ОКБМ
АФРИКАНТОВ
РОСАТОМ

Материалы по инвестиционному проекту АО «Концерн Росэнергоатом»
«НИОКР по технологиям атомно-водородной энергетики для крупномасштабного производства и потребления водорода» для XVII Международной конференции «Забабахинские научные чтения»

Атомно-водородные технологии на базе ВТГР

Докладчик: Фатеев Сергей Анатольевич

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

Материал авторов: В.В. Петрунина, С.А. Фатеева, Н.Н. Пономарева-Степного, И.В. Марова

19-23 мая 2025 года

Структура производства энергии в России

ОКБМ АФРИКАНТОВ РОСАТОМ

Выработка ~ 2555 млн МВт·ч

Электрическая энергия*
1150 млн МВт·ч$_э$ (**45%**)

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

ТЭС	АЭС	ГЭС	ВИЭ	ТЭЦ	Котельные
721 млн МВт·ч$_э$	218 млн МВт·ч$_э$	202 млн МВт·ч$_э$	9 млн МВт·ч$_э$	528 млн Гкал	680 млн Гкал
62,7%	18,9%	17,6%	< 0,8%	44%	56%
(28,2%)	(8,5%)	(7,9%)	(< 0,4%)	(24%)	(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 теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2021 году;*

Потребление тепла в России

ОКБМ АФРИКАНТОВ РОСАТОМ

- **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

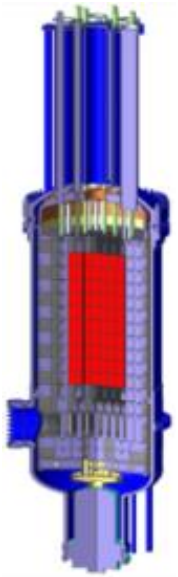
317 млн Гкал *(27%)*
нефтепереработка, химия и нефтехимия, металлургия

I. Что из этого следует?

160 млн Гкал (13%)
Высокопотенциальное тепло

Мощность установок
> 20 ГВт (т)

100 бл.
ВТГР-200



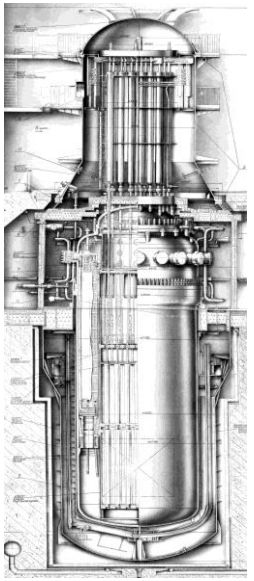
Для технологических процессов увеличения температуры пара на заводах **прибегают к дополнительному перегреву пара после турбины за счёт электрического или огневого подогрева** в технологических установках

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** $ГВт_т$



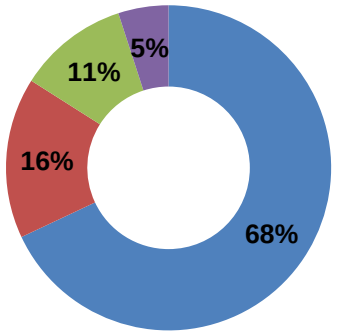
** Материалы РЭА Минэнерго «ОТЧЕТ о состоянии теплоэнергетики и централизованного теплоснабжения в Российской Федерации в 2021 году*

Структура производства водорода в мире и в России

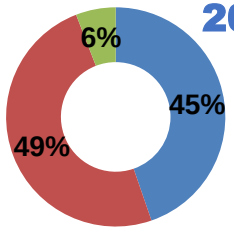
ОКБМ АФРИКАНТОВ РОСАТОМ

СТУКТУРА производства H_2 в мире

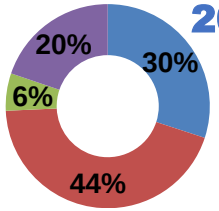
СЫРЬЕ для производства H_2



2023 год



2050 год



- **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 производится 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. $м^3$/год **природного газа** (**70** млн тонн/год). **В России** → **11,2** млрд $м^3$/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** → **47,5** млн тонн/год

Источник: IAE, Deloitte, S&P, Global Australia, MacQuarie, Hydrogen Insight, Правительство РФ, Merics China Monitor, Правительство США, SBS Consulting

Документы на основании которых ведутся работы по АВ технологии

ОКБМ АФРИКАНТОВ РОСАТОМ

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.B.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».**

