

21
Год
наук
и технологий



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Год науки и технологий
Российской Федерации

Анализ экономичности производства водорода методом электролиза с использованием источников безуглеродной генерации в российских условиях

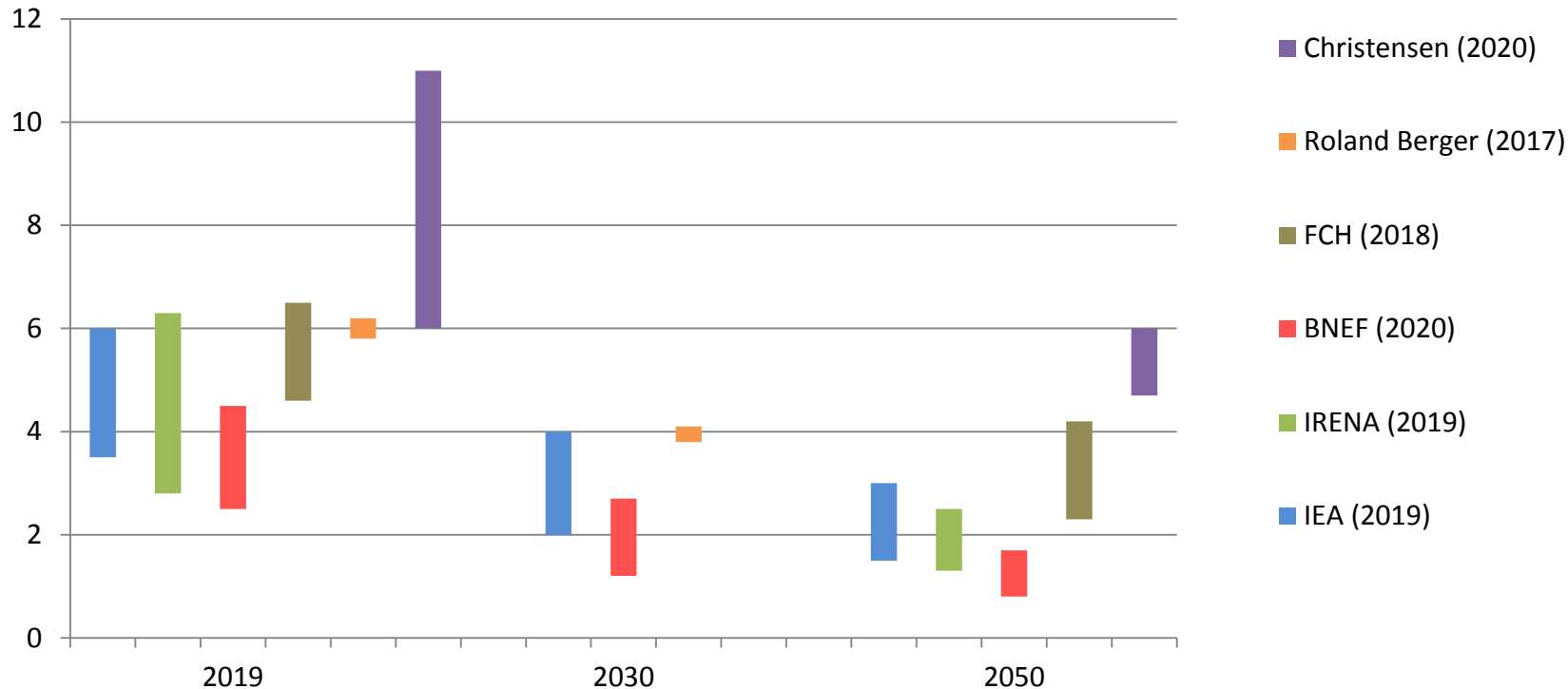
Доклад на Всероссийской молодежной конференции
«Системные исследования в энергетике-2021» (Иркутск)

Соляник А.И. (ИНЭИ РАН, Москва)



