



ФЭИ  
РОСАТОМ

# **Системный анализ вариантов ядерного производства водорода**

**авторы: В.М. Декусар, А.Ф. Егоров, В.В. Коробейников,  
А.Л. Мосеев, Л.П. Пупко, О.С. Гурская**

Секция 1. Двухкомпонентная атомная энергетика  
и перспективные ядерные установки, НЕЙТРОНИКА–2024

**Егоров Александр Федорович, к .т. н.,**  
снс, Отделение Ядерной Энергетики

# KIND, INPRO Hydrogen — ИНПРО (МАГАТЭ)

Key Indicators for Innovative Nuclear Energy Systems (KIND)

Исследование совместного проекта INPRO по ядерно-водородным системам: движущие силы и институциональные, экономические и юридические препятствия (INPRO Hydrogen): 19 стран

## Существующие подходы по многокритериальному сравнению альтернатив в ядерной энергетике

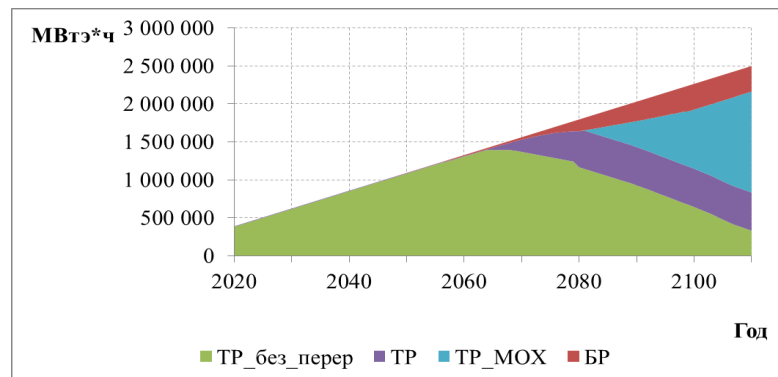
	Технологическое	Сценарное	Проектное
Безопасность	+	-	+
Удельные ограничения по ресурсам	+	+	+
Интегральные ограничения по ресурсам	-	+	-
Привязка по времени	-	+	+
Географическая привязка	-	-	+
Учет экспортного потенциала технологий и услуг	-	+	+
Масштаб потребления	-	+/-	+
Связь с существующей промышленной инфраструктурой и ло	-	-	+
Наименьшая неопределенность экономического критерия	--	-	+
Освоенность	+	-	-

\*) Считается, что все технологии, которые участвуют в сценарии удовлетворяют существующим требованиям безопасности

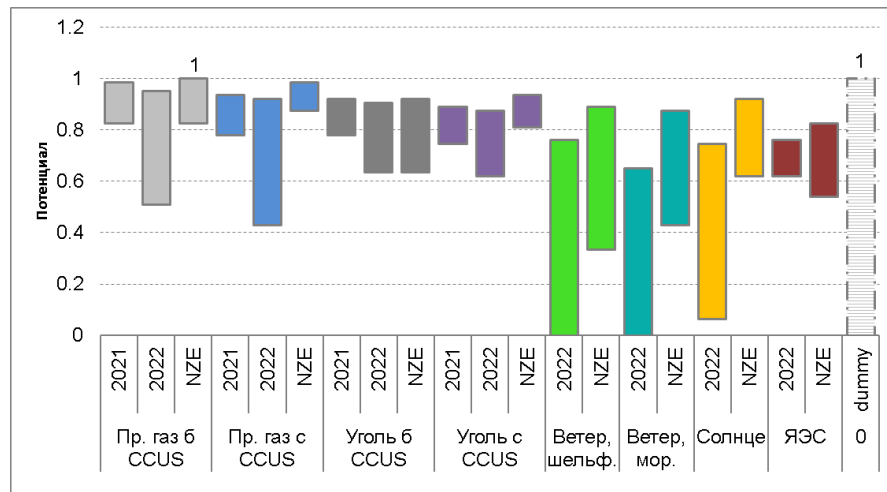
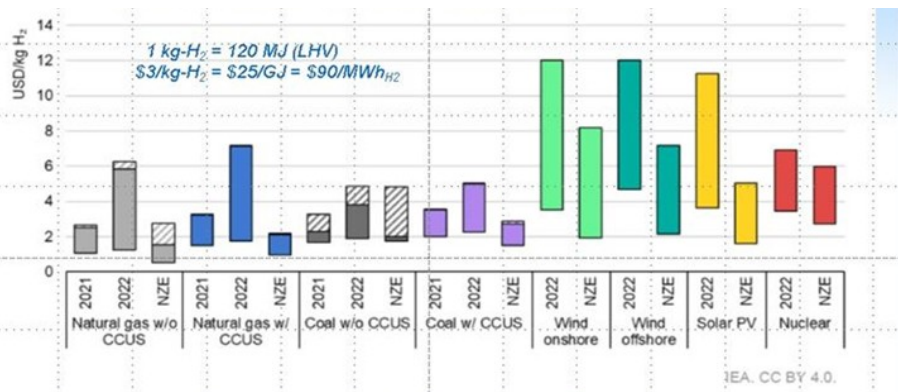
+/- - применимо либо нет

