. Перовскиты (PERC) – материал будущего (КПД 21,7%) с перспективой на гибкие подложки.

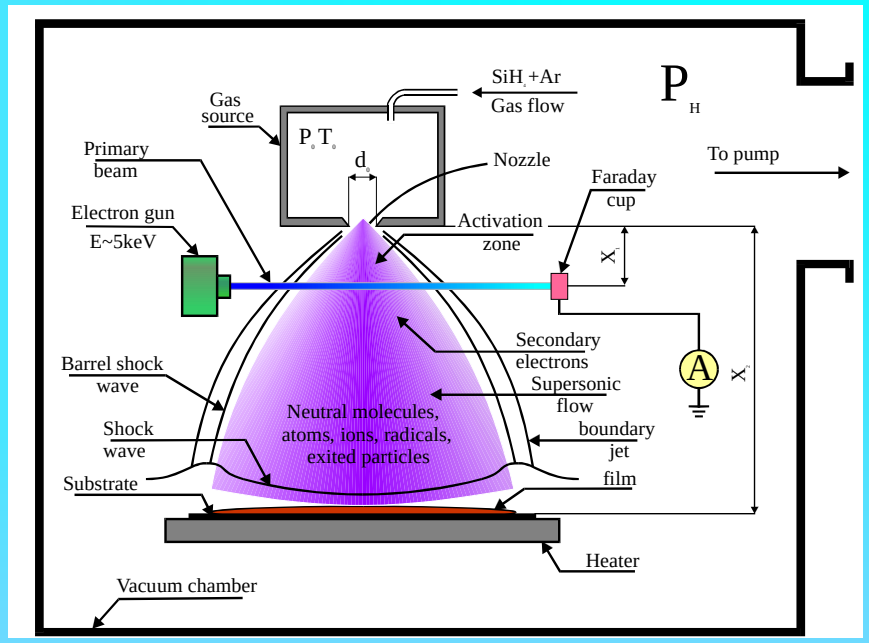
Мартин Грин, лауреат премии «Глобальная энергия» 2018 г. Объем продаж солнечных элементов PERC (КПД 23,6%) – 10 млрд. $, в 2040 г. – 1 трлн. $!

Для энергетики наиболее подходящим материалом является кремний.

Россия: Новочебоксарск – на основе предложений ФТИ РАН запущена линия по производству СЭ с КПД = 22,5% -Топ 3 в мире! (А.Чубайс, REENCON-2018).

Солнечная энергетика

Струйный плазмохимический метод (ИТ СО РАН)



ПРОЕКТ: «Разработка технологии, оборудования и организация производства тонкопленочных кремниевых солнечных модулей на гибких подложках производительностью 5 МВт в год и солнечных систем гражданского и специального применения на их основе».

Институт теплофизики СО РАН; Институт физики полупроводников СО РАН; ОИВТ РАН; ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН; ОАО «ТВЭЛ»; ОАО «Новосибирский завод химконцентратов»; ОАО «Лианозовский Электромеханический Завод»; «Солар Системс».

Выполнение ПРОЕКТА позволит организовать по полному технологическому циклу производство высококонкурентных фотоэлектрических модулей.

Геотермальная энергетика

Гидрогеотермальная энергетика (тепло подземных источников нагретой воды)
Петротермальная энергетика (тепло сухих пород с температурой до 350°С на глубинах 3–10 км)
Петротермальной энергии достаточно, чтобы навсегда обеспечить человечество энергией!

