

## СОВЕТ ПО ПРИОРИТЕТНОМУ НАПРАВЛЕНИЮ СТРАТЕГИИ НТР РФ



# Перспективы атомно-водородной энергетики

Пономарев-Степной Николай Николаевич  
академик РАН, научный консультант  
генерального директора АО «Концерн  
Росэнергоатом»

---

Москва, 25 октября 2018 года

# Предисловие

Курчатовский  
институт

Министерство  
среднего  
машиностроения  
(МСМ)

Министерство  
общего  
машиностроения  
(МОМ)

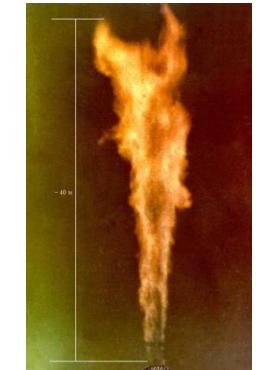
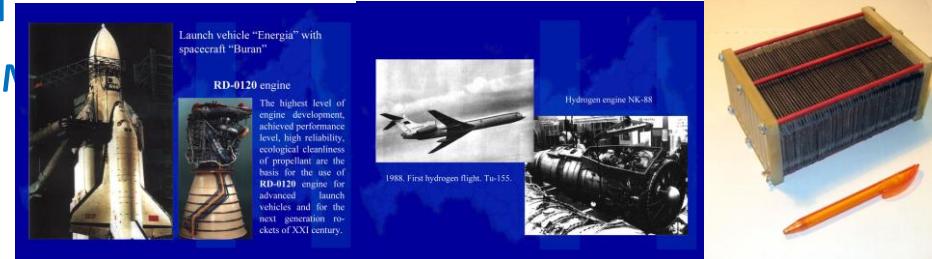
Министерство  
энергетики (МЭ)

Министерство  
химической  
промышленности  
(МХП)

Министерство  
Авиационной  
Промышленности  
(МАП)

Академия наук  
СССР  
(АН СССР)

Доклад базируется на исследованиях, выполнявшихся в нашей стране с 70-х годов прошлого столетия по программе «Водородная энергетика» при координации Комиссией АН СССР. Исследования выполнялись Курчатовским институтом в сотрудничестве с исследовательскими, конструкторскими, технологическими и промышленными предприятиями МСМ, МОМ, МЭ, МХП, МЧМ, МАП и АН. Концепция водородной энергетики с атомным производством водорода получила название – Атомно-водородная энергетика . В докладе использованы результаты исследований по водородной энергетике в России (ОКБМ, КРЭА, НИЦ КИ, ВНИИМ, НПО Луч и др.) и в мире.



## **Энергетические вызовы 21 века и водородная энергетика**

- **Глобальные энергетические вызовы 21 века**
  - Рост потребления энергии, особенно, развивающимися странами
  - Декарбонизация энергетики
- Решение этих проблем стимулирует становление нового технологического уклада - **водородная энергетика / экономика**
- **Водородная энергетика** – это масштабное экологически чистое производство водорода и его широкое использование как энергоносителя, накопителя энергии и компонента многих промышленных продуктов

# Водородная энергетика /экономика/ – новый технологический уклад

## Потребление водорода

- Водород – чистый энергоноситель и накопитель энергии
- Водород - эффективное производство ЭЭ в водородных топливных элементах
- Водород – элемент многих промышленных производств

## Экологически чистое производство водорода

- Неограниченные сырьевые ресурсы водорода: вода, углероды
- Неограниченные источник энергии: ВИЭ, атомная энергия

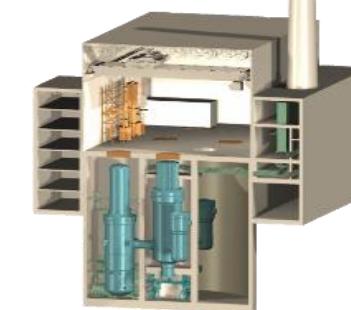
## Инфраструктура обращения с водородом

- Хранение, транспортировка, распределение
- Безопасность
- Международные нормы производства водорода и его использования