## Базовая структура выработки электроэнергии глобальной ЯЭС

До 2063 года тепловые реакторы без переработки собственного ОЯТ доминируют в структуре выработки электроэнергии глобальной ЯЭС (область графика закрашена зеленым цветом). Таким образом, экономически оправданным до 70-х годов текущего столетия будет развитие глобальной ЯЭС на основе открытого ЯТЦ с тепловыми реакторами и урановым топливом.



# Неопределенности стоимости производства водорода в 2021, 2022 и в случае сценария нулевых выбросов CO2 в атмосферу



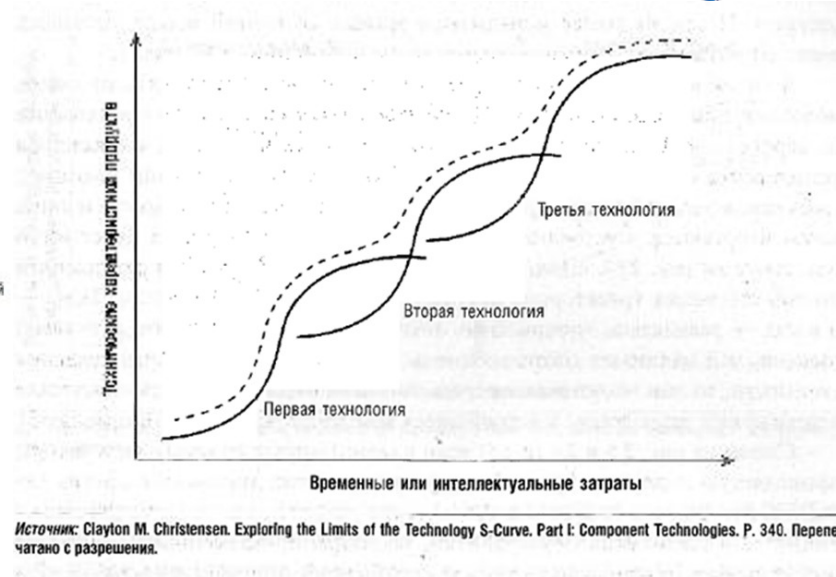
Неопределенность стоимости

Неопределенность потенциалов производства водорода в 2021, 2022 и в случае сценария нулевых выбросов CO2 в атмосферу с учетом экономического критерия