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»:**

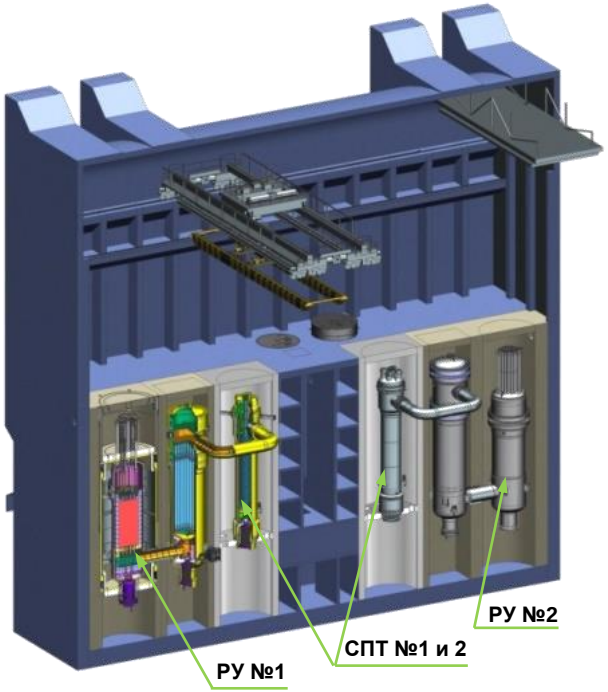
- **Одобрить результаты разработки ХТЧ АЭТС;**
- **Рекомендовать продолжить выполнение НИОКР по ХТЧ АЭТС.**

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 неэлектрического применения атомной энергии

ОКБМ АФРИКАНТОВ РОСАТОМ



Компоновка двух РУ в реакторном здании

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.**

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

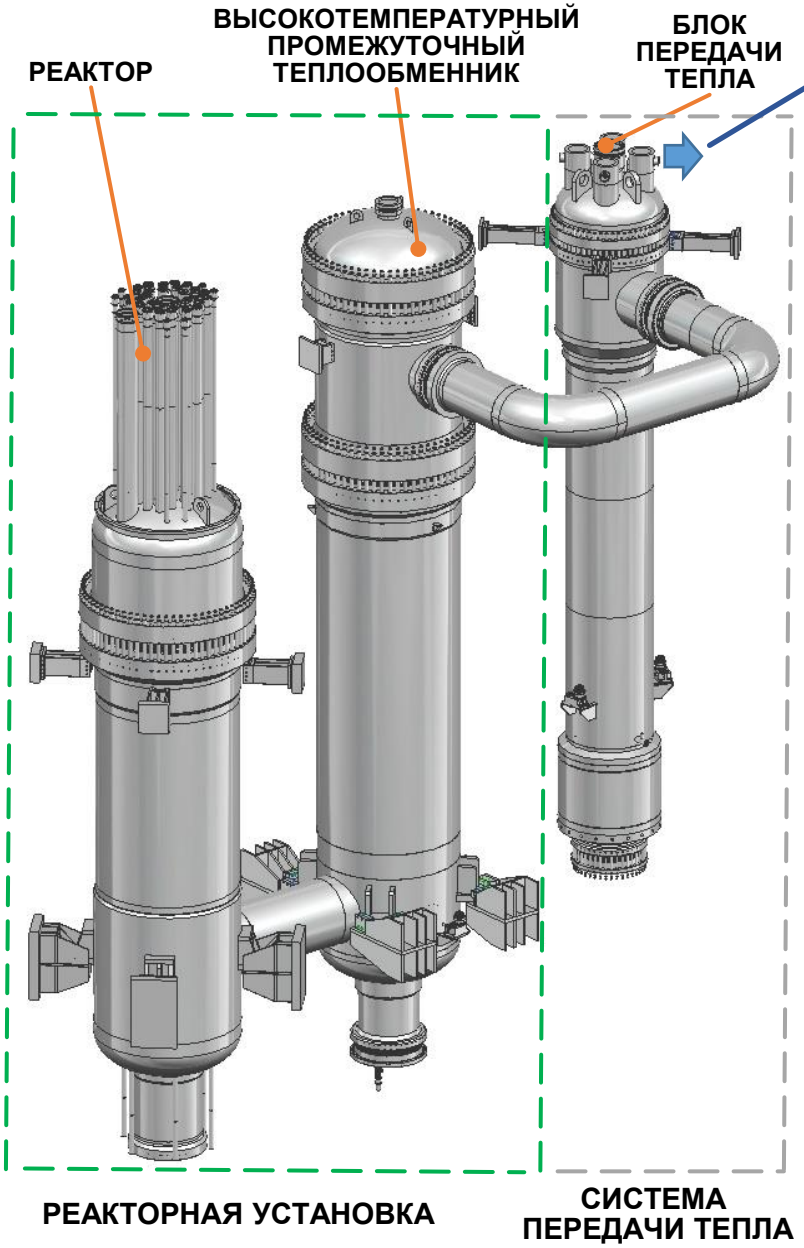
Водород ~ **150** тыс. тонн/год; Аммиак ~ **735** тыс. тонн/год; Метанол ~ **790** тыс. тонн/год; Карбамид ~ **1 300** тыс. тонн/год;
Железо **1,6** млн тонн/год *(металлургическая промышленность: прямое восстановление железа водородом)*;
Этилен **0,5** млн тонн/год *(нефтеперерабатывающая промышленость: производство этилена из углеводородного сырья)*.