## Целевые индикаторы

- декарбонизация производства и потребления энергии
- ресурсы, экономика, рынок

Автомобили на водороде



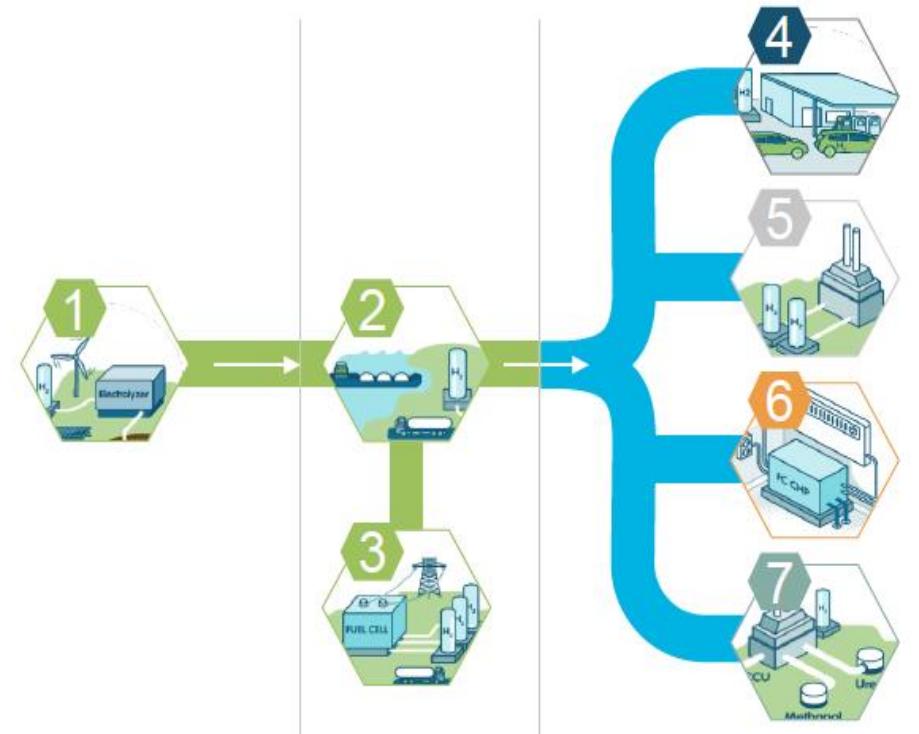
# Роль водорода в трансформации энергопотребления (НС 2017)

## Ключевые направления

1. крупномасштабное развитие ВИЭ и их интеграция с системой производства и потребления электроэнергии
2. распределение энергии по секторам и регионам
3. использование в качестве буфера – накопителя для повышения устойчивости энергетической системы
4. декарбонизация транспорта
5. декарбонизация промышленного энергопотребления
6. декарбонизация коммунального тепло- и электроснабжения
7. обеспечение чистого сырья для промышленности

Генерация, накопители, распределение

декарбонизация



Во всех этих областях водород предлагает экономически и социально выгодные решения

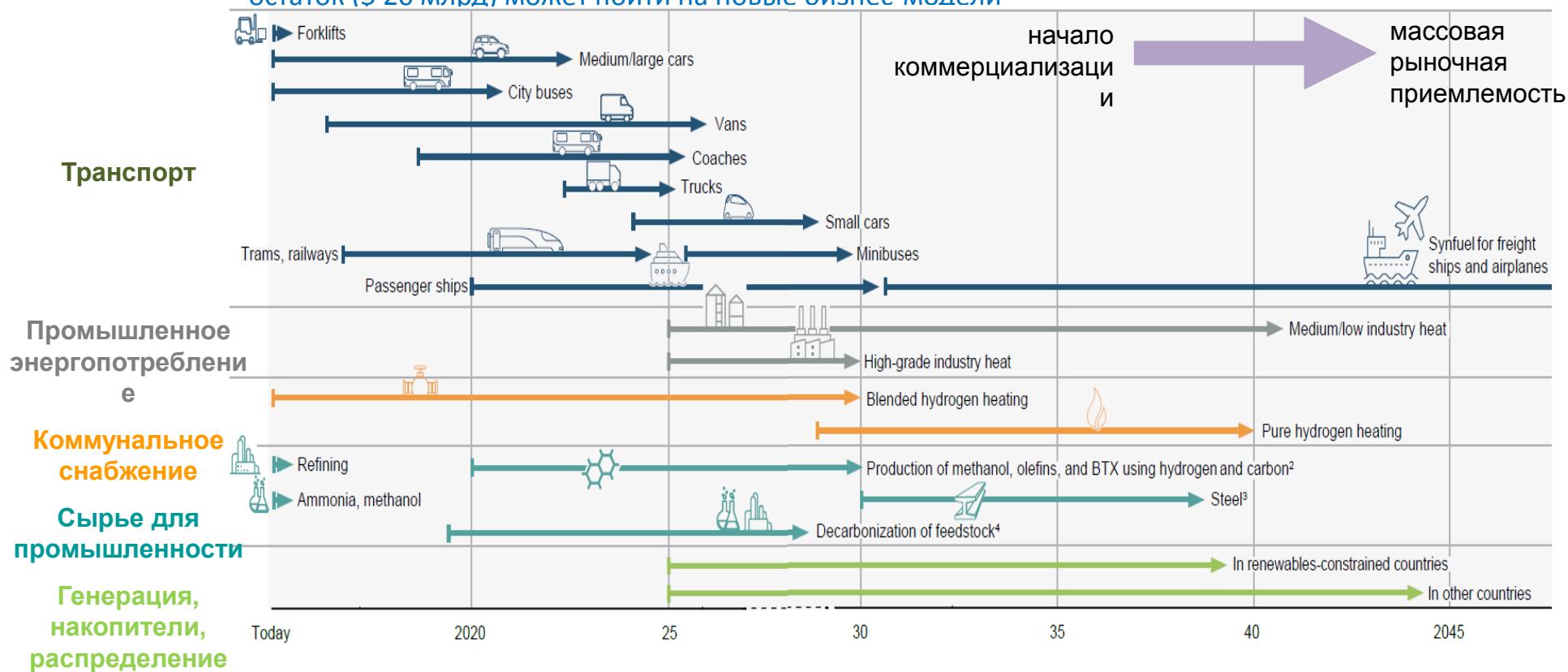
## Перспективы потребления водорода (НС 2017)