# Этапность и инновации в ядерной энергетике

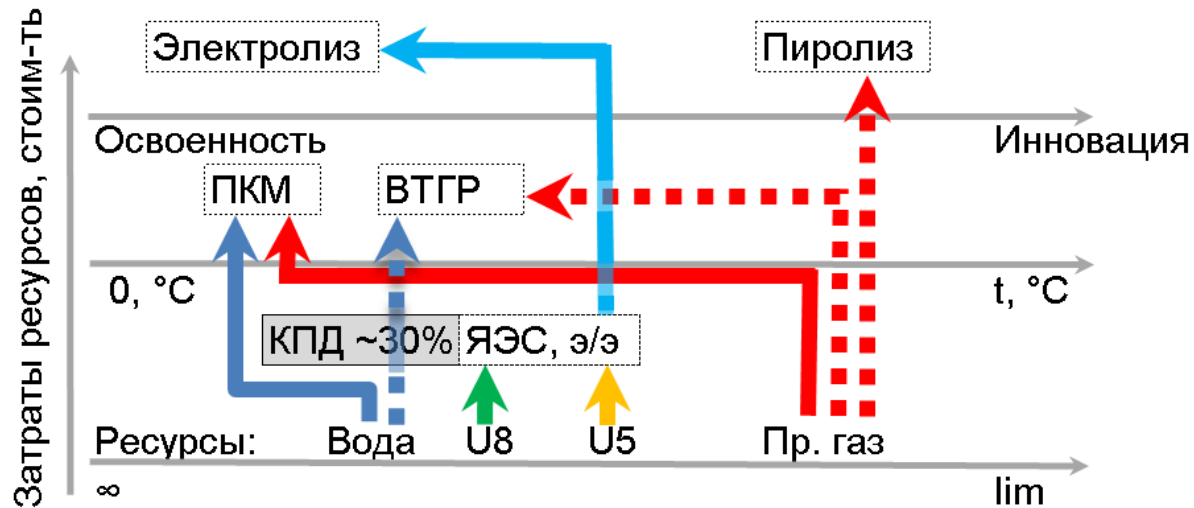


Этапы развития НИОКР

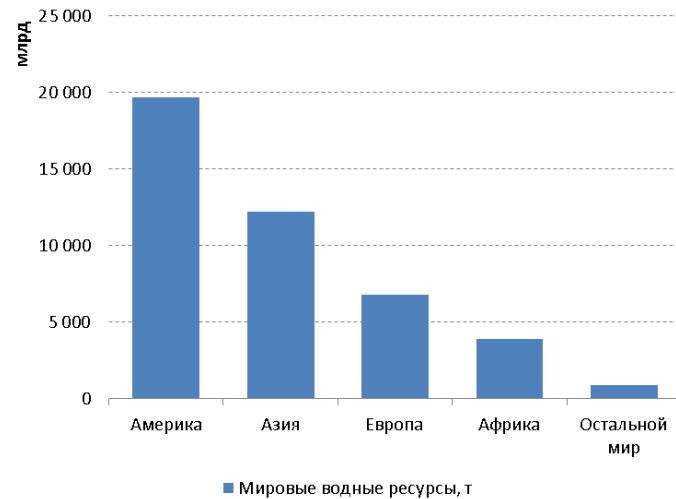
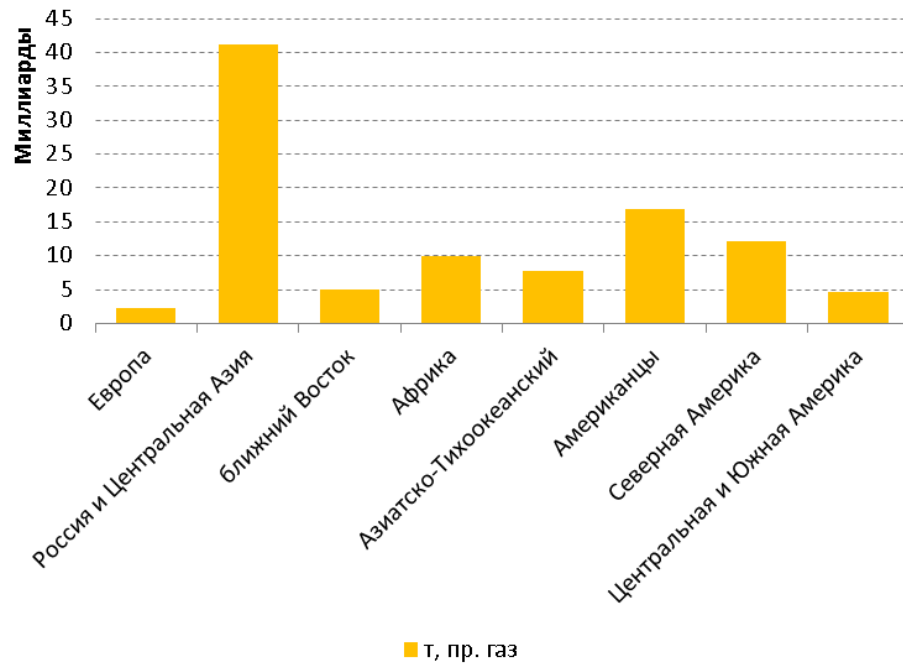


Пересечение S-кривых старой и новой технологии.