Геотермическая карта России

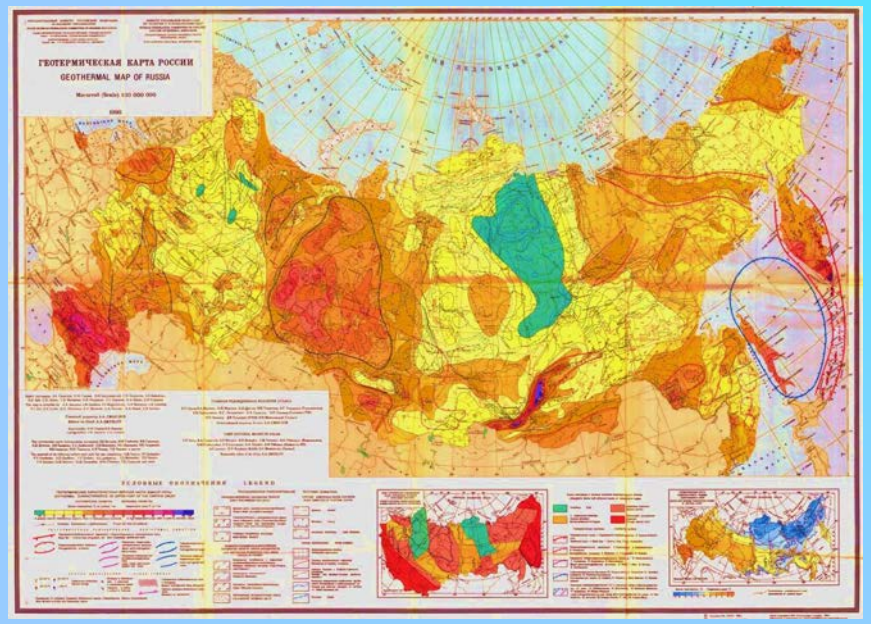
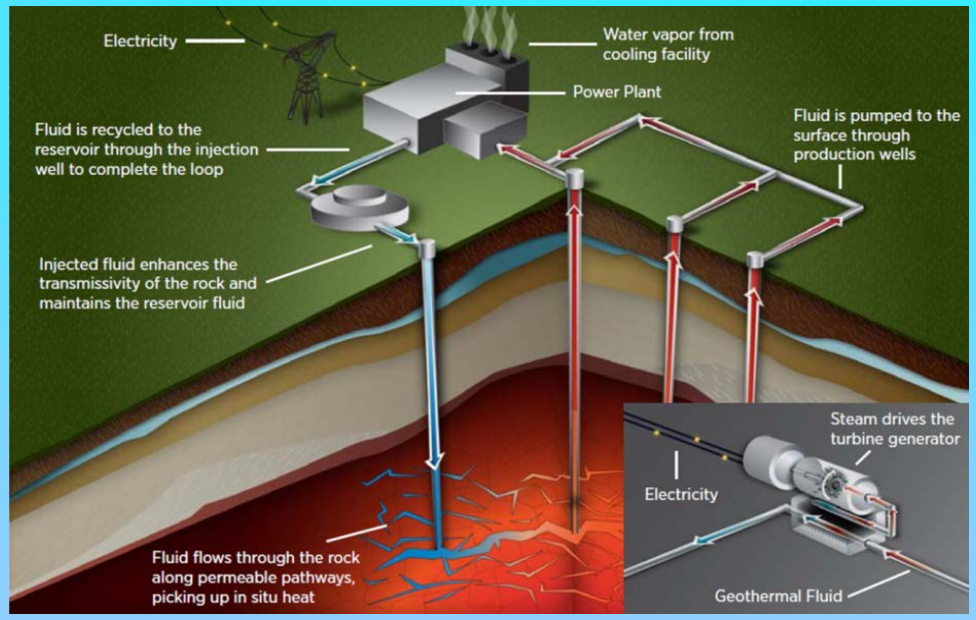


Схема утилизации глубинного тепла

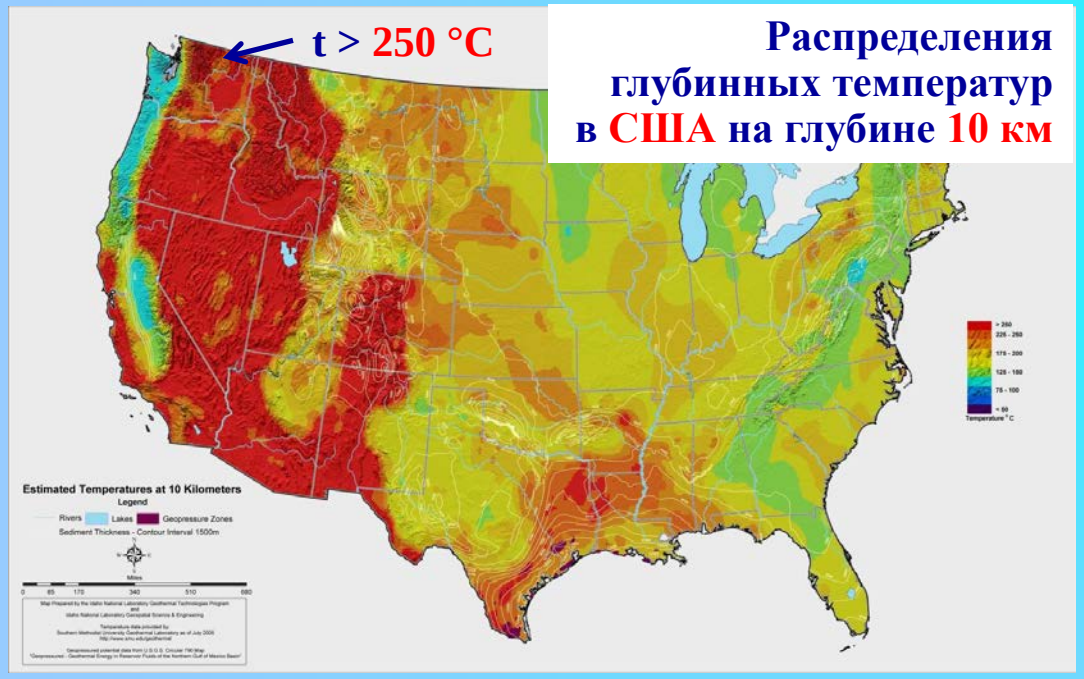


Всего было реализовано около 20 опытных систем, которые подтвердили техническую возможность извлечения глубинного тепла с глубин до 5,1 км.

Проблемы: 1. Глубинное бурение. 2. Проницаемый резервуар.

