



Татарстанский энергетический форум «ЭНЕРГОПРОМ»

*Международная научно-техническая конференция
«80 лет атомной промышленности Российской Федерации»*

Атомно-водородные технологии на базе ВТГР

Петрунин Виталий Владимирович

Первый заместитель генерального директора-
генерального конструктора АО «ОКБМ Африкантов», д.т.н.,
профессор

Маров Игорь Викторович

Главный конструктор промышленных, высокотемпературных
и исследовательских РУ АО «ОКБМ Африкантов»

Фатеев Сергей Анатольевич

Начальник бюро технико-экономического сопровождения
проектов и экономики жизненного цикла РУ
АО «ОКБМ Африкантов»

Пугина Анна Юрьевна

Инженер конструктор бюро схем и режимов
АО «ОКБМ Африкантов»

Пономарев-Степной Николай Николаевич

Научный консультант Генерального директора
АО «Концерн Росэнергоатом»
Научный руководитель ПННТР «Водородная
энергетика» Госкорпорации «Росатом»,
д.т.н., академик РАН

02 - 04 апреля 2025 года,

Республика Татарстан, Международный Выставочный центр «Казань Экспо»

Выработка ~ 2555 млн МВт · ч

Электрическая энергия*
1150 млн МВт · ч₃ (**45%**)

ТЭС
721 млн МВт · ч₃
62,7%
(**28,2%**)

АЭС
218 млн МВт · ч₃
18,9%
(**8,5%**)

ГЭС
202 млн МВт · ч₃
17,6%
(**7,9%**)

ВИЭ
9 млн МВт · ч₃
< 0,8%
(**< 0,4%**)

Тепловая энергия**
1208 млн Гкал (**55%**)

ТЭЦ
528 млн Гкал
44%
(**24%**)

Котельные
680 млн Гкал
56%
(**31%**)

Показатели* АЭС
согласно Генеральной схеме размещения
объектов электроэнергетики до 2042 года

Наименование	2023 г.	2036 г.	2042 г.
Мощность АЭС, ГВт	29,6	37,5	47,0
Выработка э/э АЭС, млрд кВт · ч	218	280	351
Потребление э/э всего, млрд кВт · ч	1150	1405	1464
Доля АЭС в электроэнергетике, %	18,9	19,9	24
Доля АЭС в общем потреблении, %	~ 8,5	~ 10	~ 12

- Энергии нужно ~ **45** % электрической и ~ **55** % тепловой.
- Атомная энергия присутствует только в электроэнергетике ~ **19** % (~ **8,5** % в общем потреблении энергии).
- К 2042 году поручено довести долю атомной энергии в электроэнергетике до **24** % (~ **10** % в общем потреблении энергии).
- В тепловой энергии сегодня атомная энергия **отсутствует** и нет планов по освоению этого сектора.

* Распоряжение Правительства РФ от 30 декабря 2024 г. № 4153-р «Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2042 года»;
** Материалы РЭА Минэнерго «ОТЧЕТ о состоянии теплотехники и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2021 году»;

Потребление тепла в России



В тепловой энергии **44 %** это ТЭЦ и **56 %** котельные, низкопотенциальное тепло ~ **35 %**, высокопотенциальное ~ **15 %**.

Для низкопотенциального сектора нужны установки типа **АСТ-500** (условная оценка: мощность сектора ~ **50 ГВт** → это ~ **100** блоков).

Для сектора высокопотенциального тепла (t до **1000 °C**) необходима разработка и **промышленное освоение ВТГР** (объем рынка ~ **20 ГВт** → это ~ **100** блоков)

Тепловая энергия*
1208 млн Гкал

528 млн Гкал (**44%**)
ТЭЦ

680 млн Гкал (**56%**)
Котельные

572 млн Гкал (**48%**)
Промышленность

487 млн Гкал (**40%**)
Население

149 млн Гкал (**12%**)
Прочее

255 млн Гкал (**21%**)
машиностроение, пищевая промышленность, прочее

317 млн Гкал (**27%**)
нефтепереработка, химия и нефтехимия, металлургия

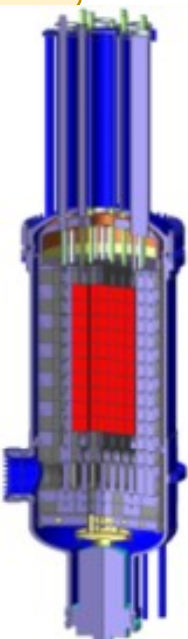
I. Что из этого следует?

160 млн Гкал (**13%**)
Высокопотенциальное тепло

Мощность установок
> **20 ГВт (т)**

100 бл.
ВТГР-200

Для технологических процессов увеличения температуры пара на заводах прибегают к **дополнительному перегреву пара** после турбины за счёт электрического или огневого подогрева в технологических установках

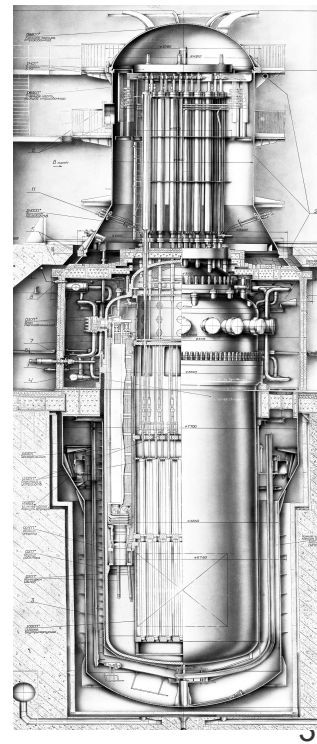


412 млн Гкал (**35%**)
Низкопотенциальное тепло

Мощность установок
> **50 ГВт (т)**

100 бл.
АСТ-500

Мощность тепловых станций, работающих на выработку низкопотенциального тепла, оценивается более **50 ГВт_т**