Неопределенность оценок стоимости производства водорода электролизом на базе возобновляемой генерации

долл/кг H₂

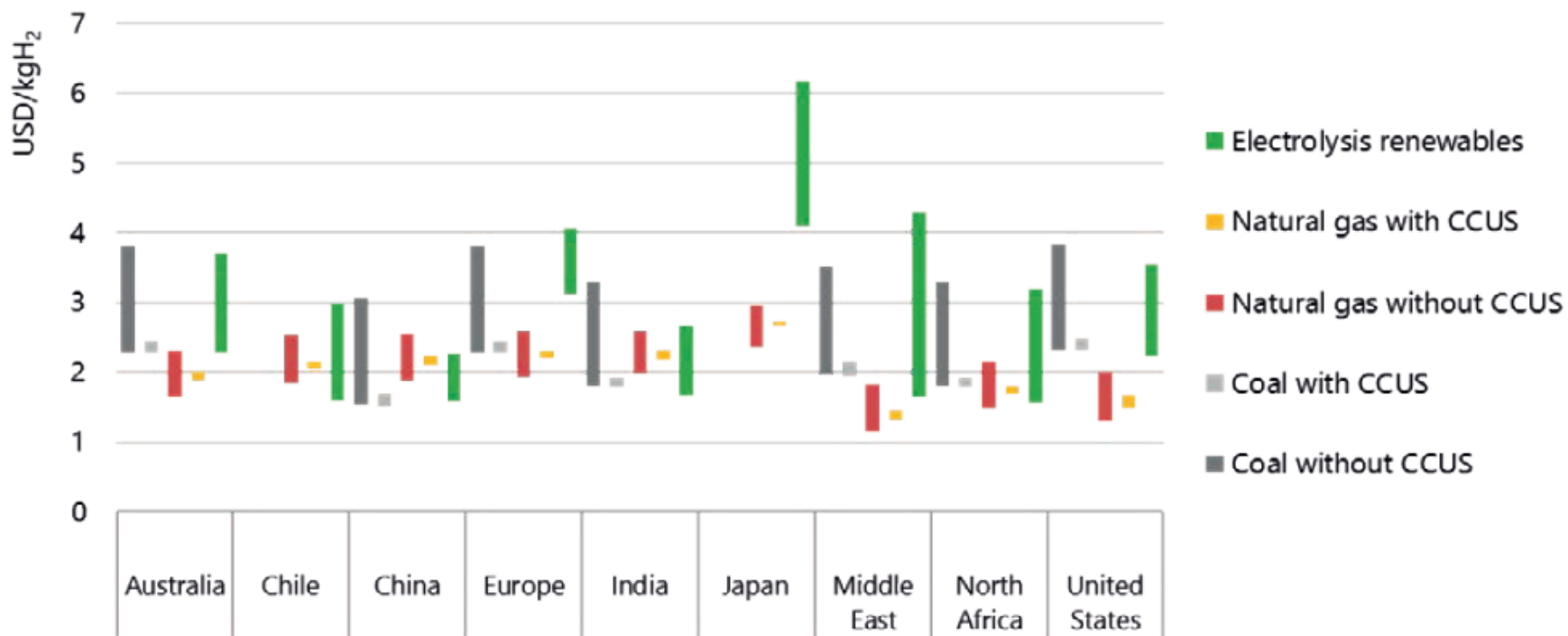


- Потенциал снижения стоимости производства водорода (LCOH) очевиден
- Однако оценки как его темпов, так и самих диапазонов LCOH существенно различаются

Оценки стоимости производства водорода по регионам мира (IEA, 2019)



Figure 19. Hydrogen production costs in different parts of the world



- Большой разброс оценок и в разрезе регионов мира
- Отсутствуют оценки для России
- Отсутствуют оценки для связки «электролизер – АЭС»

Решаемая задача и основные допущения

Оценивается стоимость производства «зеленого» водорода (LCOH) в России с использованием выделенного объекта генерации:

$$LCOH = (CAPEX * A + OPEX) / CF + EIPr * EfRate$$

CAPEX – удельные капиталовложения;

A – коэффициент аннуитета (возврат инвестиций);

OPEX – удельные условно-постоянные затраты;

CF – КИУМ электролизера;

EIPr – цена потребляемой электроэнергии;

EfRate – удельное электропотребление электролизера.