- Мир уже производит и потребляет более 70 Мт водорода в год в широком спектре процессов;
- Прогнозируется к 2050 году:
  - 10-кратное увеличение потребностей в водороде,
  - 25% вклад в снижение выбросов CO<sub>2</sub> (6 Гт/год),
  - доля 18% в энергетическом балансе;
- Потенциальный рынок для водорода и водородных технологий с доходами более чем 2,5 трлн \$ в год



# Дорожная карта перехода к водородной экономике (НС 2017)

- Водородные технологии готовы к развертыванию
- Для большинства применений коммерциализация может начаться до 2020 г.
- Потребуются ежегодные инвестиции \$ 20-25 млрд (\$ 280 млрд до 2030 года)
  - 40% (\$ 110 млрд) в производство водорода
  - треть (\$ 80 млрд) в хранение, транспортировку и распределение
  - четверть (\$ 70 млрд) в разработку продуктовой линейки и расширение потенциала производства
  - остаток (\$ 20 млрд) может пойти на новые бизнес-модели



## Производство водорода

- Принципиальной проблемой водородной энергетики является масштабное экологически чистое производство водорода.
- В настоящее время около 80% водорода получают из природного газа и нефтепродуктов путем паровой конверсии. В эндотермическом процессе паровой конверсии сжигается около половины природного газа с выбросом продуктов сгорания в атмосферу.
- Для экономии углеводородов и исключения выбросов продуктов сжигания в окружающую среду предлагается электролизное, термохимическое и паро-конверсионное производство водорода из воды и углеродов с использованием энергии возобновляемых и атомных источников.

# Электролизное производство водорода на АЭС РФ

В состав АО «Концерн Росэнергоатом» входит 10 АЭС

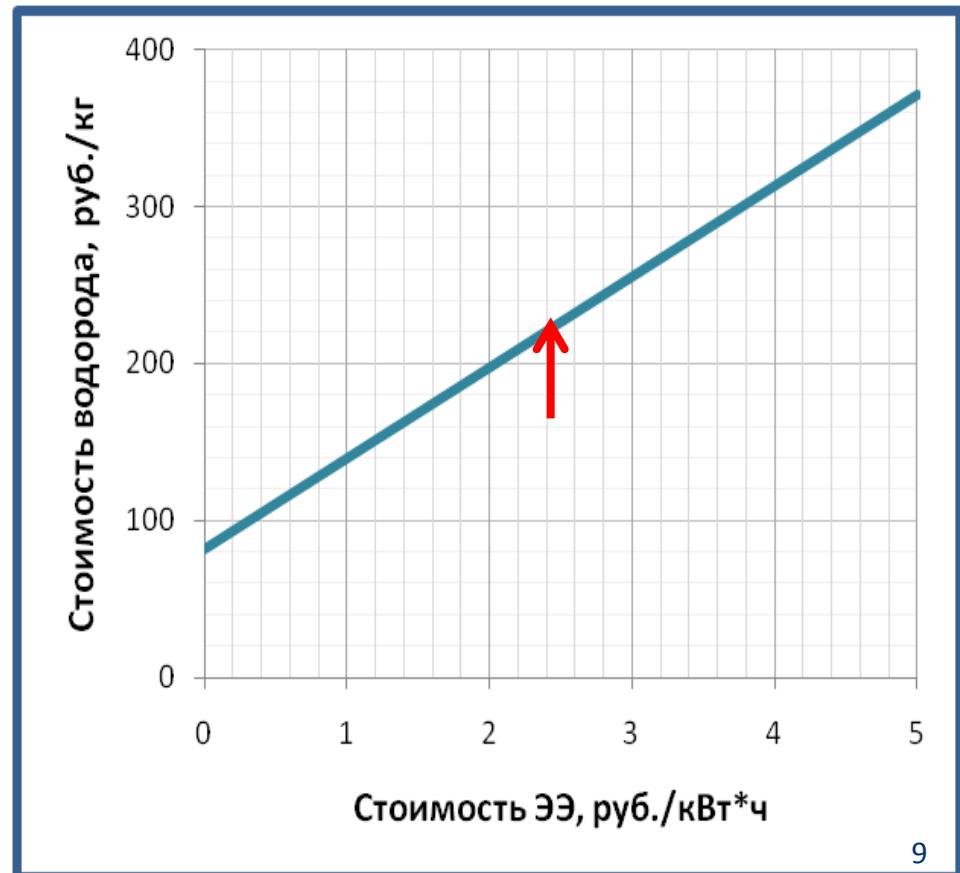
На всех АЭС установлены электролизные установки для производства водорода для собственных нужд