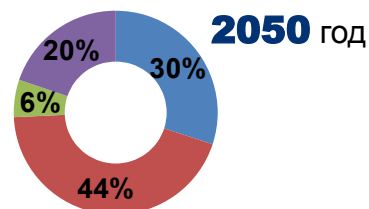
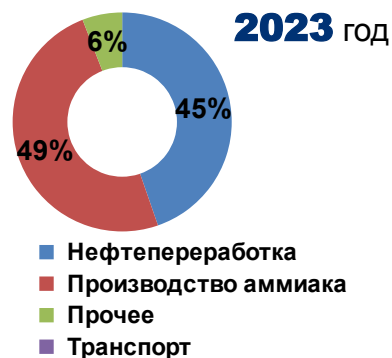
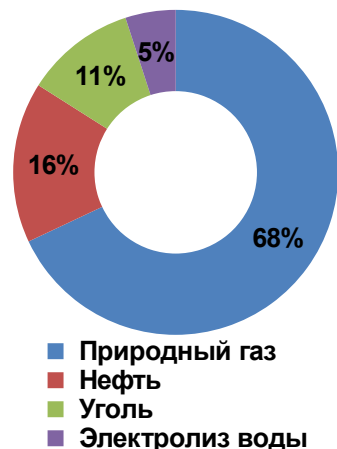


Структура производства водорода в мире и в России



СТРУКТУРА производства H_2 в мире

СЫРЬЕ для производства H_2



▶ **Сегодня в мире производится** ~ **75** млн тонн H_2 в год
(**в России** ~ **5** млн тонн H_2 в год).

▶ **98 % H_2 производятся на местах** и тут же потребляется (идёт в дело),
никуда не транспортируется.

▶ **Прогноз на 2030 год:** будет производиться **100** млн тонн H_2 .

▶ **Прогноз на 2050 год:** будет производиться **400** млн тонн H_2 .

▶ **Транспортный сектор потребления H_2** увеличится с **0,02 %**
до ~ **14 %** (**14** млн тонн) к 2030 году и ~ **20 %** (**80** млн тонн) к 2050 году.
Водород для данного сектора в основном будет производиться за счет электролиза.

▶ **ОСНОВНОЙ СПОСОБ производства H_2 → ПКМ.**
Причем в России всё оборудование → **ИМПОРТНОЕ.**

▶ **Сегодня в мире сжигается** при производстве H_2 (для поддержания температуры процесса производства H_2) **100** млрд. m^3 /год **природного газа** (**70** млн тонн/год).

В России → **11,2** млрд m^3 /год CH_4 (**7,8** млн тонн/год) на **2,5** млрд \$/год при условии продажи природного газа за рубеж по **320** \$/тонну.

▶ **Выбросы CO_2 в атмосферу** при производстве H_2 **сегодня в мире оцениваются** ~ **830** млн тонн/год.
В России → **7,5** млн тонн/год

Документы на основании которых ведутся работы по АВ технологии



- 2019 г.  **Паспорт ФП4 КП РТТНИ** до 2030 г. в части мероприятий по задаче «Разработка технологий атомно-водородной энергетики для крупномасштабного производства и потребления водорода».
- Приказ Минэнерго РФ и Госкорпорации «Росатом» от 25.12.2019 № 30@/1/1472-П** об утверждении инвестиционной программы АО «Концерн Росэнергоатом» на 2021-2025 гг.
-  **Решение ГК «Росатом» от 22.04.2020 № ИП-II.В.8.4.1-2020-1** о включении инвестиционного проекта «НИОКР по технологиям АВЭ для крупномасштабного производства и потребления водорода» в инвестиционную программу капитальных вложений АО «Концерн Росэнергоатом».
- 2023 г.  **Соглашение о намерениях от 16 января 2023 г.** между Правительством Российской Федерации и Госкорпорацией «Росатом» в целях развития высокотехнологичного направления «Развитие водородной энергетики»

11.2021 Решение президиума НТС ГК «Росатом»:

-  - Считать разработку атомной энерготехнологической станции (АЭТС) на основе высокотемпературного газоохлаждаемого реактора (ВТГР) одним из приоритетных направлений ... ;
- Признать необходимым разработку перспективных материалов и оборудования ... ;
- Продолжить НИОКР по отработке технологий низкоуглеродного производства водорода на основе паровой конверсии метана и поисковые работы с перспективой создания опытно-промышленных установок для эффективного использования высокопотенциального тепла ВТГР.

03.2024



Решение совместного заседания НТС №1 ГК «Росатом» и НТС АО «Концерн Росэнергоатом»:

- Одобрение технического проекта РУ ВТГР.

06.2024



Решение НТС №5 ГК «Росатом»:

- Одобрить результаты разработки ХТЧ АЭТС;
- Рекомендовать продолжить выполнение НИОКР по ХТЧ АЭТС.

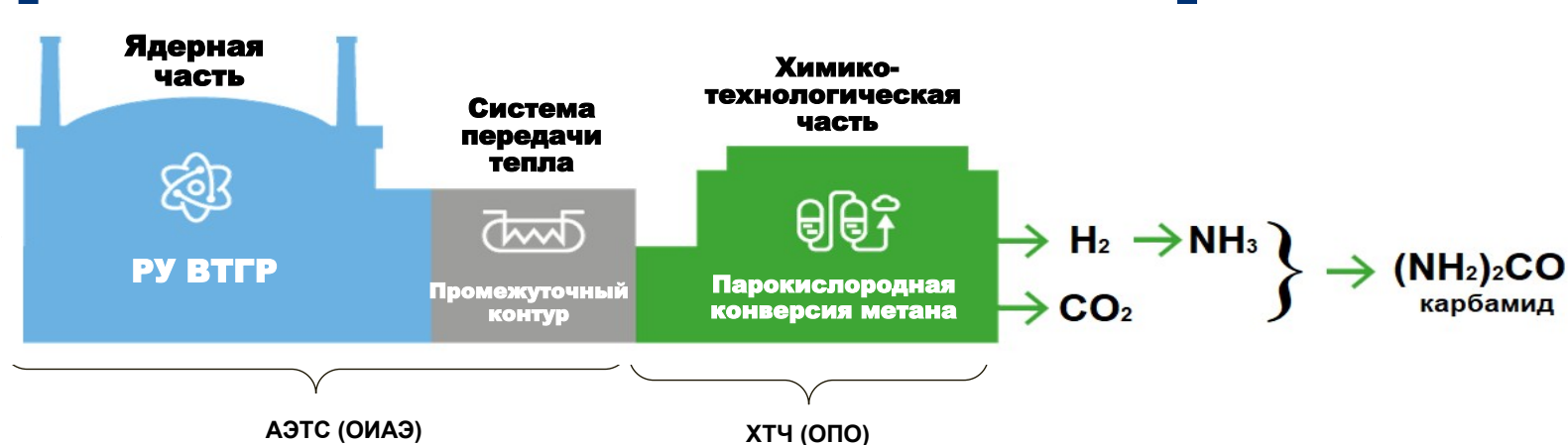
07.2022



Распоряжение ГК «Росатом» №1-8/458-Р о создании межотраслевой РГ по формированию нормативной базы для разработки проекта АЭТС:

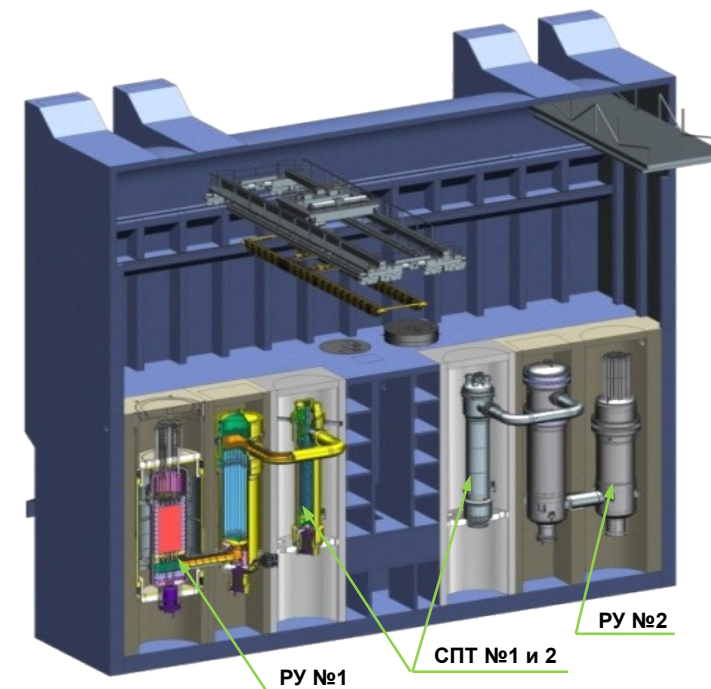
- Одобрен проект изменений НП-001-15. Утверждены ТЗ на разработку проекта изменений в НП-082-07. Ростехнадзор выполняет работы по внесению изменений НП. ГК «Росатом» - работы по внесению изменений ФНП.
- Мероприятия по формированию нормативной базы проекта АЭТС с ВТГР и ХТЧ включены в Дорожную карту развития водородной энергетики, утвержденную на уровне Правительства РФ.

Структурная схема незлектрического применения атомной энергии



Текущий статус работ

1. Разработан ТП РУ ВТГР (проект РУ ВТГР разработан на основе имеющейся нормативной базы для АЭС)
2. Определен потенциальный потребитель
3. Определена площадка размещения
4. Организовано взаимодействие с ФБУ "НТЦ ЯРБ" по обеспечению формирования нормативной базы для разработки проекта АЭТС
5. Завершение НИОКР – 2028 г.



Компоновка двух РУ в реакторном здании

Объем производимой продукции АЭТС на базе одного блока ВТГР (один из указанных продуктов) при КИУМ 0,9:

Водород ~ **163** тыс. тонн/год; Аммиак ~ **818** тыс. тонн/год; Метанол ~ **875** тыс. тонн/год; Карбамид ~ **1 445** тыс. тонн/год;

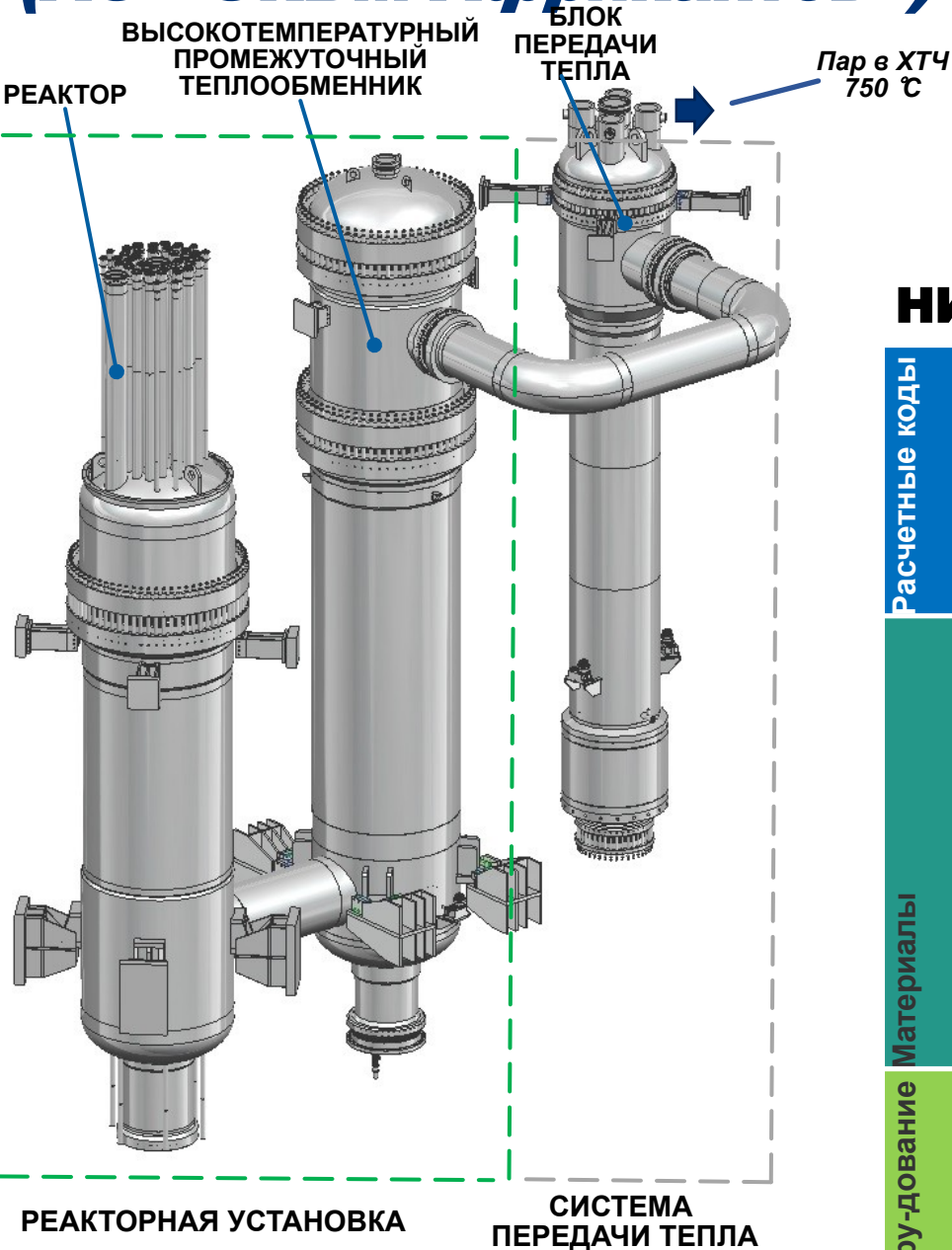
Железо **1,6** млн тонн/год (металлургическая промышленность: прямое восстановление железа водородом);