Геотермальная энергетика

Петротермальная энергетика в США



Распределения глубинных температур в США на глубине 10 км

В 2018 г. затраты на НИОКР:

Глубинное тепло - 51 млн. $

Традиционная гидротермальная энергетика - 18 млн. $

Низкотемпературная геотермальная энергетика (включая бинарные станции) – 8 млн. $

- **Извлекаемые запасы геотермальной энергии в США:**

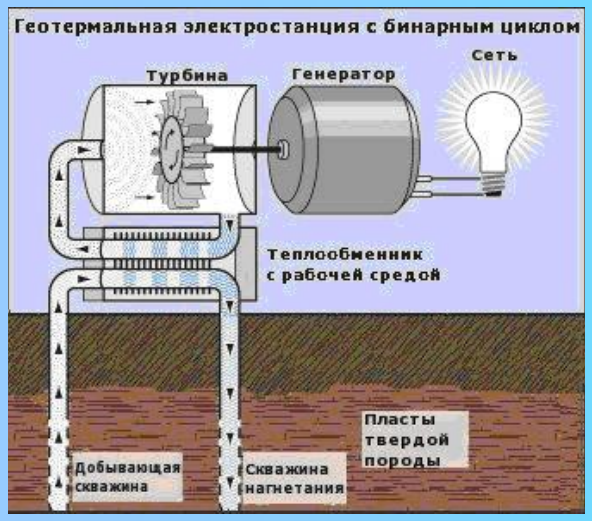
50 000 годовых потреблений энергии (!).
5 демонстрационных проектов по глубинному теплу.
В 2013 г. запущена первая коммерческая станция 1,7 МВт(э).

- **Планы:**

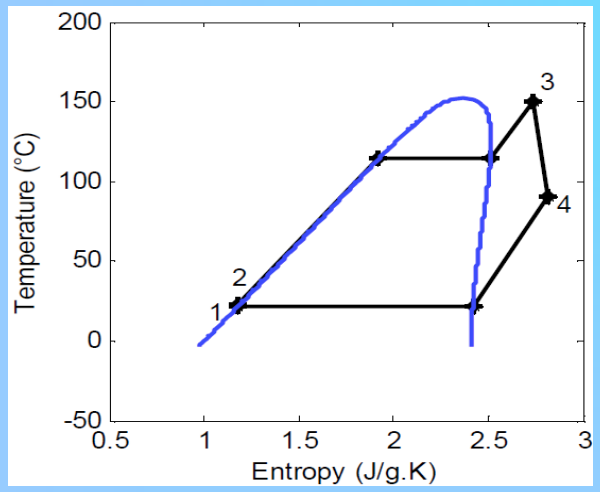
К 2030 г. достичь цены 6 ¢/kWh за геотермальную энергию.
К 2050 г. достичь уровня 100 ГВт (!) за счет глубинного тепла (10% установленной электрической мощности в США или 40% - в России).

Геотермальная энергетика

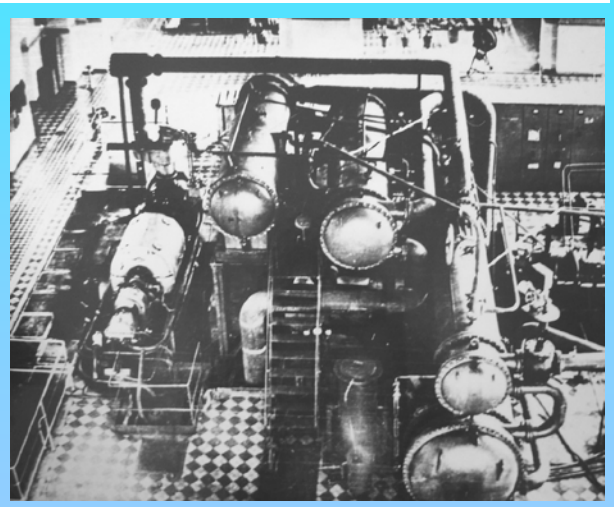
Бинарная ГеоЭС (*сегодня в России нет!*)



Паратунская ГеоЭС (1967)
Первая в мире Бинарная ГеоЭС
Разработчик *ИТФ СО АН СССР*
Авторы технологии: *С.С. Кутателадзе, Л.М. Розенфельд (1962)*
Впервые в мире применен бинарный цикл с фреоновой турбиной на фреоне R-12 для выработки э/э из геотермального источника:
Мощность 815 кВт, $t_{вода}$ = 80 °С.



Organic Rankine Cycle (ORC)