Технология ВТГР позволяет выйти на уровень t = **850-1000** °C 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»)

ОКБМ АФРИКАНТОВ РОСАТОМ



Тепловая мощность, МВт	**200**
Теплоноситель	**Гелий**
Температура (гор. /хол.), °С	**850 / 330**
Давление (абс.), МПа	**4,0**
Расход, кг/с	**73,9**

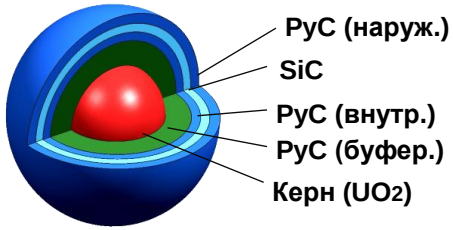
НИОКР в обоснование ВТГР

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**.
Материалы	**Жаропрочный сплав ХН55МВЦ (ЧС57)**	**Отработка технологии** изготовления и сварки требуемого сортамента. Получение характеристик длительной прочности (до 5×10^5 часов). Проведение аттестационных испытаний (до t = 950°С) сплава и его сварных соединений.
	Графит	**Доработка технологии** изготовления крупногабаритных графитовых заготовок. Исследование физико-механических, теплофизических и ядерных свойств в интервале температур от 20ºС до 1600ºС. Проведение аттестационных испытаний.
	Теплоизоляция	**Исследование физико-механических, теплофизических, ядерных свойств, пыле- и газовыделений** теплоизоляционных материалов.
Оборудование	**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.

Топливо и ТВС
(АО «НИИ НПО ЛУЧ», АО ГНЦ «НИИАР»)

ОКБМ АФРИКАНТОВ РОСАТОМ

Микротвэл*
Представляет собой сферический топливный керн с многослойным покрытием типа TRISO.

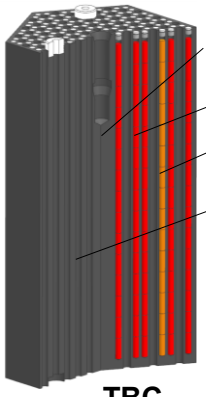


Микротвэл

Топливные компакты

Топливный компакт
Представляет собой графитовую матрицу с распределёнными по её объему микротвэлами.

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.

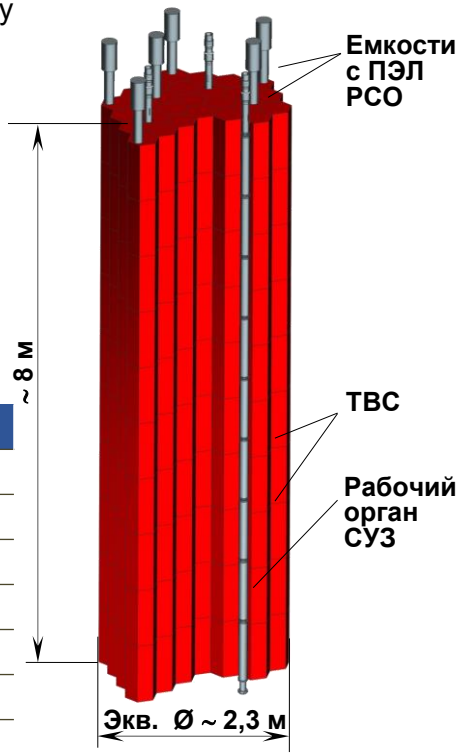


ТВС

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

Основные технические решения по а.з.:
- ✓ формируется шестигранными призматическими ТВС
- ✓ цилиндрическая конфигурация

Основные характеристики**	Значение
Топливо	**UO_2**
Обогащение по ^{235}U, %	**~ 18**
Загрузка топлива, т	1,315
Энергонапряженность, Вт/м^3	~ 6
Количество ТВС, шт	370
Кампания, эфф. сут.	**~ 800**
Продолжительность перегрузки, сут.	~ 30



Активная зона

НИОКР

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

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.