Этилен **0,5** млн тонн/год (нефтеперерабатывающая промышленность: производство этилена из углеводородного сырья).

Технология ВТГР позволяет выйти на уровень $t = 850-1000$ °С для применения источника высокопотенциального тепла в промышленности: химической, включая удобрения; металлургической; нефтеперерабатывающей и др. замещая ископаемое топливо.

Подписано СОГЛАШЕНИЕ о сотрудничестве и взаимодействии по реализации проекта АЭТС с ВТГР и ХТЧ между Правительством Республики Татарстан и АО «Концерн Росэнергоатом» от 05.12.2023 № 9/287164-Д

Реакторная установка ВТГР с СПТ (АО «ОКБМ Африкантов»)



Тепловая мощность, МВт
Теплоноситель
Температура (гор. /хол.), °С
Давление (абс.), МПа
Расход, кг/с

200
Гелий
850 / 330
4,0
73,9

НИОКР в обоснование ВТГР

Расчетные коды	Flow Vision, DORT, TORT, ORIGEN, комплекс ПРИЗМА и РИСК, MCU – HTR, РАСНАР-ГАЗ, комплекс JAR-HTR-WIMS, комплексная программа JARWT		Верификация и работы по аттестации расчетных кодов.
	Жаропрочный ХН55МВЦ (ЧС57)	сплав	Отработка технологии изготовления и сварки требуемого сортамента. Получение характеристик длительной прочности (до 5×10^5 часов). Проведение аттестационных испытаний (до $t = 950^\circ\text{C}$) сплава и его сварных соединений.
	Графит		Доработка технологии изготовления крупногабаритных графитовых заготовок. Исследование физико-механических, теплофизических и ядерных свойств в интервале температур от 20°C до 1600°C . Проведение аттестационных испытаний.
	Теплоизоляция		Исследование физико-механических, теплофизических, ядерных свойств, пыле- и газовыделений теплоизоляционных материалов.
ру-дование	Реактор, ИМ СУЗ, приводы РСО, ГЦК, ЦК, ЦК СООР, ИПУ, ТС ВПТ, ТС ВТТ, кассета ПГ, КМСПТ		Расчётно-экспериментальное подтверждение работоспособности и проектных характеристик на опытных образцах, проведение приемочных испытаний.

Характерные особенности ВТГР, влияющие на безопасность



Теплоноситель всех существующих ВТГР – гелий

Свойство / особенность	Влияние на безопасность
Теплоноситель: ГЕЛИЙ – инертный газ	
Фазовое состояние теплоносителя в аварийных ситуациях не изменяется	Отсутствует проблема водородной безопасности, характерная для ВВЭР (пример – Фукусима)
Не вступает в реакции с конструкционными материалами, воздухом и водой (химически инертен)	Отсутствуют коррозионные процессы конструкционных элементов РУ, контактирующих с теплоносителем
Не активируется при облучении в активной зоне (активность теплоносителя обусловлена примесями и выходом радиоактивных веществ из микротвэл)	Обеспечивается низкая активность теплоносителя
Оказывает минимальное влияние на баланс нейтронов в реакторе в связи с малыми сечениями поглощения и рассеяния нейтронов	Исключается возможность неконтролируемого роста мощности реактора при изменении плотности или потере теплоносителя в аварийных условиях
Отсутствует генерация водорода в первом контуре РУ ВТГР	При разгерметизации первого контура образование пожаро-взрывоопасных концентраций водорода предотвращается ограничением взаимодействия с окислителем (компоновка, локализующие меры, гелиевый теплоноситель)
Топливо: микротвэл TRISO, материал – ГРАФИТ	
Микротвэл с четырехслойным покрытием	Обеспечивает удержание продуктов деления внутри микротвэла при t до 1600°C
Графит не плавится: - сохранение прочности до t=2500 °C - сублимация графита при t>3700 °C	Гарантированно исключено плавление активной зоны
Высокие теплопередающие свойства графита (температуропроводность, теплопроводность) высокая теплоемкость графита (большая инерционность теплофизических процессов) при энергонапряженности активной зоны ~ 6 МВт/м³	Может быть обеспечен пассивный отвод остаточных тепловыделений от активной зоны через корпус реактора к СОШР за счет естественных физических процессов теплопроводности, излучения и конвекции без превышения температурой топлива 1600°C

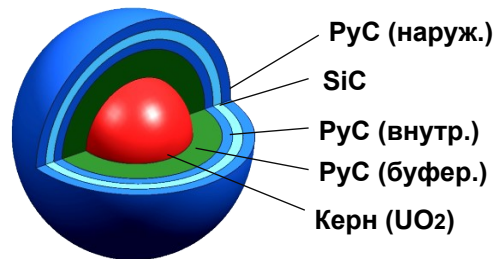
Топливо и ТВС

(АО «НИИ НПО ЛУЧ», АО ГНЦ «НИИАР», АО «ИРМ»)



Микротвэл**

Представляет собой сферический топливный керн с многослойным покрытием типа TRISO.



Микротвэл



Топливные компакты

Топливный компакт

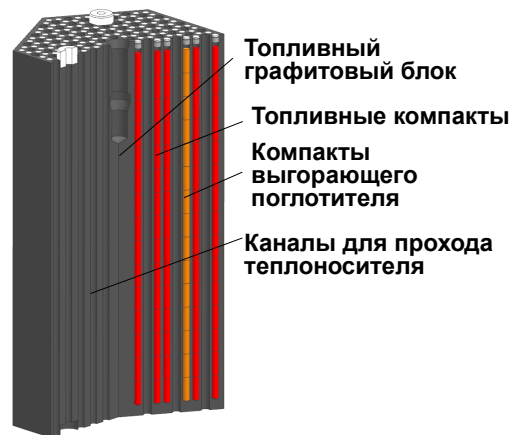
Представляет собой графитовую матрицу с распределёнными по её объёму микротвэлами.