- связка «электролизер – источник генерации» работает в «островном режиме» (без обмена с энергосистемой)
- КИУМ электролизера принят равным КИУМу источника генерации (т.е. у них единый режим работы)
- учтены режимные особенности технологий электролиза:
 - щелочные электролизеры (ALK) питаются от АЭС (равномерный режим потребления),
 - протонообменно-мембранные электролизеры (PEM) - от ВИЭ (переменный режим потребления)

Показатели, принятые для расчетов

Показатели источника генерации

	CAPEX, долл./кВт (руб./кВт) <i>в ценах 2020 г</i>	ОРЕХ, % от CAPEX	КИУМ, %	Топливная составляющая АЭС, руб./МВт*ч
ВЭС 2020	1100 (80000)	2	25	
ВЭС 2030	700 (65000)	1,5	35	
СЭС 2020	900 (65000)	2	15	
СЭС 2030	535 (50000)	1,5	20	
АЭС 2020	1750 (125000)	2,5	90	300
АЭС 2030	1150 (110000)	2,5	90	260
ГЭС (без амортизации)	-	1000 руб./кВт* год	80	
АЭС (без амортизации)	-	3000 руб./кВт* год	90	300

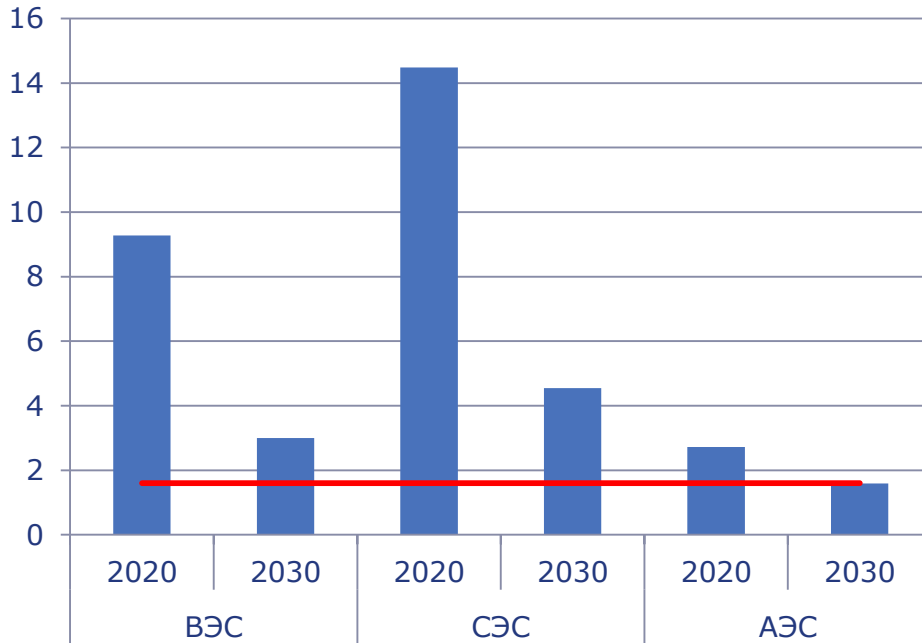
Показатели электролизера

	Щелочной электролизер (ALK)		PEM-электролизер	
	2020	2030	2020	2030
Режим работы	Только стабильный (снабжение от АЭС/ ГЭС)		Допустим переменный (снабжение от ВИЭ)	
CAPEX, долл./кВт (руб./кВт) <i>в ценах 2020 г</i>	1000 (73000)	550 (51000)	1800 (130000)	700 (65000)
ОРЕХ, % от CAPEX	1,5	1,5	2	1,5
Минимальная нагрузка, %	30%	30%	10%	10%
КПД, %	65%	70%	65%	70%
Срок службы ячеек, часов	100000	120000	50000	80000
Срок службы системы, лет	20	20	20	20