* 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.

** 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.

Характерные особенности ВТГР, влияющие на безопасность

ОКБМ АФРИКАНТОВ РОСАТОМ

Теплоноситель всех существующих ВТГР – гелий

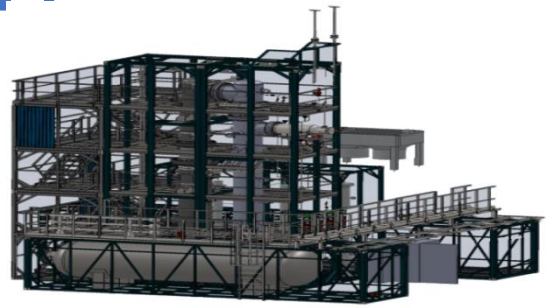
He

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)	**Отсутствует 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/м^3	**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

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

ОКБМ АФРИКАНТОВ РОСАТОМ

Лабораторная стендовая установка (ЛСУ),
производительность ~ **1,5** нм³ H_2/час



Опытно-демонстрационная установка (ОДУ),
Производительность ~ **150** нм³ H_2/час (N ~ **400** кВт)

Опытно-промышленная установка (ОПУ),
производительность ~ **207** тыс. м³ H_2/час (~ **40** МВт)

Назначение установок

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

- ✓ 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

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

Цель создания установок

Отработка технологии производства H_2 производительностью ~1,5 нм³ H_2/час
ЗАПУСК 15.11.2021

Подтверждение основных технологических решений, принятых на установке ХТЧ
Монтаж ОДУ. Пуск 3 кв. 2025

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 газообогреваемого 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.

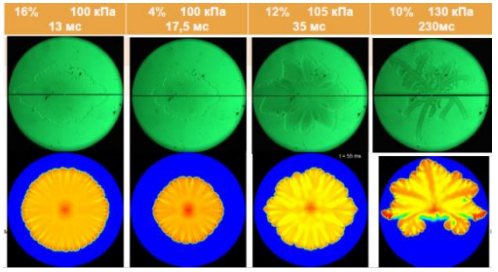
НИОКР в обоснование пожаро-взрывобезопасности водородо-содержащих смесей *(Снежинск)*

ОКБМ АФРИКАНТОВ РОСАТОМ

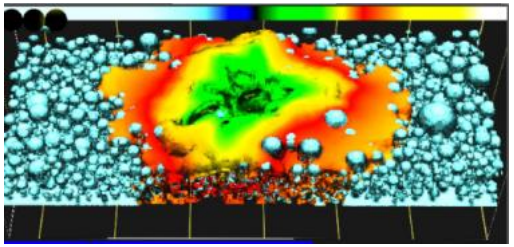
Исследование проблемы обеспечения безопасности при производстве, хранении и транспортировке H_2

(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)

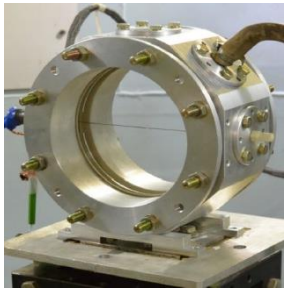
1. Разработана **стендовая база:** МУТ, МУТ-ТК, МУТ-ПК, КЭИП, БМ-Т, БМ-Л, БМ-К, БМ-У, СТРУЯ.
2. Разработана **Концепция обеспечения безопасности при производстве, хранении и транспортировке водорода на АС.**
3. Разработаны **методики и программы проведения экспериментальных исследований и проведены исследования**:
   - 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

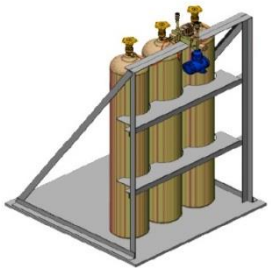


МУТ-ТК – верификация модели шаровых пламен, разработка средств противодействия горению, определение критериев гашения пламен

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

ОКБМ АФРИКАНТОВ РОСАТОМ

Электролиз воды	
✓ Разработка типоразмерного ряда электрохимических установок (электролизер с анионобменной 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 металлогидридного хранения водорода (Разработка технологии и изготовление образца металлогидридной установки для аккумулирования водорода)	
Другие технологии	
✓ Алюмоводная технологии получения H_2 (Разработка, создание и проведение ресурсных испытаний узлов ввода и вывода реагентов для пилотной установки получения водорода по алюмоводной 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

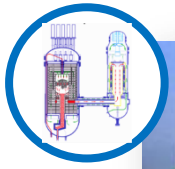
Что происходит в мире по атомно-водородной теме?