Основные технические решения по а.з.:

- ✓ формируется шестигранными призматическими ТВС
- ✓ цилиндрическая конфигурация

Основные технические решения по ТВС

- ✓ Конструкция ТВС в виде гексагональной призмы
- ✓ Конструкционный материал ТВС – графит высокой плотности.
- ✓ ТВС содержит глухие отверстия для размещения топливных компактов и сквозные каналы для прохода теплоносителя.



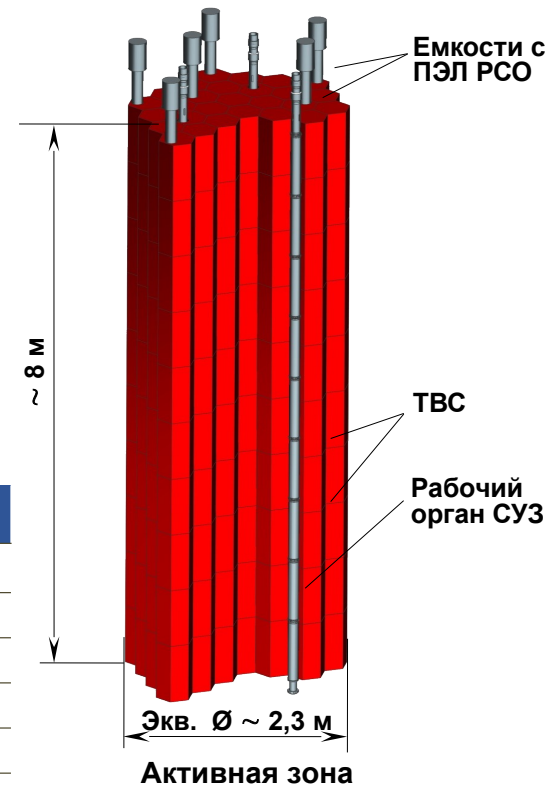
ТВС

Основные характеристики*	Значение
Масса ТВС, кг	~ 122
Высота ТВС, мм	~ 800
Размер по ключ ТВС, мм	~ 360

НИОКР

Активная зона	ТВС, ПЭЛ РСО, компакты выгорающего поглотителя, РО СУЗ из углеродного материала
Топливо	Микротвэл, топливный компакт

Основные характеристики*	Значение
Топливо	UO ₂
Обогащение по ²³⁵ U, %	~ 18
Загрузка топлива, т	1,315
Энергонапряженность, МВт/м ³	~ 6
Количество ТВС, шт.	370
Кампания, эфф. сут.	~ 800
Продолжительность перегрузки, сут.	~ 30



Отработка технологии изготовления элементов активной зоны.

Разработка опытно-промышленной технологии производства топлива с созданием оборудования пилотной линии. Расчетно-экспериментальное обоснование работоспособности МТ и ТК изготовленных по опытно-промышленной технологии.

* Материалы доклада Марова И.В. «АЭТС с ВТГР и ХТЧ. Программа НИОКР» на XII международной конференции по реакторному материаловедению, посвященной 60-летию материаловедческого комплекса АО «ГНЦ НИИАР» 1-5 июля 2024 года г. Казань и доклада «АЭТС с ВТГР и ХТЧ. Разработка и перспективы развития» на МНТК-2024.

** Ядерные энергетические установки с высокотемпературными модульными газоохлаждаемыми реакторами: монография в 2-х томах. В.В. Петрунин [и др.]; под общей ред. Н.Н. Пономарева-Степного; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2018.

Экспериментальная установка производства H_2 (АО «НИИ НПО ЛУЧ»)

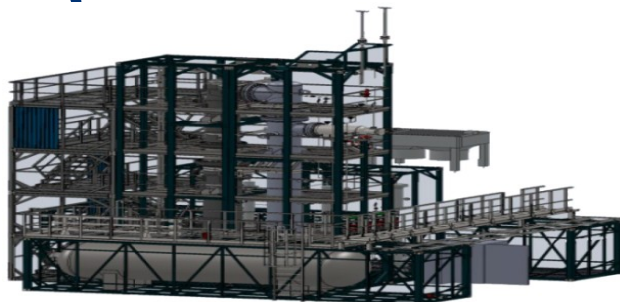


Лабораторная стендовая установка (ЛСУ),
производительность $\sim 1,5 \text{ м}^3 \text{ H}_2/\text{час}$

- ✓ Демонстрация технологии производства H_2
- ✓ Отработка технологических режимов
- ✓ проверка работоспособности катализаторов паровой конверсии метана
- ✓ Оптимизация технологической схемы генерации H_2

Отработка технологии производства H_2
производительностью $\sim 1,5 \text{ м}^3 \text{ H}_2/\text{час}$

Пуск 15.11.2021



Опытно-демонстрационная установка (ОДУ),
Производительность $\sim 150 \text{ м}^3 \text{ H}_2/\text{час}$ ($N \sim 400 \text{ кВт}$)

Назначение установок

- ✓ Отработка всех технологических стадий: сероочистка, паровой и парокислородный риформинг, конверсия CO , аминовая очистка, выделение H_2 на установке КЦА
- ✓ Подтверждение работоспособности катализаторов, адсорбентов и хемосорбентов

Цель создания установок

Подтверждение основных технологических решений, принятых на установке ХТЧ

Монтаж ОДУ. Пуск 2-3 кв. 2025



Опытно-промышленная установка (ОПУ),
производительность $\sim 207 \text{ тыс. м}^3 \text{ H}_2/\text{час}$ ($\sim 40 \text{ МВт}$)

- ✓ Промышленное производство H_2 и водородсодержащих продуктов
- ✓ Получения аммиака с концентрацией не менее 99,9 % масс, соответствующего ГОСТ 6221-90, марка «А»

Опытно-промышленная отработка технологии крупномасштабного производства H_2 и водородсодержащих продуктов