Суммарная мощность наработка водорода на АЭС - **530 м<sup>3</sup>/ч**,

АЭС	Тип установки	Производительность, м <sup>3</sup> /ч	Кол-во
Балаковская	СЭУ-20	41,0	2
Белоярская	СЭУ-20	10,0	2
Калининская	HySTAT-A-1000D/30/10	30,0	2
Кольская	СЭУ-20/G32	20,5/21,3	1/1
Курская	СЭУ-20	20,5	4
Ленинградская	СЭУ-20	20,5	2
Нововоронежская	HySTAT-A-1000D/30/10	30,0	2
Ростовская	СЭУ-20	20,5	2
Смоленская	СЭУ-20/HySTAT-A-1000D/30/10	20,5/30,0	2/2

Из-за диспетчерских ограничений часть АЭС «недогружена». Например, на КолАЭС «свободно» около 500 МВт(э). Создание электролизного цеха производства водорода даст около 0,1 млн т Н<sub>2</sub> в год.

Оценка себестоимости производства водорода от цены на электроэнергию

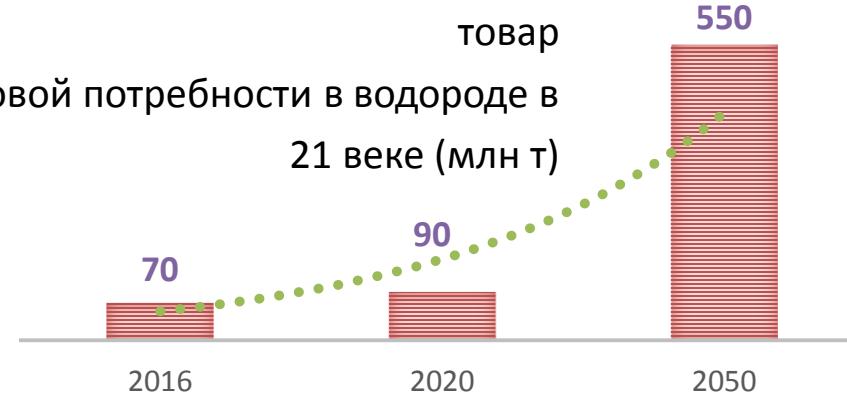


# Крупномасштабное экологически чистое атомное производство водорода

Водород и его переделы – востребованный товар

Масштаб мировой потребности в водороде в

21 веке (млн т)



В предположении такой же доли в мировом производстве водорода, как природного газа, Россия в 2050 году могла бы производить около 50 млн т водорода (50 АЭТС – ПКМ или 250 АЭС – электролиз)

Предлагается создать крупномасштабное экологически чистое производство водорода на базе разработанных в России технологий атомно-водородной энергетики:

Атомные энерготехнологические станции  
(АЭТС)