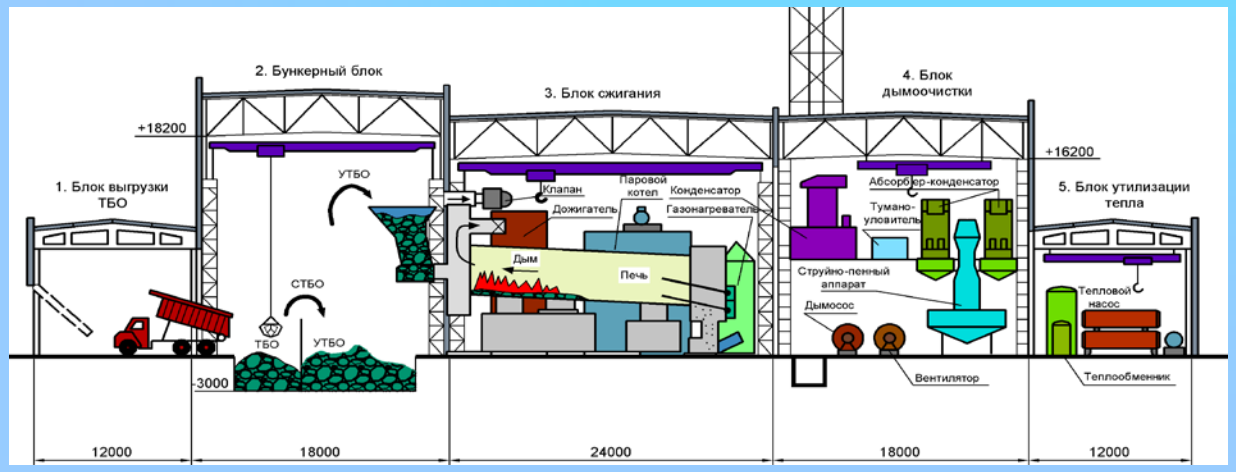
ORC эффективен при t = (80 – 400)^{0}C и мощности 1 кВт ÷ 10 МВт. В мире около 600 ТЭС на ORC общей мощностью 2 ГВт. Назначение: ВИЭ, тепловые выбросы.

Биомасса, включая отходы

Твердые коммунальные отходы (ТКО)

- Не существует **единой** универсальной технологии утилизации отходов.
- Мировая тенденция: **Waste-to-Energy.**
- **Термическое обезвреживание** – 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.
- **Экология**: Современные технологии позволяют утилизировать отходы на экологически приемлемом уровне, даже при сжигании (КРТС мощность 40 тыс. т. ТБО по выбросам эквивалентна **2 работающим КАМАЗам!**).
- Регламентирующие документы: «**Стратегия** развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года», утвержденная Правительством РФ 25.01.2018.

Предусмотрено создание системы **экотехнопарков** в сфере обращения с отходами, в том числе строительство **200** мусороперерабатывающих комплексов до 2024 г.

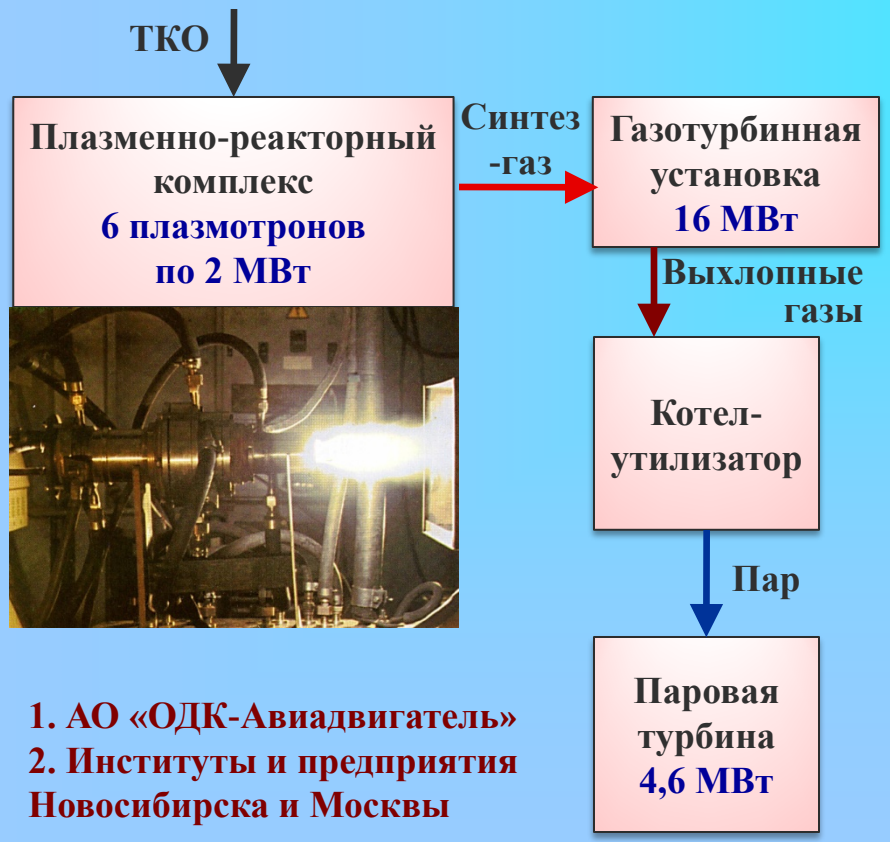


Комплексная районная тепловая станция (КРТС) 150 тыс. т ТКО в год

Биомасса, включая отходы

Твердые коммунальные отходы (ТКО)

Комплекс плазменной переработки ТКО с использованием газовых турбин 16 МВт на 127 000 тонн ТКО в год