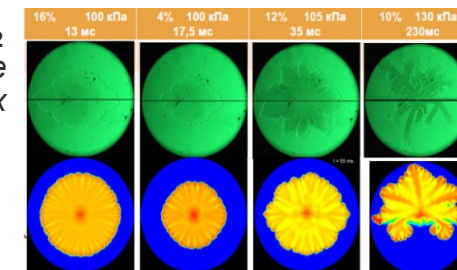
Научно-технические задачи по разработке технологии конверсии природного газа на ХТЧ

- ✓ Исследование кинетики и процессов тепломассообмена на экспериментальных стендах, валидация расчётных кодов и разработка конструкций высокотемпературного газообогащаемого трубчатого риформера и теплообменных аппаратов.
- ✓ Изучение рабочих процессов горения парометановых и водородсодержащих смесей, разработка и валидация расчётных кодов на экспериментальных стендах и разработка конструкции горелки-смесителя реактора парокислородного риформинга.
- ✓ Разработка технологий выделения H_2 , углекислого газа, благородных газов с использованием селективных мембран и адсорбентов.

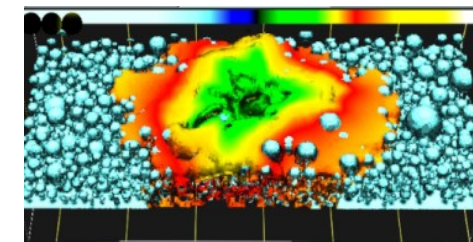
НИОКР в обоснование пожаро-взрывобезопасности водородо-содержащих смесей (ФГУП «РФЯЦ - ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина»)

Исследование проблемы обеспечения безопасности при производстве, хранении и транспортировке H_2 (НИР по системному обеспечению функционирования и безопасности водородной энергетики, включая проведение экспериментальных и расчетно-теоретических исследований в обоснование пожаро и взрывобезопасности технологических решений на объектах ХТЧ)

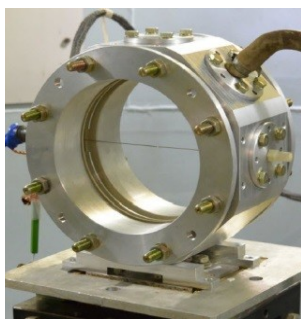
1. Разработана **стендовая база**: МУТ, МУТ-ТК, МУТ-ПК, КЭИП, БМ-Т, БМ-Л, БМ-К, БМ-У, СТРУЯ.
2. Разработана **Концепция обеспечения безопасности** при производстве, хранении и транспортировке **водорода на АС**.
3. Разработаны **методики и программы проведения экспериментальных исследований** и **проведены исследования**:
 - пределов распространения пламён вверх и вниз в гомогенных смесях водород-воздух на стенде МУТ;
 - горения гомогенных водородосодержащих смесей в зазоре между пластинами для нормальных условий на щелевой камере МУТ-ТК;
 - горения гомогенных водородосодержащих смесей в зазоре между пластинами для нормальных условий (на стенде «КАНАЛ»);
 - газодинамических характеристик струйных течений газов на установке БМ-Т.
4. Разработка, адаптация, верификация **расчетных моделей** и **выполнение расчетов** в области исследования и обоснования безопасности водородной энергетики



Результаты расчетов горения водородосодержащих смесей одним кодом без корректировки параметров моделей

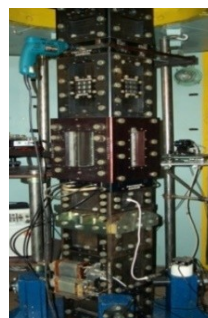


Расчет разлива криогенной жидкости на поверхность



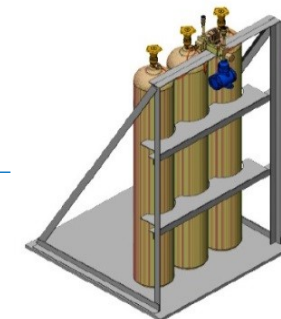
МУТ-ТК – верификация модели шаровых пламён, разработка средств противодействия горению, определение критериев гашения пламён

КЭИП – определение концентрационных пределов, модель пределов



МУТ – определение пределов распространения пламён, верификация модели шаровых пламён

БМ-Т – пределы ускорения пламён в однородных смесях, модель ускорения пламён, горение при 8-13 %



СТРУЯ – определение длины струи под давлением, термическое воздействие струи

Научно-исследовательские работы по другим технологиям

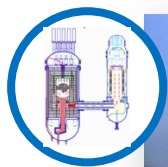
Электролиз воды	
✓ Разработка типоразмерного ряда электрохимических установок (электролизер с анионообменной мембраной, технология электролиза на анионопроводящей матрице, на проточной щелочи)	ООО «НПО «Центротех»
✓ Технология производства H_2 методом высокотемпературного электролиза воды на твердооксидном электролите, изготовление и испытания макетного образца ЭлУ на ТОЭлЭ	
Пиролиз метана	
✓ Низкотемпературное плазменно-каталитическое разложение метана	НИЦ «Курчатовский Институт»
✓ Обеспечение реализации пилотного проекта по низкоуглеродному производству водорода на основе полностью отечественной технологии пиролиза природного газа	
✓ Разложение метана в расплавленных металлах	НИЦ «Курчатовский Институт»
Топливные элементы	
✓ Технология электрохимической генерации электроэнергии на топливных элементах с твердооксидным электролитом, изготовление и испытания опытного образца ЭХГ-ТОТЭ	
✓ Создание полимерной протонпроводящей мембраны для низкотемпературных топливных элементов	
Технологии хранения водорода	
✓ Технология металлгидридного хранения водорода (Разработка технологии и изготовление образца металлгидридной установки для аккумулирования водорода)	
Другие технологии	
✓ Алумоводная технологии получения H_2 (Разработка, создание и проведение ресурсных испытаний узлов ввода и вывода реагентов для пилотной установки получения водорода по алумоводной технологии)	
✓ Технология изготовления анионообменных мембран на основе пористых матриц с высокой ионной проводимостью	ИОНХ РАН Институт общей и неорганической химии Российской академии наук
✓ Создание мембранной технологии получения сверхчистого H_2 (мембраны из непалладиевых сплавов на основе ванадия)	СПбГУТ Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна

Что происходит в мире по атомно-водородной теме?