- Перевод из рублей в доллары выполнен исходя из курса 73 руб./долл. в 2020 и 93 руб./долл. в 2030 (соответствует прогнозной инфляции 1,5% для доллара и 4% для рубля)
- Расчеты выполнены при ставке дисконтирования 8%

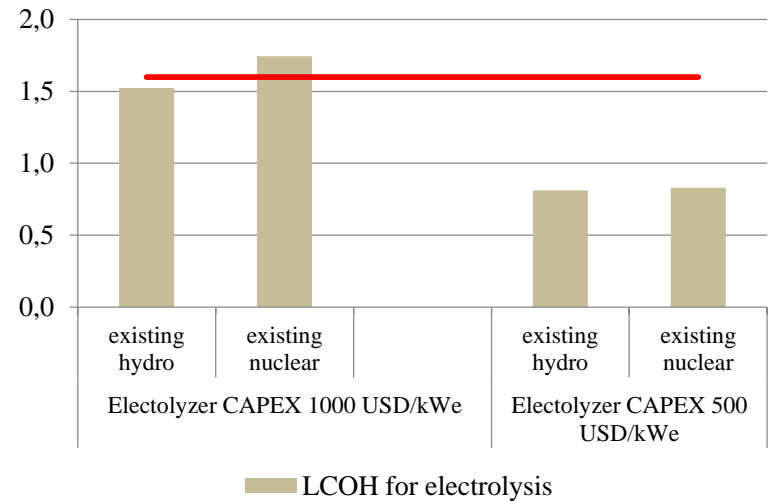
Оценка стоимости производства водорода в России (в сравнении с традиционным методом паровой конверсии метана)

LCOH при использовании разных источников генерации, долл/кг H₂



■ Электролиз — Паровая конверсия метана (IEA, 2019)

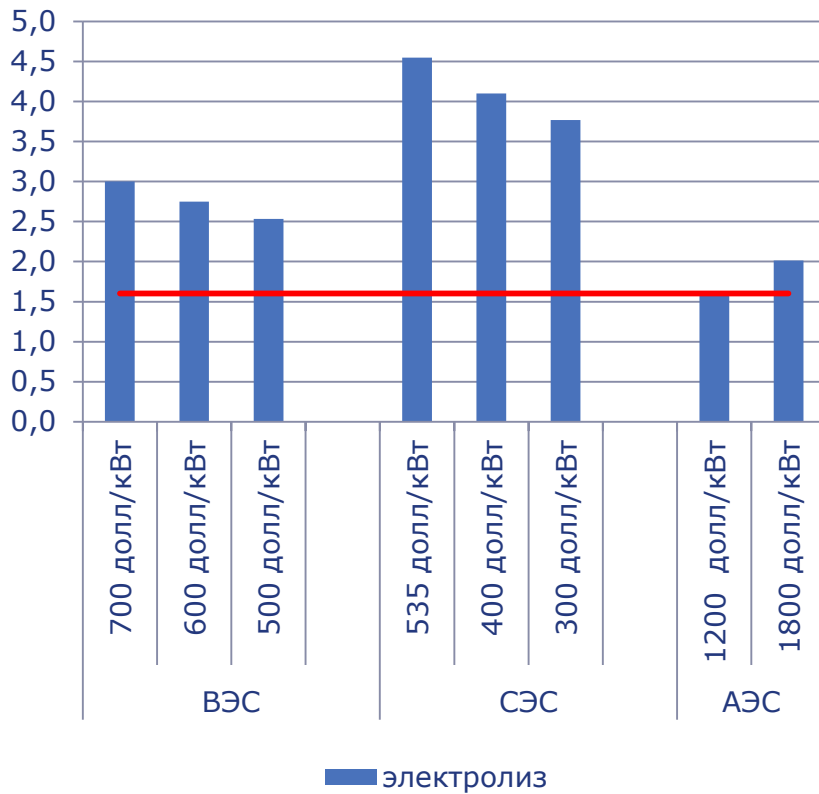
LCOH (снабжение от полностью амортизированных станций), долл/кг H₂