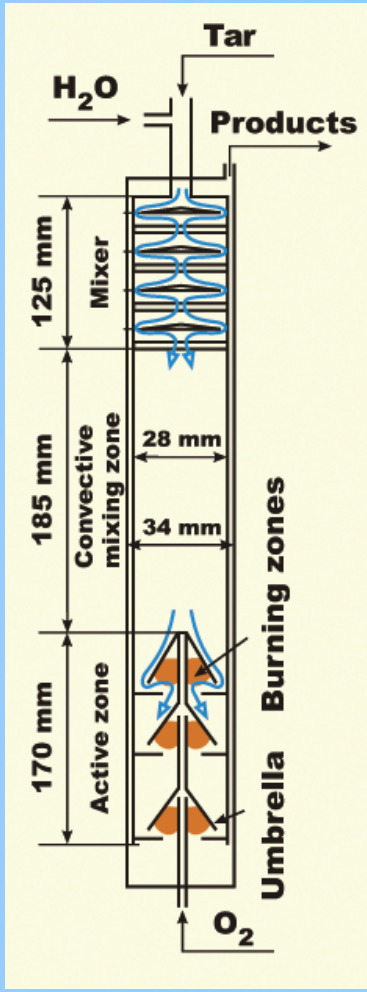
1. АО «ОДК-Авиадвигатель»
2. Институты и предприятия Новосибирска и Москвы

Автоматическая предварительная сортировка

Проект ФЦП: «Разработка программно-технических решений по созданию экологически и экономически эффективной технологии **сортировки** твердых бытовых отходов на основе искусственных **нейронных** сетей и **экспериментального образца сортировочного комплекса** для твердых бытовых отходов на базе создаваемой технологии». Сроки: **2018 – 2020 г.**
Исп.: **Институт теплофизики СО РАН.**

Биомасса, включая отходы

Конверсия органических веществ в сверхкритической воде (СКВ)



СКВ – активный растворитель органических веществ и кислорода (P >22 МПа, T >374°C)

Назначение:

***Конверсия органических веществ в жидкое углеводородное топливо (ЖУВТ)**

***Сжигание органических веществ с получением высокоэнтальпийных продуктов для энергетических установок.**

Органические вещества: **уголь, нефтяные остатки, биологические илы, канализационные стоки**

Проект для Новосибирска: **при утилизации сточных вод с долей органики 25% трубный реактор объемом 39 литров будет производить 70 кг/ч ЖУВТ. Расход сточной воды - 234 кг/ч. Пучок из 100 труб будет давать 7 т/ч жидкого топлива.**

Схема установки для конверсии гудрона в СКВ при P = 30 МПа, T = 750°C.
Продукты: CH4, C2H6, …

ИТ СО РАН

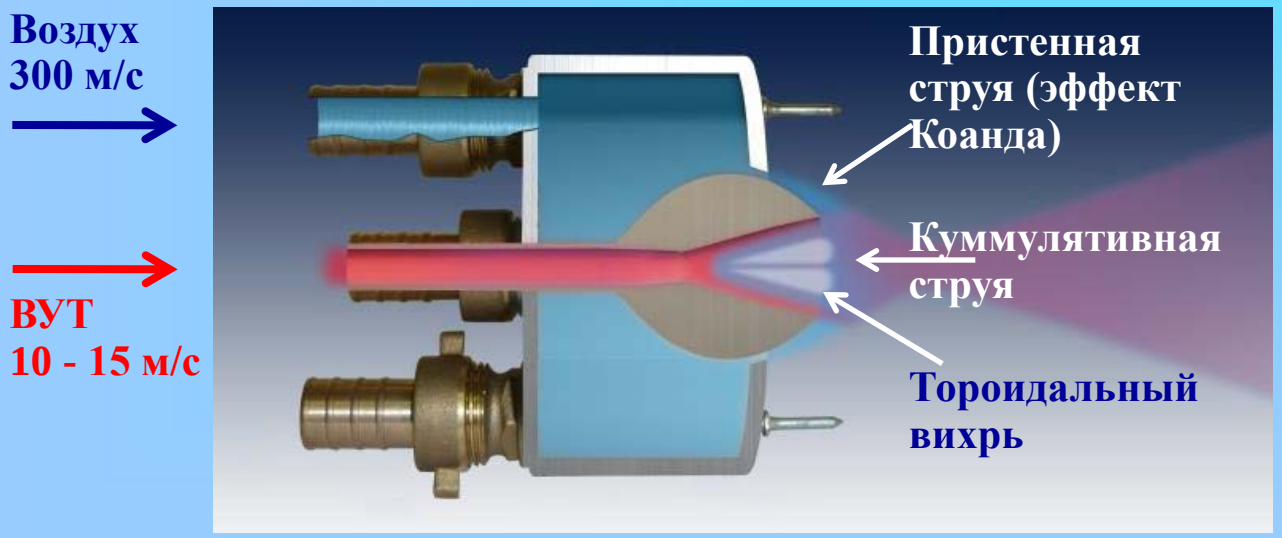
Биомасса, включая отходы

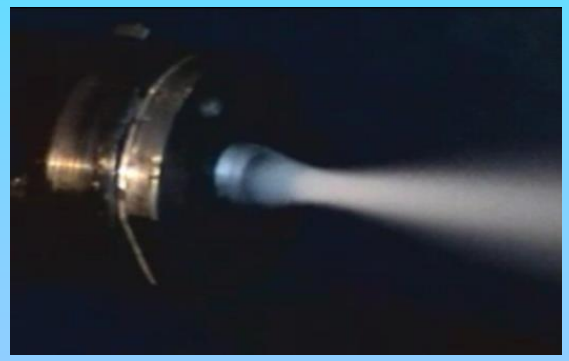
Водоугольное топливо (ВУТ)

В СФО 60 000 котельных с КПД до 30 - 50%. Перевод на ВУТ: КПД = 80 - 85%.