В мире активно проводятся работы по реализации водородных проектов с использованием атомной энергии – в Китае, Японии. Агентство по атомной энергии Японии (JAEA) и Mitsubishi Heavy Industries **запустили совместный проект по производству H_2** с использованием действующего газоохлаждаемого реактора **HTTR-30** (на производство H_2 методом ПКМ будет направлено 2 МВт тепловой мощности РУ 30 МВт). Ведомство уже разработало технологические элементы для производства водорода (ПГ). 2026-2028 год изготовление оборудование, далее испытания и пуск в 2030 году.

Лидирующее положение в практической реализации подобного проекта занимает КНР.

Китайская корпорация CNNC получила 19 августа 2024 года добро от Госсовета КНР на реализацию проекта по строительству первой очереди АЭС Хуэй (Сюйвэй) в провинции Цзянсу на востоке страны. Планируется построить блок **HTR-PM600** с шестью ВТГР по **250** МВт для выработки промышленного пара для нефтехимической промышленности.



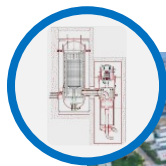
HTTR-10



Испытательный реактор

Пуск осуществлен в **2000** г.

Тепловая мощность, МВт	10
Температура на входе, °C	250-300 (до 350)
Температура на выходе, °C	700 (до 950)



HTR-PM

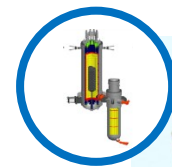


Демонстрационный проект

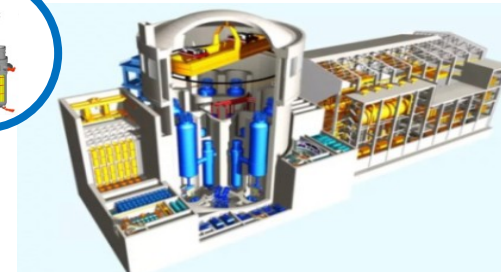
Реализован на АЭС «Шидаовань».

Пуск осуществлен в **2023** г.

Физпуск 1-го реактора – 12.09.2021 г., 2-го – 13.11.2021	
Тепловая мощность, МВт	2×250
Электрическая мощность, МВт	211
Температура 1 к. на выходе, °C	750
Температура пара, °C	567



HTR-PM600



Сооружение на АЭС «Сюйвэй» для нефтехимического завода (г. Ляньюньган).

Пуск планируется в **2030** г.

Тепловая мощность, МВт	6×250
Электрическая мощность, МВт	655
Температура 1 к. на выходе, °C	750
Температура пара, °C	566



В сентябре 2021 г. в КНР **создан технологический альянс*** по производству экологически чистого водорода с использованием ВТГР

Планируемые уровни освоения технологий на HTR-PM

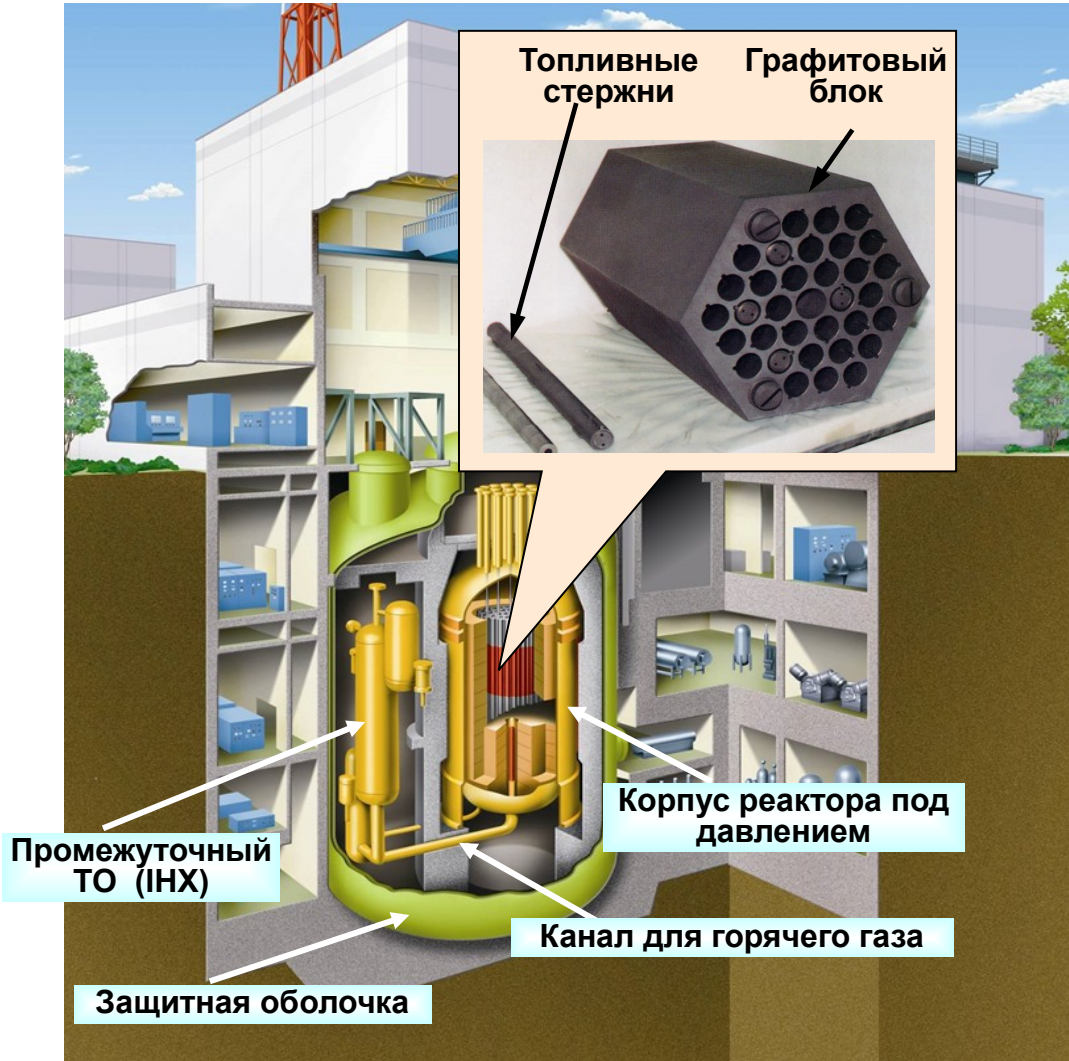
- **Уровень 1:** **750** °C, подкритическая паровая турбина ($P = 13,2$ Мпа, КПД = 40%), производство электроэнергии и когенерация
- **Уровень 2:** **750** °C, сверхкритическая паровая турбина ($P = 25$ Мпа, КПД = 44%), оптимизация классификации безопасности конструкций, систем и компонентов для снижения затрат
- **Уровень 3:** **950** °C, промежуточный теплообменник, **ядерное производство H_2** (серно-йодный цикл и высокотемпературный электролиз)

* Университет Цинхуа, энергетическая корпорация China Huapeng Group, CNNC, крупнейшая государственная сталелитейная корпорация China Baowu Steel Group, инвестиционная корпорация China CITIC Group).