# Базовая структура выработки водорода глобальной ЯЭС

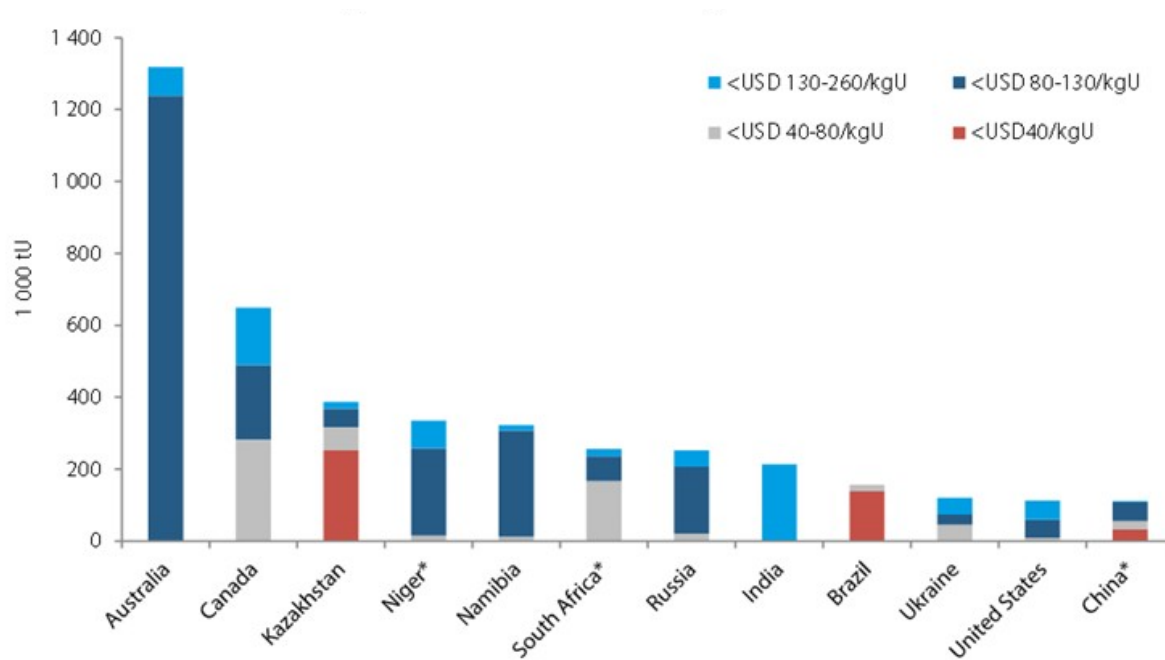


## Запасы природного газа ведущих производителей, запасы воды



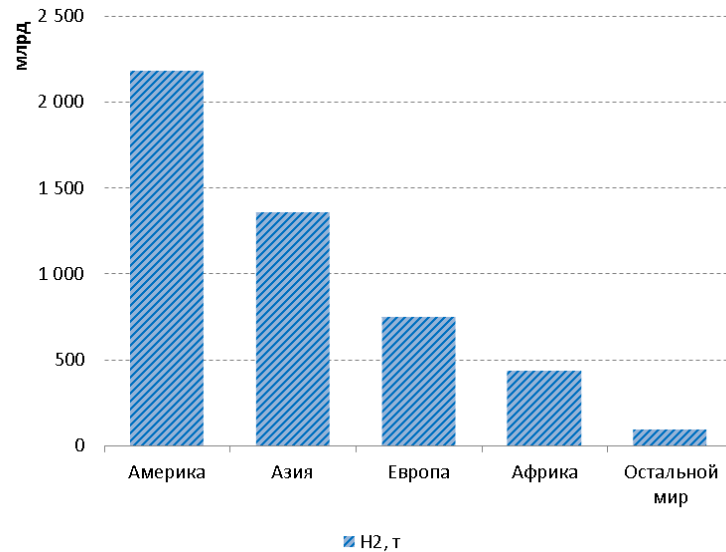
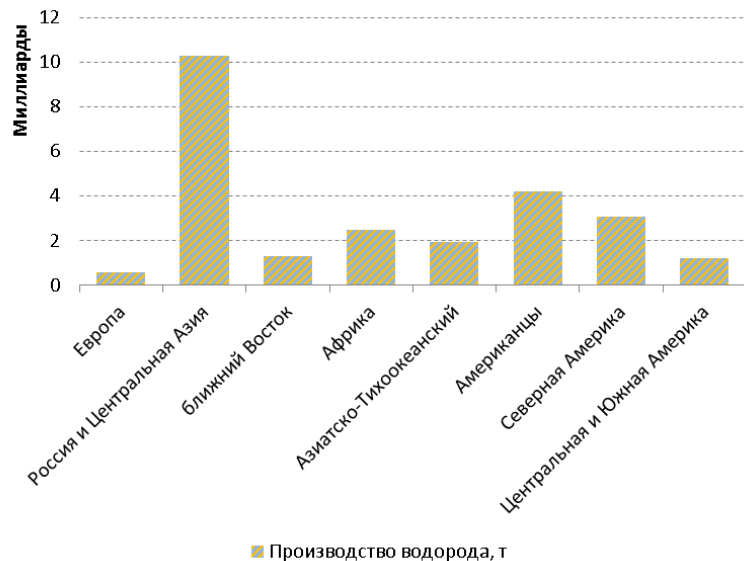
Запасы воды по регионам мира