ОКБМ АФРИКАНТОВ РОСАТОМ

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 производно 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 Xuwei (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.

HTR-10

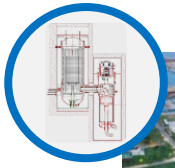


Испытательный реактор

*Пуск осуществлен в **2000** г.*

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

HTR-PM



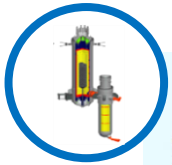
Демонстрационный проект

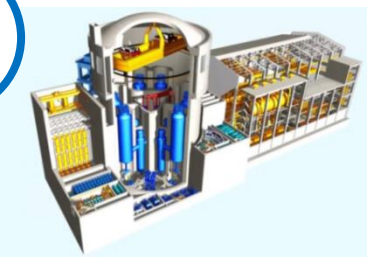
Реализован на АЭС «Шидаовань».
Пуск осуществлен в 2021 г.

*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, °С	**750**
Температура пара, °С	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, °С	**750**
Температура пара, °С	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

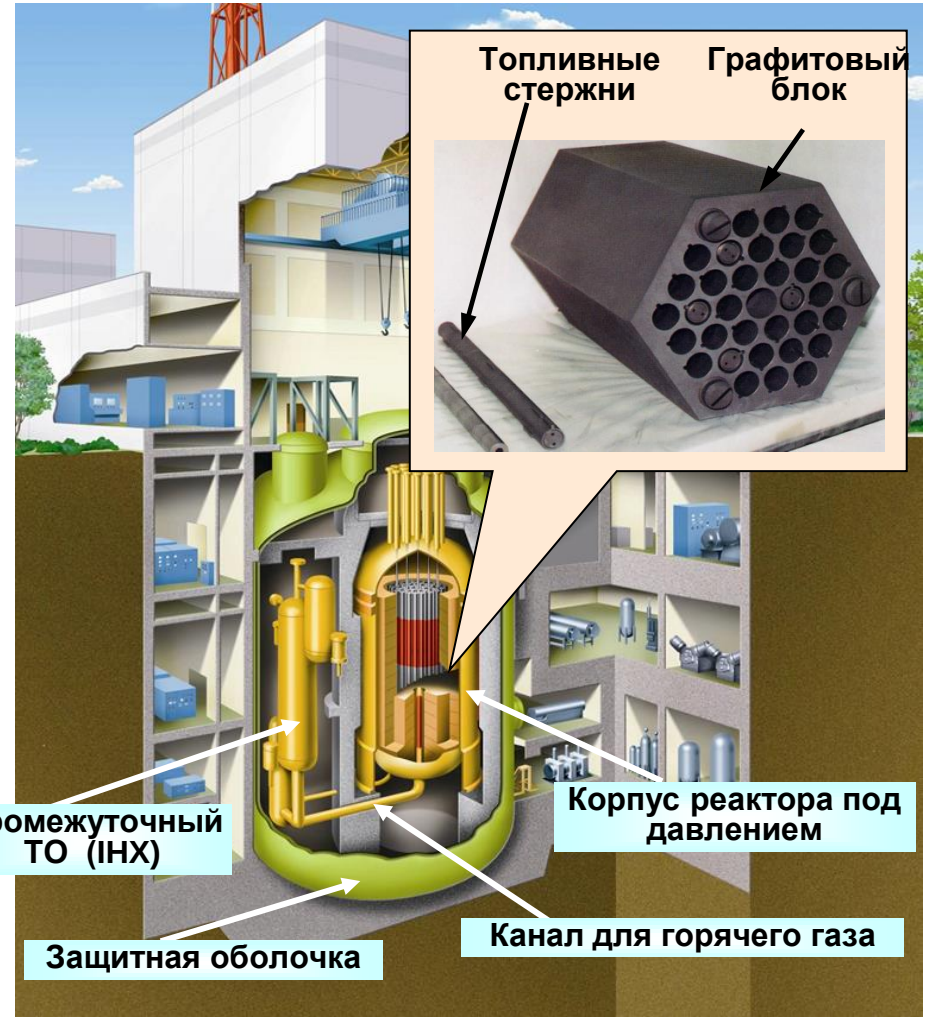
- **Уровень 1**: 750 ℃, подкритическая паровая турбина (Р = 13,2 Мпа, КПД = 40%), производство электроэнергии и когенерация
- **Уровень 2**: 750 ℃, сверхкритическая паровая турбина (Р = 25 Мпа, КПД = 44%), оптимизация классификации безопасности конструкций, систем и компонентов для снижения затрат
-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