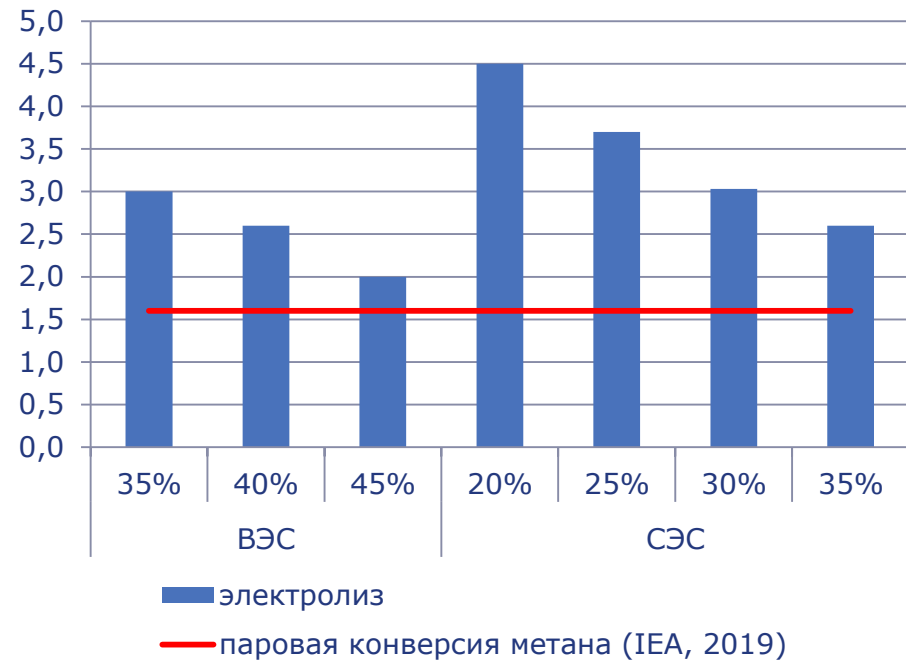
Для паровой конверсии метана приведена оценка МЭА для России (1,6 долл/кг)