Развита технология получения ВУТ (65% угля) на основе шаровой мельницы и генератора кавитации с добавлением пластификатора. Размер угольных частиц около 50-70 мкм. Разработан метод сжигания ВУТ в вихревой камере с использованием оригинальной пневматической форсунки, созданной на основе эффектов Коанда и куммуляции.

ПЛАНЫ:
1. Испытания пилотного котла ВУТ мощностью 2 МВт в п. Барзас.
2. Запуск пилотного котла ВУТ мощностью 10 МВт на Дальнем Востоке.
3. Создание систем централизованного приготовления ВУТ с последующей его доставкой на котельные (до 100 км).
4. Сжигание угольных шламов на Кузбассе.



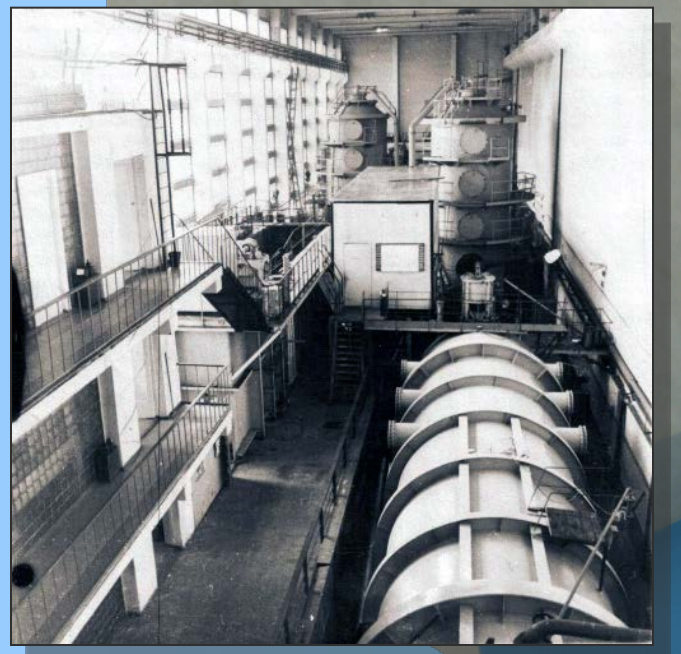


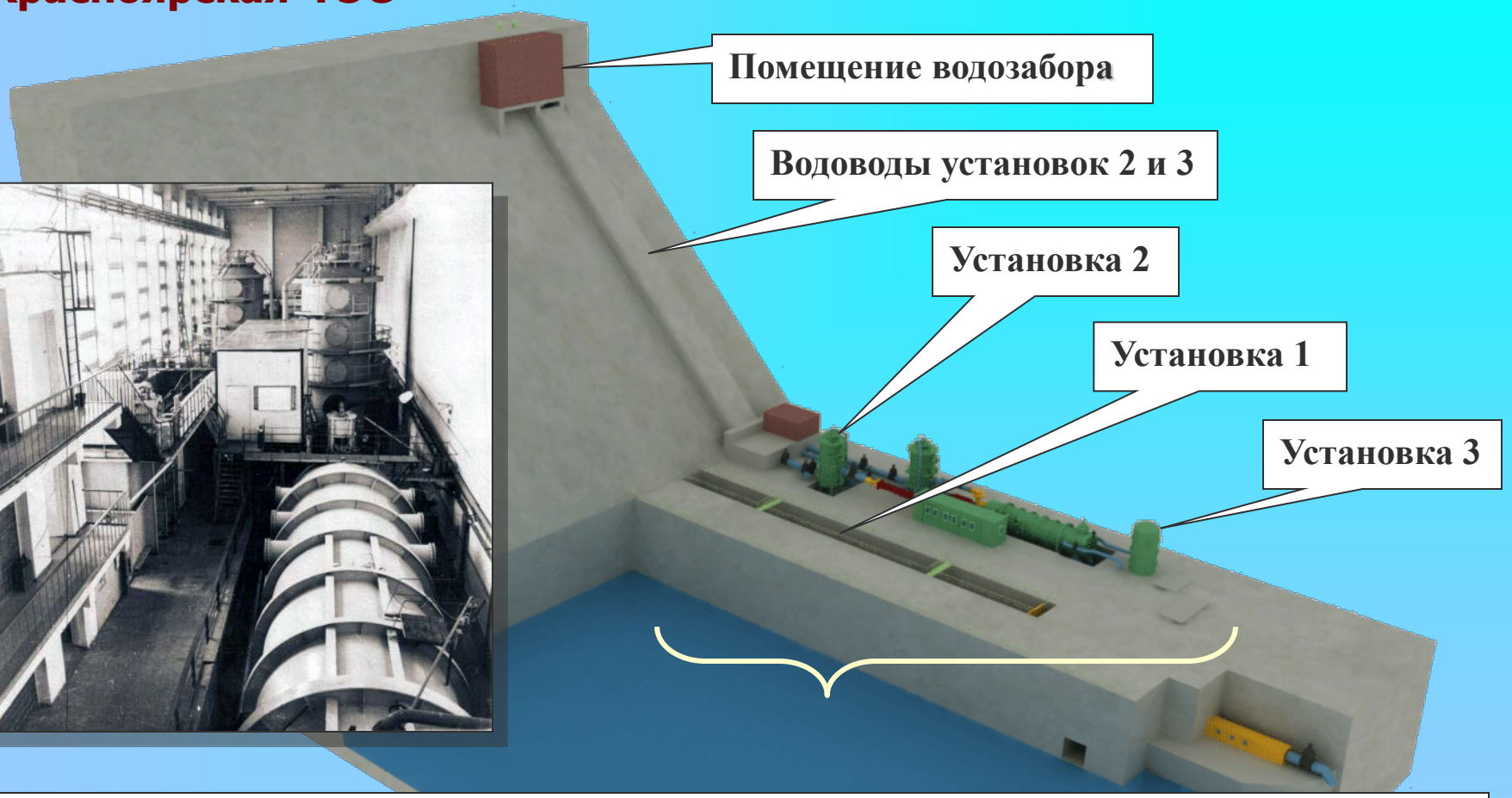
Пневматическая форсунка

ИТ СО РАН, «Теплопром»

Высоконапорная гидравлическая лаборатория - ВГЛ

Красноярская ГЭС





Лабораторная база ВГЛ включает в себя лабораторный зал с плановыми размерами 100×18 м и высотой 18 м, операторские помещения, три напорных водовода и комплекс экспериментальных установок. Напор 100 м, скорость потока до 45 м/с.

По параметрам ВГЛ не имеет аналогов в мире!

Низкопотенциальная энергетика

Тепловые насосы и холодильные машины

Потенциал энергосбережения России – 40 % общего энергопотребления !!!