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

HTTR: высокотемпературный исследовательский реактор *(JAEA)*

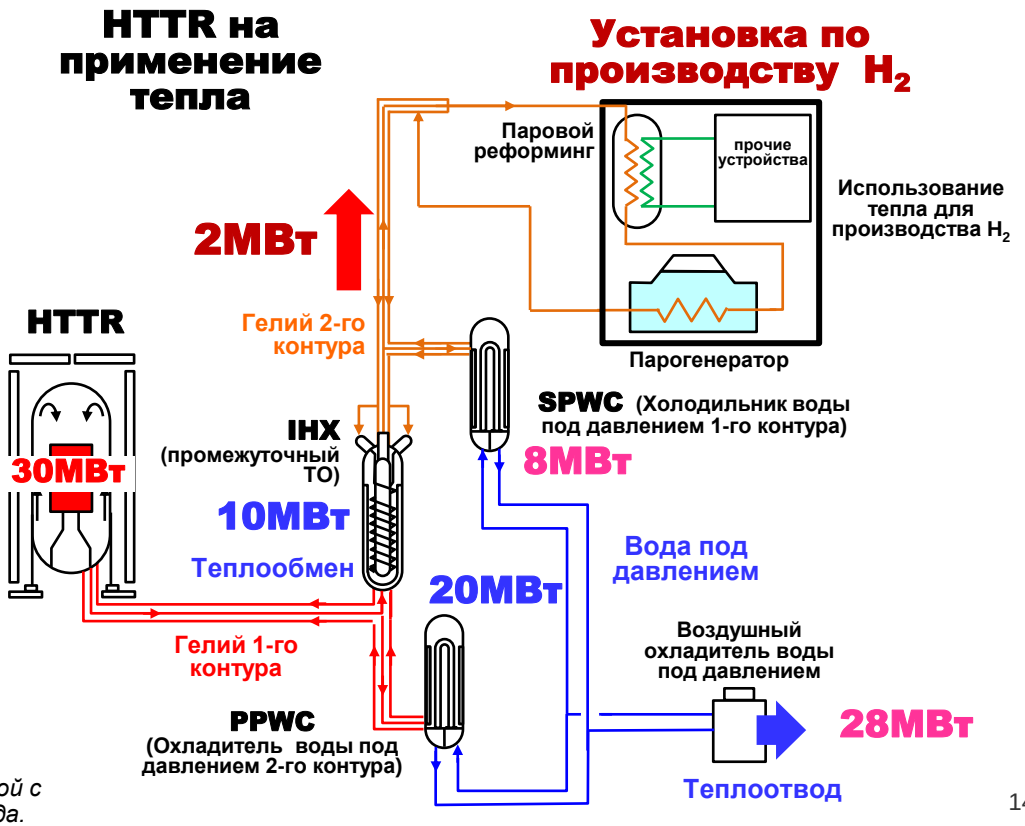
ОКБМ АФРИКАНТОВ РОСАТОМ

Призматический ВТГР в действии



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



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

HTTR: высокотемпературный исследовательский реактор *(JAEA)*

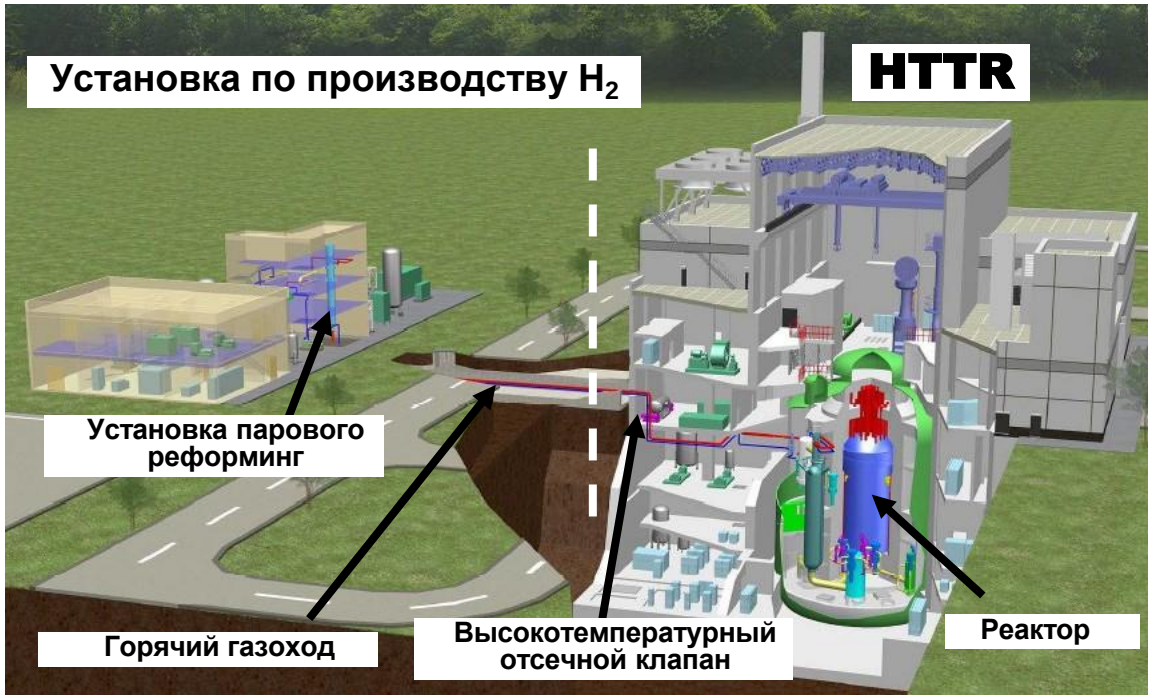
ОКБМ АФРИКАНТОВ РОСАТОМ

Цель

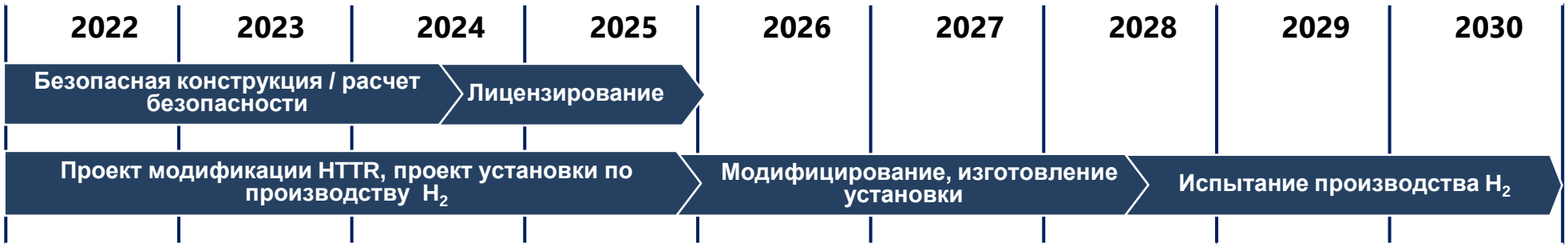
- **Определить безопасную конструкцию для сопряжения ВТГР и установки по производству H_2** с получением лицензии от Управления по ядерному регулированию.
- **Продемонстрировать рабочие характеристики компонентов необходимых для сопряжения ВТГР и установки по производству H_2**, т.е. высокотемпературных 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



JAEA, 6-й Симпозиум по американо-японскому сотрудничеству в области исследований ядерной энергии ttps://www.jaea.go.jp

Окно возможностей для Госкорпорации «Росатом»

ОКБМ АФРИКАНТОВ РОСАТОМ

- **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

Выводы по атомно-водородной технологии

ОКБМ АФРИКАНТОВ РОСАТОМ

- **В научно-конструкторском блоке «РОСАТОМ» развернута полномасштабная программа НИОКР** в обоснование технических решений атомно-водородных технологий на базе ВТГР и ХТЧ для создания АЭТС – объекта неэлектрического применения на уровень температур **850** … **1000** ºС. **В проекте участвуют ученые из институтов РАН и отрасли. Реализация проекта позволит расширить сферу применения атомной энергии в энергобалансе России**.