Чувствительность LCOH к варьированию факторов

LCOH при варьировании CAPEX источников генерации, долл/кг H₂

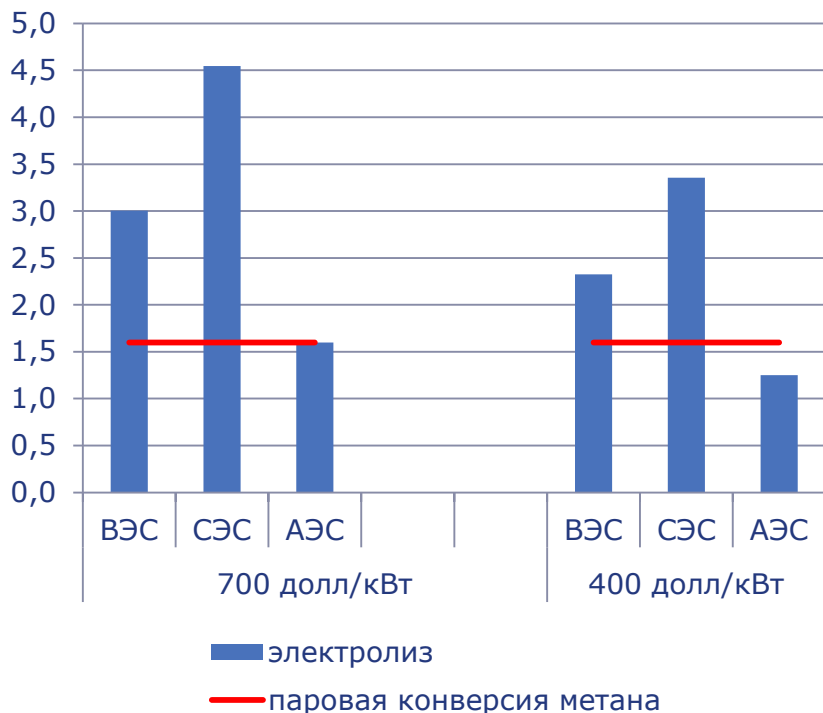


LCOH при варьировании КИУМ источников генерации, долл/кг H₂

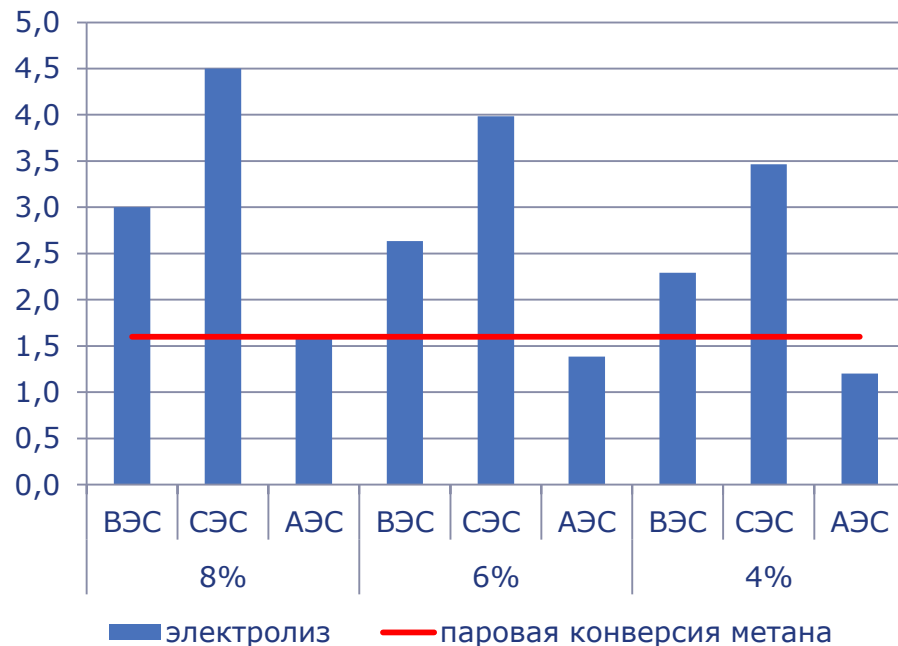


Чувствительность LCOH к варьированию факторов (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

**LCOH при варьировании CAPEX
электролизера, долл/кг H₂**



**LCOH при варьировании ставки
дисконтирования, долл/кг H₂**



Чувствительность LCOH к одновременному варьированию нескольких факторов

Параметр	Значение	ВЭС	СЭС	АЭС
CAPEX электролизера CAPEX ВЭС/СЭС КИУМ ВЭС/СЭС Дисконт	базовый базовые оптимистические оптимистический	1,78	1,98	1,33
CAPEX электролизера CAPEX ВЭС/СЭС КИУМ ВЭС/СЭС Дисконт	базовый оптимистические оптимистические базовый	1,93	2,87	1,33
CAPEX электролизера CAPEX ВЭС/СЭС КИУМ ВЭС/СЭС Дисконт	оптимистический базовые базовые оптимистический	1,78	2,26	1,07
CAPEX электролизера CAPEX ВЭС/СЭС КИУМ ВЭС/СЭС Дисконт	оптимистический оптимистические базовые оптимистический	1,41	1,96	1,07
CAPEX электролизера CAPEX ВЭС/СЭС КИУМ ВЭС/СЭС Дисконт	оптимистический базовые оптимистические оптимистический	1,38	1,46	1,07
CAPEX электролизера CAPEX ВЭС/СЭС КИУМ ВЭС/СЭС Дисконт	оптимистический оптимистические оптимистические оптимистический	1,10	1,12	1,07
<i>Паровая конверсия метана</i>		<i>1,60</i>		