Модульные ВТГР



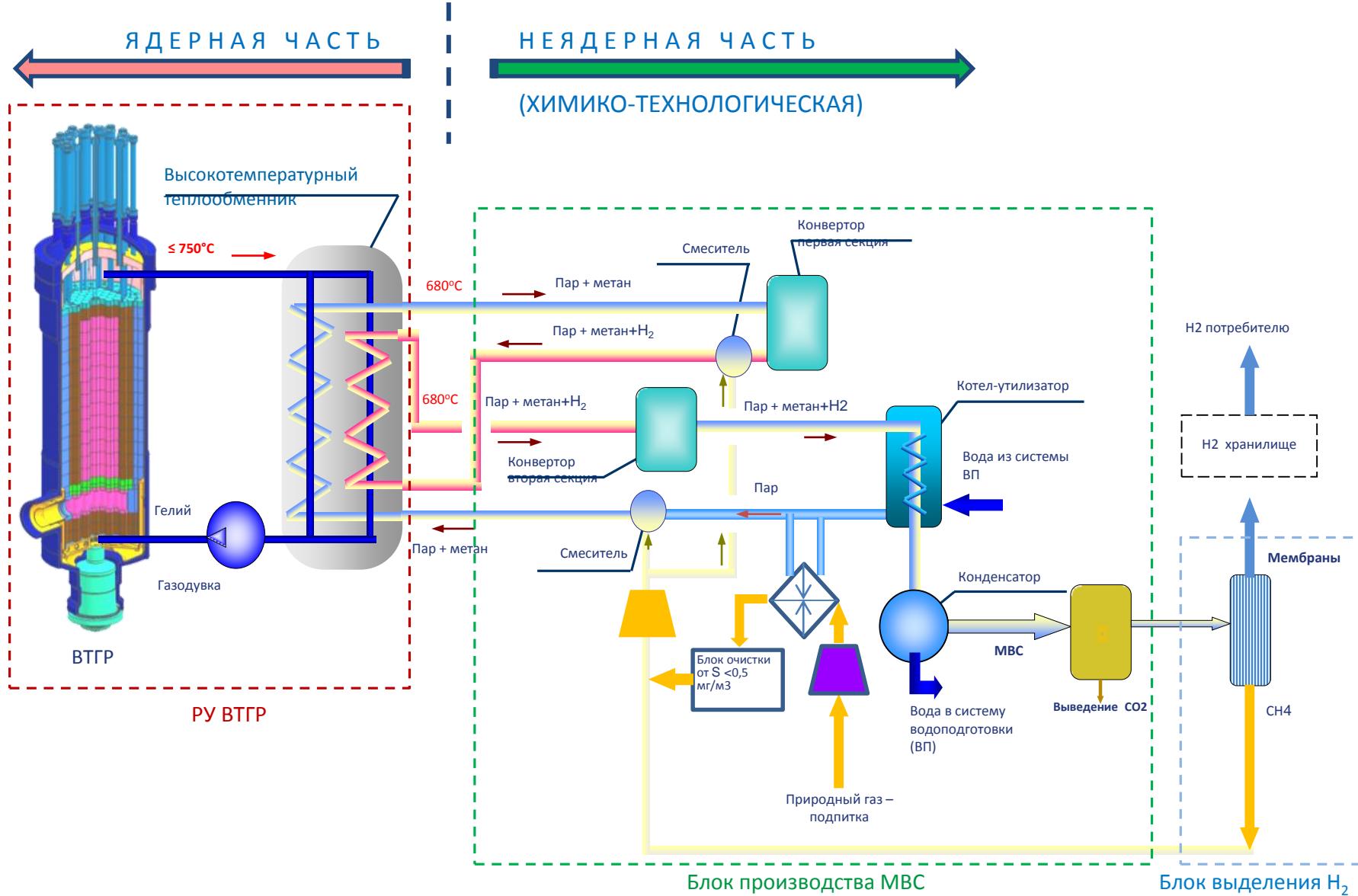
ПКМ - вода и метан



**ВОДОРОД**

АЭТС тепловой мощностью 3 ГВт обеспечивает экологически чистое производство 1 млн тонн Н<sub>2</sub> в год. Масштаб производства водорода сравним в энергетическом эквиваленте с традиционным продуктом Росатома – электроэнергией. Возрастет доля атомной энергии в глобально энергетическом балансе.

# Схема атомно-водородного комплекса с ВТГР



## Технико-экономические показатели АЭТС

Технология производства водорода – адиабатическая конверсия метана

Мощность тепловая АЭТС (4x600) – 2400 МВт

Годовой отпуск продукции АЭТС – 840 млн кг водорода / год

Кап. вложения в строительство одной АЭТС – 230 млрд руб.