## Запасы природного урана



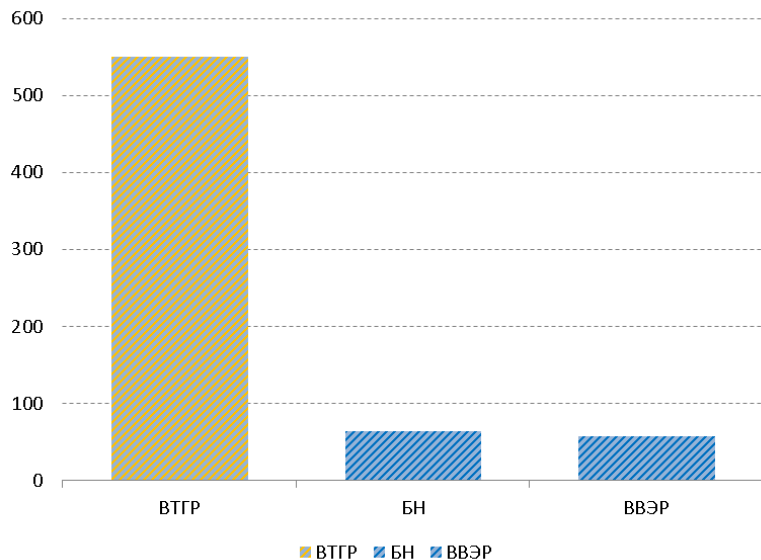
\* Secretariat estimate or partial estimate.