Тепловые насосы – основа энергоресурсо-сбережения (экономия топлива – до 50%).

Теплонасосная установка 7 МВт, состоящая из двух абсорбционных бромисто-литиевых тепловых насосов АБТН-600Т с газовой топкой. (*ИТ СО РАН, «Теплосибмаш»*)

Предложения:
Разработка Федеральных и региональных программ по тепловым насосам и холодильной технике.

Потребность России в абсорбционных машинах - на сумму 2-3 млрд. руб./год.
Экономия топлива – до 500 млн. т у.т./год.

Парокомпрессионный тепловой насос для Байкальского музея (фреоны 12, 142В, озонобезопасные смеси).
(ИТ СО РАН, ВТК «Икар»)

Накопители энергии

Особенность ВИЭ:
Необходимость хранения энергии в самых разнообразных формах.

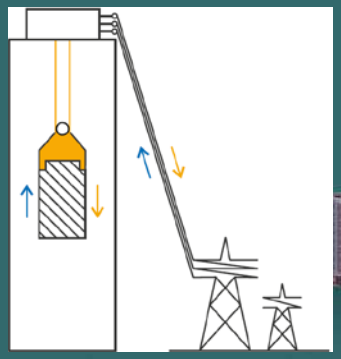
Технология	Ресурс, лет	КПД за цикл, %	Капитальные затраты, $/кВтч
ГАЭС (гидроаккумулирующая ЭС)	40-80	75-80	238-350
ТАЭС (твердотельная аккумулирующая ЭС)	50-60	>80	230-300
Электрохимические аккумуляторы	5-10	65-75	140-200
Твёрдотельные топливные элементы	10-20	30-35	190-500
Маховики	10-20	70-85	400-10 000
Суперконденсаторы	10-20	100	9 000-41 000

Накопители энергии

ТАЭС - твёрдотельная аккумулирующая электростанция

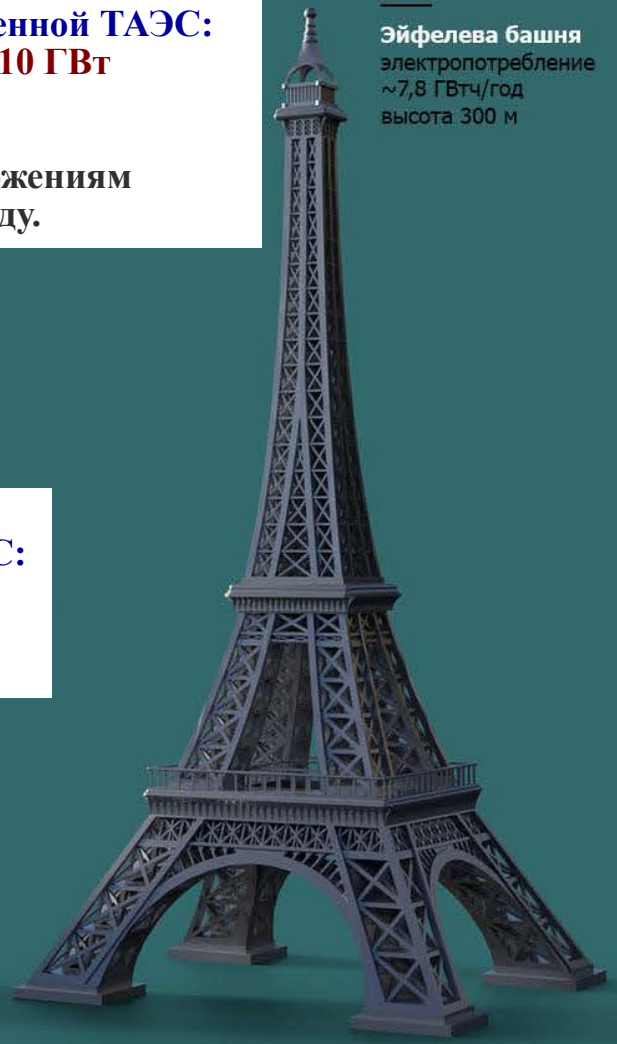
1. Прототип ТАЭС:
Мощность **10 кВт**
Емкость **0,8 кВтч**
Высота **20 м**