- **Главная задача на сегодняшнем этапе** – в соответствии с требованиями нормативных документов Ростехнадзора обосновать безопасность размещения рядом двух объектов:
  - ***ОИАЭ*** *(АЭТС с РУ ВТГР);*
  - ***ОПО*** *(химико-технологическое производство водородсодержащих продуктов), использующего высокопотенциальное тепло от реактора.*

- Результатом работ полномасштабной программы НИОКР должно стать решение о переходе к инвестиционной фазе реализации проекта АЭТС:
  - *сооружение* ***АЭТС с ВТГР*** *–* ***первый этап*** *развития атомно-водородной энергетики и отработки технологии и основных технических решений ВТГР на уровне температур* ***до 850 ºС****;*
  - ***второй этап*** *развития атомно-водородной энергетики, основанной на технологии ВТГР –* ***повышение*** *уровня температур* ***до 950 … 1000 ºС****.*

- **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

Фатеев Сергей Анатольевич

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

E-mail: economica@okbm.nnov.ru , тел.: раб. 8(831) 243-99-99 доб. 32-67

19-23 мая 2025 года

Основные ТЭП проекта АЭТС по результатам работы РГ по оптимизации проекта

ОКБМ АФРИКАНТОВ РОСАТОМ

Продукты – аммиак, карбамид

Концепция – 2 РУ ВТГР в одном здании

Показатель	АММИАК	КАРБАМИД
CAPEX по АЭТС, млрд руб. без НДС *(III кв. 2023 г.)*	**553,4**	**704,8**
Среднегодовая производительность, млн кг/год *(КИУМ = 0,9)*	**3 285**	**5 700**
Себестоимость, руб./кг *(с учетом преференций ОЭЗ)*	**16,9**	**12,3**
Тариф продажи, руб./кг	**24*/36****	**28,6***** (24******)
Окупаемость проекта, лет *(при продаже по тарифу, ставка 5% и 7%)*	**50 / 13,8**	**9,9** (15) **/ 11,2** (17)

** Предложение Республики Татарстан по цене покупки аммиака.*

*** Оценка проекта АЭТС по данным АО «Минудобрения» цена на аммиак безводный сжиженный марка А – **35,5** руб./кг (www.minudo.ru).*

**** Тариф на карбамид согласно торговой политике Республики Татарстан.*

***** Оценочный тариф на карбамид при его переизбытке на рынке (ввод новых мощностей).*

Материалы доклада Фатеева С.А. «Технико-экономические оценки производства водородосодержащих продуктов на НА АЭТС» МНТК-2024, 18-19 сентября 2024 года, г. Москва.

Оценка ТЭП АЭТС при производстве аммиака 10 тыс. т/сут., карбамида 17,4 тыс. т/сут. от ставки дисконтирования

ОКБМ АФРИКАНТОВ РОСАТОМ

Расчет в ценах 3 кв. 2023 года без НДС

Концепция – 2 РУ ВТГР в одном здании

Наименование	Ставка дисконтирования			
	3 %	5 %	7 %	10 %
LCONH (приведенная стоимость **аммиака**), руб./кг	**20,5**	**23,7**	**27,5**	**34,0**
Цена (тариф) продажи аммиака для обеспечения срока окупаемости 20 лет (с начала эксплуатации), руб./кг без НДС	25,4	28,2	**31,4**	37,1
Окупаемость проекта АЭТС при цене продажи аммиака 24 / 36 руб./кг, лет	25,4 / 12,5	50 / 13,8	**- /15,3**	- / 22
LCOCD (приведенная стоимость **карбамида**), руб./кг	**14,9**	**17,2**	**20,0**	**24,5**
Цена (тариф) продажи карбамида для обеспечения срока окупаемости 20 лет (с начала эксплуатации), руб./кг без НДС	18,7	20,7	**23,0**	27,0
Окупаемость проекта АЭТС при цене продажи карбамида 28,6 руб./кг, лет	8,9	9,9	**11,2**	15,7

На текущем этапе проработок выполнены предварительные оценки затрат на сооружение двухблочной станции. Капитальные затраты двухблочной АЭТС с учетом включения в ХТЧ аммиачного блока оцениваются **550÷600** млрд руб. в ценах 2023 г. без НДС, при условии производства карбамида капитальные затраты увеличиваются и составят **700÷750** млрд руб.

Себестоимость продукции при стандартном налогообложении варьируется: **аммиак** ~ **19** руб./кг, **карбамид** ~ **14** руб./кг в ценах 2023 г. без НДС. **При оптовых ценах на закупку электроэнергии, природного газа** и с учетом преференций по налогу на имущество, налогу на прибыль *(снижение налога до 0% в течение 10 лет)* **себестоимость продукции** ориентировочно снижается на **12**%: **аммиак** ~ **16,9** руб./кг, **карбамид** ~ **12,3** руб./кг. **С учетом ставки дисконтирования 7% приведенная стоимость аммиака и карбамида с АЭТС оценивается 27,5** и **20** руб./кг соответственно. Оптовые цены на аммиак и карбамид в России составляют **36** и **30** руб./кг соответственно, что показывает экономическую привлекательность проекта АЭТС.