в т.ч. млрд руб.: РУ ВТГР – 150, производств МВС – 65,

выделение  $H_2$  – 15

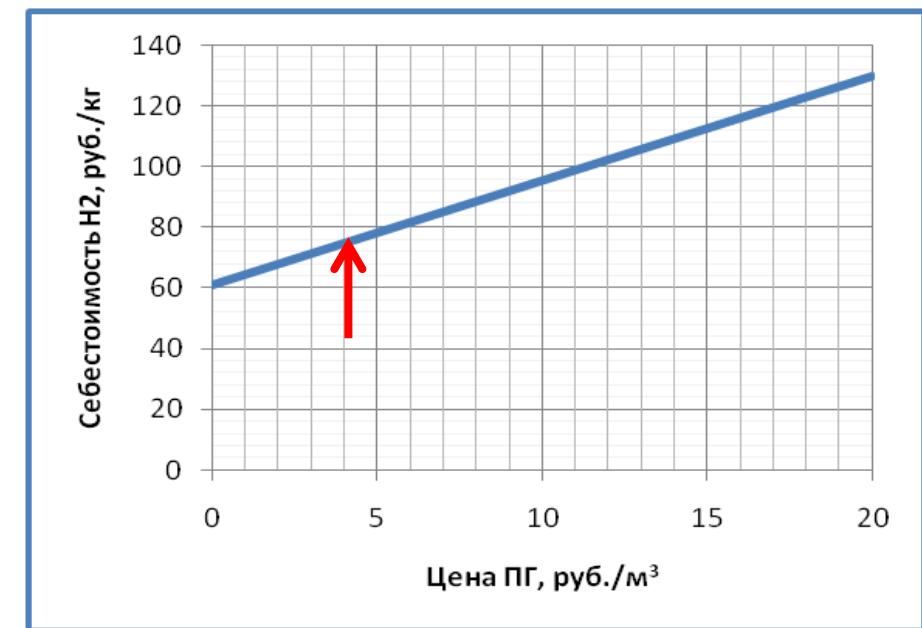
Годовая потребность АЭТС в метане – 2700 млн  $nm^3$ /год

Затраты на природный газ одной АЭТС – 11400 млн руб./год

(цена метана – 4260 руб./тыс.  $m^3$  )