Дальнейшие направления исследований

1. Формирование аналогичных калькуляторов для расчета стоимости производства водорода иными методами (паровая конверсия, пиролиз)
2. Обратная задача - расчеты стоимости электроэнергии, производимой с использованием водорода (топливные ячейки, ГТУ на метан-водородной смеси)
3. Расчеты стоимости разных вариантов хранения и транспортировки водорода
4. Интеграция водородных технологий в существующий модельно-информационный инструментарий ИНЭИ РАН

Благодарим за
внимание!

Контакты автора:
andsolyanik@yandex.ru

Валидация нашего калькулятора LCOH

CAPEX, долл/кВт	ЧЧИМ электролизера	LCOH, долл/кг H2		Разница	Цена эл.энергии, цент/кВт*ч	ЧЧИМ электролизера	LCOH, долл/кг H2		Разница
		наш расчет	данные МЭА				наш расчет	данные МЭА	
650	600	8,0	8,2	-0,2	10	600	9,1	9,2	-0,1
	1400	4,5	4,7	-0,1		1400	6,6	6,5	0,2
	2000	3,8	3,8	-0,1		2000	6,1	6,0	0,1
	4000	2,8	2,9	0,0		4000	5,5	5,5	0,0
	6000	2,5	2,5	0,0		6000	5,2	5,2	0,0
	8000	2,4	2,4	0,0		8000	5,1	5,1	0,0
550	600	7,1	7,3	-0,2	8	600	8,1	8,2	-0,1
	1400	4,2	4,3	-0,1		1400	5,7	5,5	0,2
	2000	3,5	3,6	-0,1		2000	5,1	5,0	0,1
	4000	2,7	2,7	0,0		4000	4,5	4,5	0,0
	6000	2,4	2,4	0,0		6000	4,3	4,3	0,0
	8000	2,3	2,3	0,0		8000	4,2	4,2	0,0
450	600	6,2	6,3	-0,2	6	600	7,1	7,2	-0,1
	1400	3,7	3,9	-0,1		1400	4,7	4,6	0,1
	2000	3,2	3,3	-0,1		2000	4,2	4,1	0,1
	4000	2,6	2,6	0,0		4000	3,5	3,5	0,0
	6000	2,4	2,4	0,0		6000	3,3	3,3	0,0
	8000	2,2	2,2	0,0		8000	3,2	3,2	0,0
350	600	5,2	5,4	-0,1	4	600	6,2	6,2	-0,1
	1400	3,3	3,4	-0,1		1400	3,7	3,6	0,1
	2000	2,9	3,0	0,0		2000	3,2	3,1	0,0
	4000	2,4	2,5	0,0		4000	2,6	2,6	0,0
	6000	2,3	2,3	0,0		6000	2,4	2,4	0,0
	8000	2,2	2,2	0,0		8000	2,2	2,2	0,0
250	600	4,3	4,4	-0,1	2	600	5,2	5,3	-0,1
	1400	2,9	3,0	-0,1		1400	2,8	2,7	0,1
	2000	2,6	2,7	0,0		2000	2,2	2,2	0,0
	4000	2,3	2,3	0,0		4000	1,6	1,6	0,0
	6000	2,2	2,2	0,0		6000	1,4	1,4	0,0
	8000	2,1	2,1	0,0		8000	1,3	1,3	0,0