Энергозапас



3. Проект промышленной ТАЭС:
Мощность **50 МВт - 10 ГВт**
Емкость **4 - 10 час**
Высота **300 м**
Перспективы по вложениям **$4,85 млрд.** к 2035 году.

2. Проект Опытно-промышленной ТАЭС:
Мощность **3,6 МВт**
Емкость **420 кВтч**
Высота **80 м**



Накопители энергии

Топливные элементы

Топливные элементы на боргидридах

Первое в мире промышленное производство топливного элемента:
Компания: Medis Technologies Ltd.
Производство: Завод в Ирландии
Произв-сть: 1,5 млн. ед./месяц

Автоматизированная линия

Воздушно-алюминиевые топливные элементы

Мощность 100 Вт.
Сухой вес 1.9 кг.
Вес в активированном состоянии 3,8 кг.
Время непрерывной работы 11 - 12 часов.
Напряжение 14 – 24 В.
Энергоемкость 1200 Вт ч.
Удельная энергоемкость 300 Вт ч/кг.

ИТ СО РАН

Накопители энергии

Топливные элементы - конкурентные преимущества

	КТЭ боргидриды	КТЭ на алюминии	Li-аккуму-ляторы
Напряжение, В	0.7	1.2÷1.3	3.6
Удельная энергия, Вт·ч/кг	110	200÷300	150
Удельная мощность электродов, мВт/см^2	70	100÷120	-
Наличие драг. металлов	есть	нет	-

Проект РАН:

Разработка основ создания воздушно-алюминиевых источников тока для работы в условиях Арктики.

Полученные при выполнении проекта результаты позволяют перейти на следующем этапе к созданию экспериментальных образцов воздушно-алюминиевых источников тока с автоматическим поддержанием температуры электролита в ячейках в диапазоне оптимальных значений при низких отрицательных температурах окружающей среды.

Накопители энергии

Стационарный топливный элемент GenCell

1. Топливный элемент на водороде:
Цена 40 000$ не считая доставки.
1 стандартный баллон водорода - 3 часа работы, 4 кВт.
Электролит: раствор KOH
Диапазон температур: -40°C …+45°C

2. Топливный элемент на аммиаке: 75% H2 + 25% N2
3 кг аммиака ⟶ 5 кВт час.

$$\begin{cases} NH_3 + O_2 \longrightarrow N_2 + H_2O + Q \\ NH_3 \longrightarrow N_2 + H_2 - Q \end{cases}$$

Предложения: Организация производства в России

ИТ СО РАН

Нормированная себестоимость производства электроэнергии в США (2020 г.)

Сравнение энергетических технологий

Тип электростанции	Себестоимость, цент/кВт*ч
Природный газ – *обычные*	7,5
Угольные *обычные*	9,5
Природный газ – *усовершенствованные*	10,0
Угольные *усовершенствованные*	14,4
Атомные *усовершенствованные*	9,5
ГЭС	8,4
Ветровые	7,4
Фотоэлектрические	12,5
Биомасса	10,0
Геотермальные	4,8
Петротермальные (2030 г.)	6,0

Безруких П.П. и др. (2016)

Предложения по развитию возобновляемой энергетики в России

Считать целесообразным развивать следующие направления в виде комплексных научно-технических программ или проектов:

1. **Технологии получения поликристаллического кремния солнечного качества и организация производства кремниевых солнечных модулей, в том числе на гибкой подложке.**
2. **Автономные источники энергии на базе ветроэлектрических установок, включая гибридные ветро-дизельные электростанции, в том числе для арктических условий.**
3. **Технологии геотермальной энергетики, предусматривающие развитие бинарных станций и освоение глубинного тепла в перспективе.**
4. **Комплексные системы обращения с ТКО (твердые коммунальные отходы), включающие методы термического обезвреживания и выработку тепловой и электрической энергии.**
5. **Технологии низкопотенциальной энергетики на базе термотрансформаторов (тепловых насосов и холодильных машин).**
6. **Комплексные научные исследования причин изменения климата в свете принятия решений по Парижскому соглашению и выработке рекомендаций по структуре и развитию топливно-энергетического комплекса страны.**

Спасибо за внимание!