Удельная себестоимость  $H_2$  (с неопределенностью + 20%) – 90 руб./кг  $H_2$

Себестоимость производства  $H_2$  методом ПКМ  
от цены природного газа

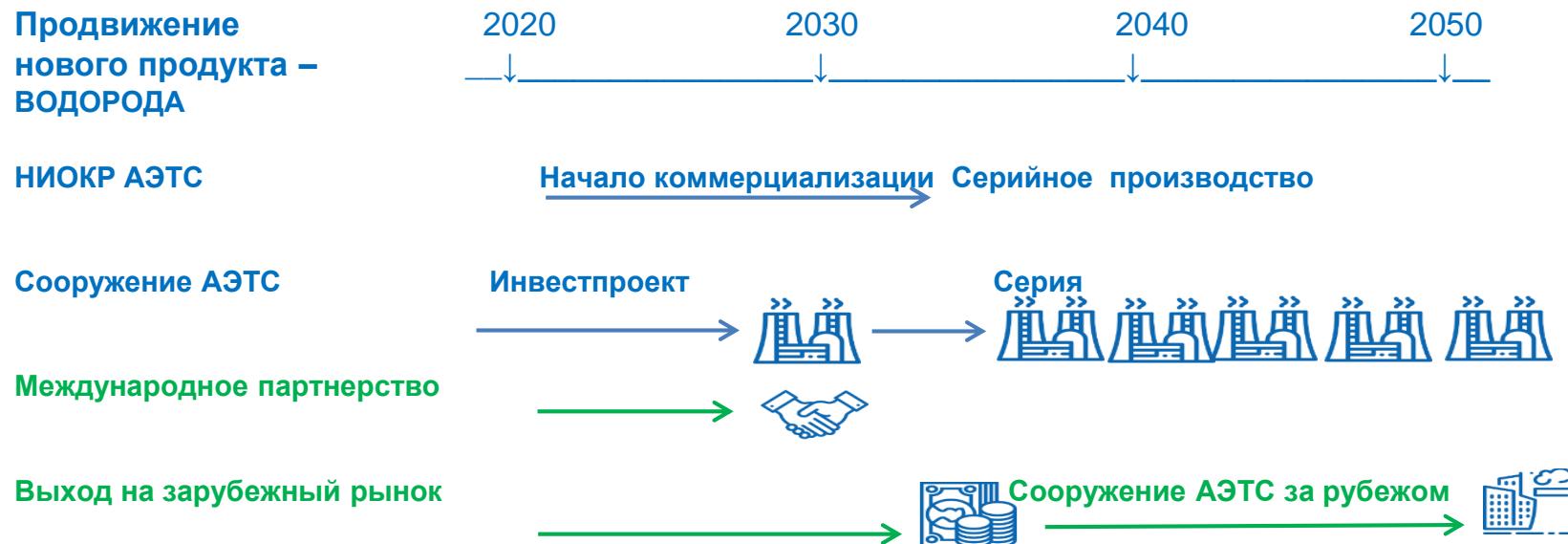


# Дорожная карта создания атомного производства водорода

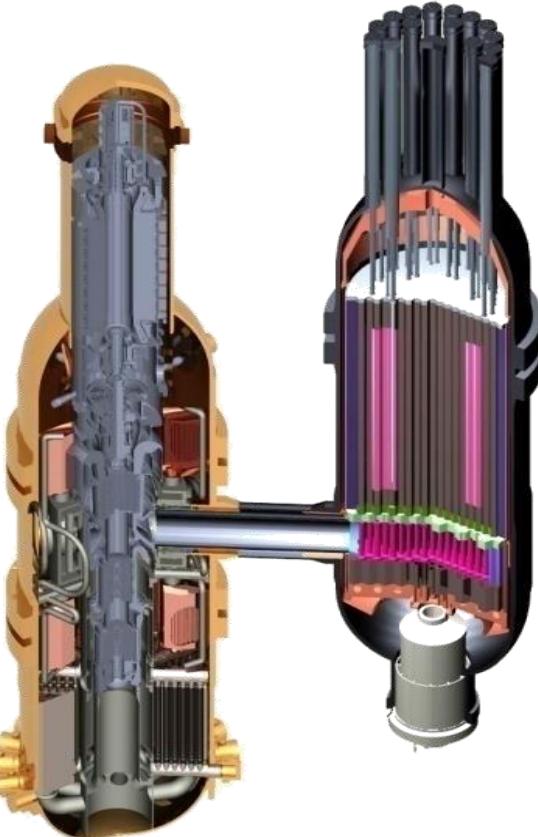
## Инвестиции на создание головной АЭТС



1. Уровень готовности технологий и имеющаяся кооперация разработчиков ключевого оборудования позволяют в короткие сроки развернуть работы по реализации проектов ВТГР в России и за рубежом
2. Головная АЭТС с ВТГР для производства Н<sub>2</sub> может быть сооружена до 2030 года с последующим сооружением серии АЭТС 2400 МВт (т) по одной АЭТС каждые 4 года



# Высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы (ВТГР) – расширение сферы применения атомной энергии



Высокие температуры повышают **эффективность генерации электричества** (~50%) и открывают возможность использования ВТГР для **технологических процессов**, в т.ч. переход к экологически чистой водородной энергетике. На базе технологии ВТГР предлагается новый продукт – «**Водород**».



Пассивные системы расхолаживания, обеспечивают **наивысший уровень безопасности** и невозможность расплавления активной зоны. **Высокий коэффициент использования тепловой энергии** обеспечивает низкое тепловое воздействие на окружающую среду



Использование топлива в виде микрочастиц с многослойными керамическими покрытиями обеспечивает **сверхвысокое выгорание** (десятки процентов), сжигание минорных актинидов, создание малых реакторов без перегрузки и длительное хранение ОЯТ

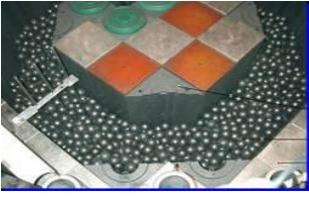


**Модульная компоновка** эффективна для малых и средних АС с высоким уровнем внутренней безопасности и маневренностью, что важно при сооружении в труднодоступных районах, странах с энергетикой небольшого масштаба и при использовании реакторов для энергетического применения

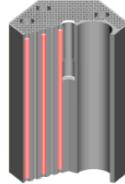
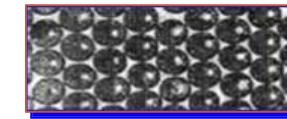


# Ключевые технологии ВТГР, разработанные в России

## Технологии



- ✓ топливо ВТГР (МТ, твила, ТВС)
- ✓ физика реактора
- ✓ конструкция модульного реактора
- ✓ высокотемпературные парогенераторы
- ✓ высокотемпературные теплообменники
- ✓ циркуляторы с гелиевым теплоносителем
- ✓ системы пассивной безопасности
- ✓ технология гелиевого теплоносителя
- ✓ системы расхолаживания
- ✓ система преобразования энергии
- ✓ модели и коды



**Россия имеет 45-летний опыт разработки ВТГР различного назначения**

Уровень готовности технологий позволяет в короткие сроки реализовать проект АЭТС с ВТГР в России

# Программа создания атомных энерготехнологических комплексов на базе ВТГР

Постановление СМ СССР №794-191  
от 16 июля 1987 г. « О создании и  
внедрении в народное хозяйство  
атомных энерготехнологических  
комплексов на базе ВТГР»

## Опытно-промышленные АЭС:

- для демонстрации энерготехнологических возможностей в г. Димитровград
- для теплоснабжения Кирово-Чепецкого завода минеральных удобрений г. Кирово-Чепецк