# Пределные возможности по производству водорода методом ПКМ, электролизом по регионам мира



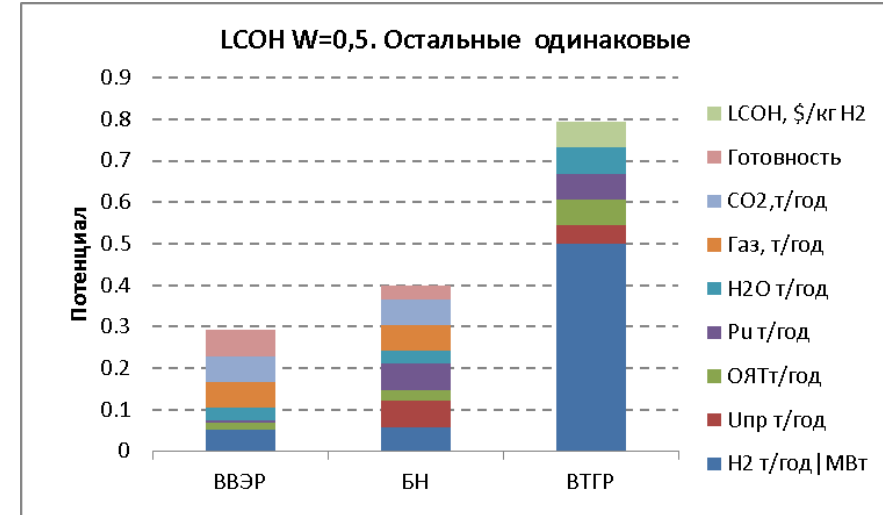
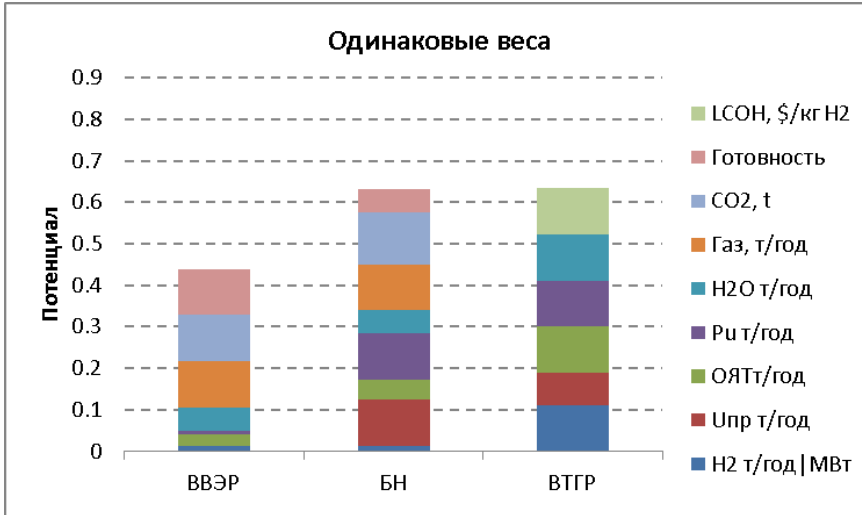


# Производство водорода в год на 1 мегаватт тепловой мощности: ВТГР, БН, ВВЭР



	На тонну водорода		
	ВВЭР	БН	ВТГР
W(эл), ГВт	1,26	1,22	
КПД	39	44	
КИУМ	0,91	0,9	0,9
W(тепл)ГВт	3230,8	2800	200
H <sub>2</sub> т/год	182622	176825	110000
<b>Показатели для вычисления индикаторов</b>			
H <sub>2</sub> т/год	56,	63	550
<b>Нормировка на тонну водорода</b>			
Uпр т/год	0,0010404	0	0,0001909
ОЯТ т/год	1,26E-04	7,92E-05	3,44E-05
Pи т/год	1,37E-06	1,24E-06	1,00E-07
H <sub>2</sub> O т/год	9	9	4,5
Газ, т/год	0	0	2
CO <sub>2</sub> т/год	0	0	5,5
Готовность, баллы	1	2	3
LCOH, \$/кг H <sub>2</sub>	6000	6000	1450

# Рейтинги технологий для АВЭ при одинаковой значимости критериев оценки (одинаковые веса), Рейтинги технологий для АВЭ при наборе весов W2(50% на водород)



## Выводы (1):

1. Производство водорода во многих странах мира уже давно освоено в промышленном масштабе без использования ядерных технологий, однако оно обладает рядом недостатков, связанных, прежде всего с проблемами экологии и расточительными расходами природного газа. Поэтому использование более экологичной и экономичной АВЭ является актуальным.
2. В условиях экономической неопределенности целесообразно рассматривать дополнительные к экономике критерии и сравнивать потенциалы альтернатив на основе многокритериального анализа.
3. . МКА является математической формализацией процедуры принятия решений и широко применяется во многих отраслях промышленности и науки. Математическое описание процедуры позволяет понять сам механизм принятия решения, и использовать возможности современной вычислительной техники.

## Выводы (2):

4. В работе содержится постановка задач многокритериального анализа (МКА) для анализа атомно-водородной энергетики, формулируются принципы и алгоритмы сравнительного анализа возможных альтернатив развития АВЭ, рассматривается переход от экономической оценки к многокритериальной.
5. Проведено определение предварительных наборов критериев и альтернатив для анализа эффективностей технологий и установок производства водорода. Приводится предварительное сравнение рейтингов технологий АВЭ с разными модельными наборами весов – значимостей критериев.

# Спасибо за внимание

**Егоров А.Ф.**

СНС

Тел.: +7 (48439) 9-85-31

E-mail: [alexfegorov@ippe.ru](mailto:alexfegorov@ippe.ru)

[www.ippe.ru](http://www.ippe.ru)

**28.05.2024**