HTTR: высокотемпературный исследовательский реактор (JAEA)



ВТГР с призматической активной зоной

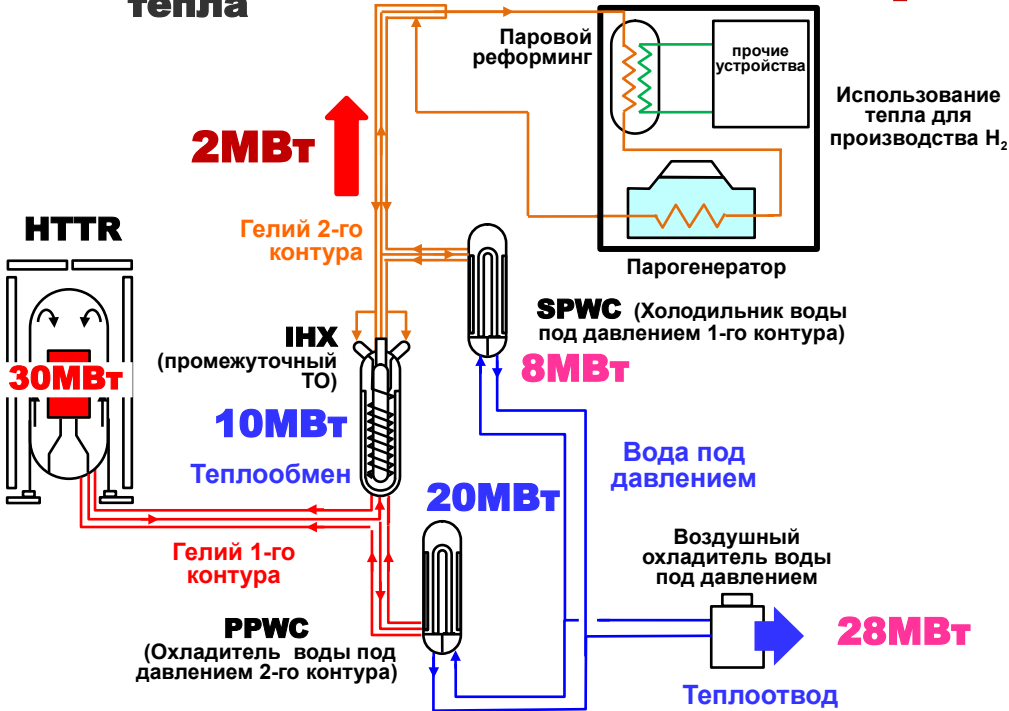


Основные технические характеристики

Тепловая мощность	30 МВт
Топливо	микротвэл (призматический тип)
Материал активной зоны	графит
Теплоноситель	гелий
Температура (на входе/выходе)	395°C / 950°C
Давление	4 МПа

HTTR на применение тепла

Установка по производству H₂



Х. Ногуци, "Современное состояние демонстрационных испытаний производства водорода за счет использования высокотемпературной тепловой энергии, получаемой с помощью ВТГР," WHES-2024, Канкун-Ривьера Майя, Мексика, с 23 по 27 июня, 2024 года.

HTTR: высокотемпературный исследовательский реактор (JAEA)

Цель

- Определить безопасную конструкцию для сопряжения ВТГР и установки по производству H_2 с получением лицензии от Управления по ядерному регулированию.
- Продемонстрировать рабочие характеристики компонентов необходимых для сопряжения ВТГР и установки по производству H_2 , т.е. высокотемпературных отсечных клапанов, горячего газохода, и т.д. при помощи HTTR.

Задачи

- Построить установку паровой конверсии метана по производству H_2 и подключить к HTTR.
- Провести непрерывные испытания по производству H_2 и динамические испытания установки.



Предварительный график



- ❑ **Рост доли и назначения использования атомной энергии в экономике страны** (за счет обеспечения технологических потребностей различных отраслей промышленности в высокопотенциальном тепле: газохимия и нефтепереработка, производство удобрений и синтетического топлива, металлургия и др.), **снижение углеродного следа промышленной продукции.**
- ❑ **Рост выручки, расширение технологического и продуктового портфеля Госкорпорации «Росатом»,** в том числе для новых и развивающихся зарубежных рынков (атомные энерготехнологические комплексы с ВТГР, технологии конверсии / пиролиза метана, электрохимические устройства для транспорта, системы очистки и компримирования, хранения и транспортировки водорода, заправочные комплексы, испытательный центр для и обеспечения безопасности водородных технологий и сертификации продукции и др.).
- ❑ **Расширение экспортного потенциала, технологическая независимость и лидерство Госкорпорации «Росатом»** на формирующемся мировом рынке водородных технологий.
- ❑ **Повышение эффективности электрогенерации** (использование водородных циклов накопления, транспортировки и использования энергии).

**АЭТС с ВТГР и ХТЧ, водород и его производные, а также технологии и оборудование для водородной промышленности -
НОВАЯ ЛИНЕЙКА ПРОДУКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

В Госкорпорации «РОСАТОМ» развернута полномасштабная программа НИОКР в обоснование технических решений создания **АЭТС с ВТГР и ХТЧ** – объекта **неэлектрического применения атомной энергии**.

Реализация проекта сооружения **АЭТС с ВТГР и ХТЧ** позволит расширить линейку продуктов атомной отрасли и увеличить долю атомной энергии в энергобалансе России.

АЭТС с ВТГР и ХТЧ – отечественные технологии межотраслевого назначения, содействующие достижению стратегической цели Госкорпорации «Росатом» «Новые продукты для российского и международных рынков», **отвечающие задачам достижения технологического суверенитета и лидерства России**.

**Спасибо
за внимание**