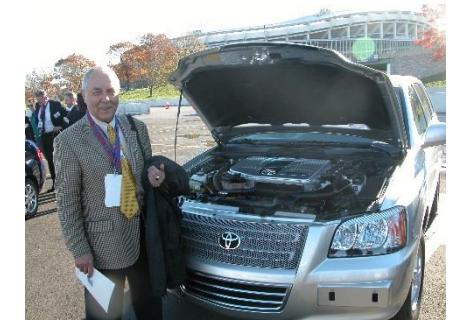
## Промышленные АЭС для теплоэнергоснабжения:

- химического производства минеральных удобрений в г. Котлас
- химического комплекса ПО «Полимир» г. Новополоцк
- нефтехимического комплекса ПО «Нижнекамскнефтехим» г. Нижнекамск



# Международное сотрудничество по водородной энергетике и ВТГР

- Международный проект ГТ-МГР. Минатом, General Atomics (США), Фраматом (Франция), Фуджи Электрик (Япония). Ключевые технологии (реактор, топливо, графит, ГТУ). В 2013 г. работы приостановлены, направление ВТГР сохранено в Росатоме как приоритетное, поручено искать партнеров и рынки сбыта
- Международное партнерство по водородной экономике (МПВЭ). Участники: Австралия, Англия, Бразилия, Германия, ЕС, Индия, Испания, Канада, Китай, Норвегия, Республика Корея, Россия, США, Франция, Япония
- R&D сотрудничество с Францией по БГР (быстрые гелиевые реакторы)
- Сотрудничество с КНР по HTR-PM
- Сотрудничество с ЮАР по PBMR



# Водородная энергетика в Стратегии Росатома

## Водород – производство - новый ключевой продукт Росатома

- Россия может взять на себя инициативу крупномасштабного экологически чистого атомного промышленного производства водорода и поставок на рынок этого высокотехнологичного продукта с высокой добавочной стоимостью
- Атомное производство водорода с использованием воды и углеродов способствует декарбонизации, кратно увеличит долю АЭ в энергетике, сохраняет углеводородные ресурсы

## Водород – распределение, хранение, транспортировка, потребление

- Водородные топливные элементы, электролизеры, накопители и их использование в энергетике, коммунальном секторе и на транспорте
- Построение интегрированной энергосистемы, сопрягающей традиционную энергосистему с возобновляемой и водородной энергетикой, обеспечивающей улучшение экологии и повышение экономической эффективности
- Безопасность, нормы и правила производства водорода и его использования

## Ресурсы и база знаний России по водородной энергетике

- Для реализации этого высокотехнологичного направления Россия имеет сырьевые ресурсы (вода, природный газ, углероды, ядерное топливо) и уникальную базу знаний, накопленных в процессе исследований и разработок атомно-водородной энергетики

# **Развитие технологий водородной энергетики соответствует заданиям Указа Президента 7 мая 2018 года**

- Ускорение научно-технологического развития
- Обеспечение темпов экономического роста выше мировых
- Развитие экспорта несырьевых высокотехнологичных продуктов
- Кардинальное снижение уровня загрязнения атмосферного воздуха с уменьшением объёма выбросов загрязнений не менее чем на 20 процентов
- Обеспечению присутствия России в числе пяти ведущих стран мира, осуществляющих научные исследования и разработки в областях, определяемых приоритетами научно-технологического развития

## Выводы

- ❑ Водородная экономика (широкомасштабное производство и потребление водорода) нацелена на решение глобальных задач декарбонизации и ресурсообеспеченности развития общества
- ❑ Новым ключевым продуктом Госкорпорации «Росатом» должен стать водород: потребности и рынок водорода сравнимы в энергетическом эквиваленте с традиционным продуктом Росатома - электроэнергией
- ❑ Для реализации этого высокотехнологичного направления Россия имеет необходимые сырьевые ресурсы и знания, накопленные в процессе многолетних исследований и разработок атомно-водородной энергетики
- ❑ Проект атомной энерготехнологической станции экологически чистого атомного производства водорода из воды и природного газа представляет интерес для участия зарубежных партнеров
- ❑ Атомно-водородная энергетика – стабильный путь для глобального энергетического перехода и технологического прорыва. Развитие водородной энергетики – важный элемент в решении задачи о вхождении Госкорпорации «Росатом» в число технологических лидеров мира

# Предложение в решение

- Рекомендовать включить направление «Водородная энергетика» в состав Национальных проектов научно-технологического и социально-экономического развития Российской Федерации, разрабатываемых во исполнение Указа Президента 7 мая 2018 г.