

Юлия Ляшик

Старший специалист Проектного центра по энергопереходу и ESG Сколтеха

Свежий взгляд на межтопливную конкуренцию

Актуальность



Мировой энергетический кризис 2021-2022 и глобальная перестройка цепочек торговли энергоносителями в результате санкций 2023



На фоне энергетического перехода и обеспокоенности о климатических изменениях, основной движущей силой в межтопливной конкуренции становится экологический фактор



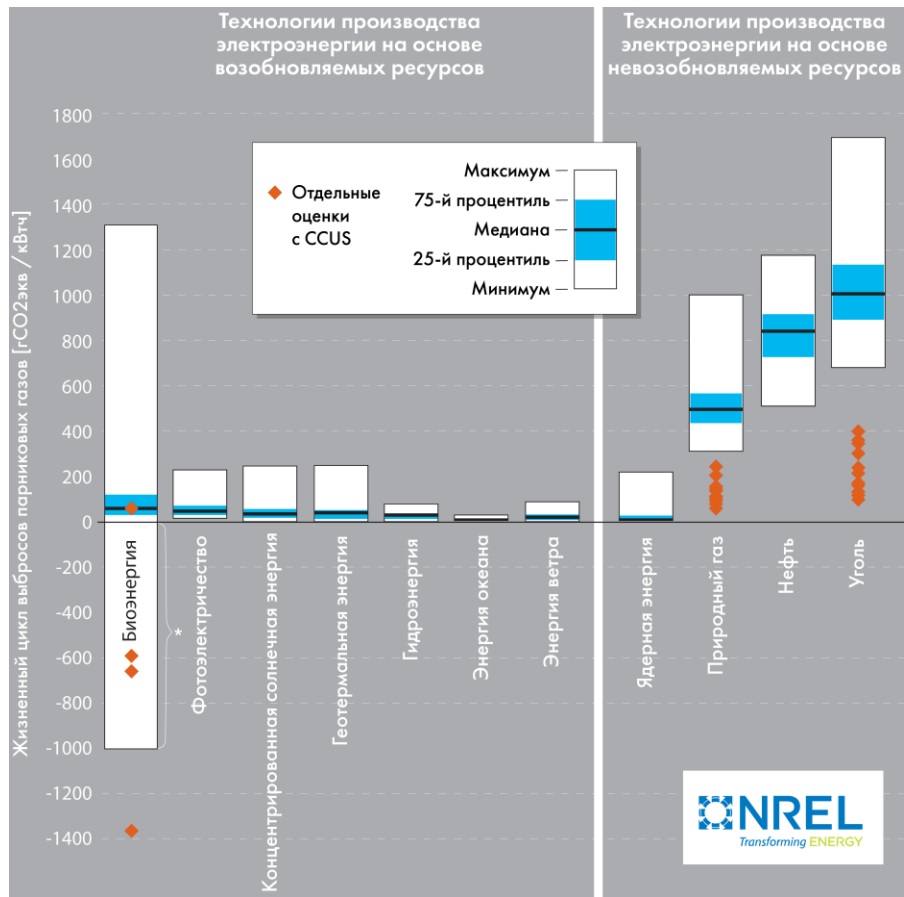
В дискуссии про преимущества и недостатки различных систем производства энергии зачастую опираются на стереотипы и предрассудки, не подтвержденные фактами



Исследования и инновации имеют решающее значение для предоставления решений и системных преобразований.

Факторы конкурентоспособности

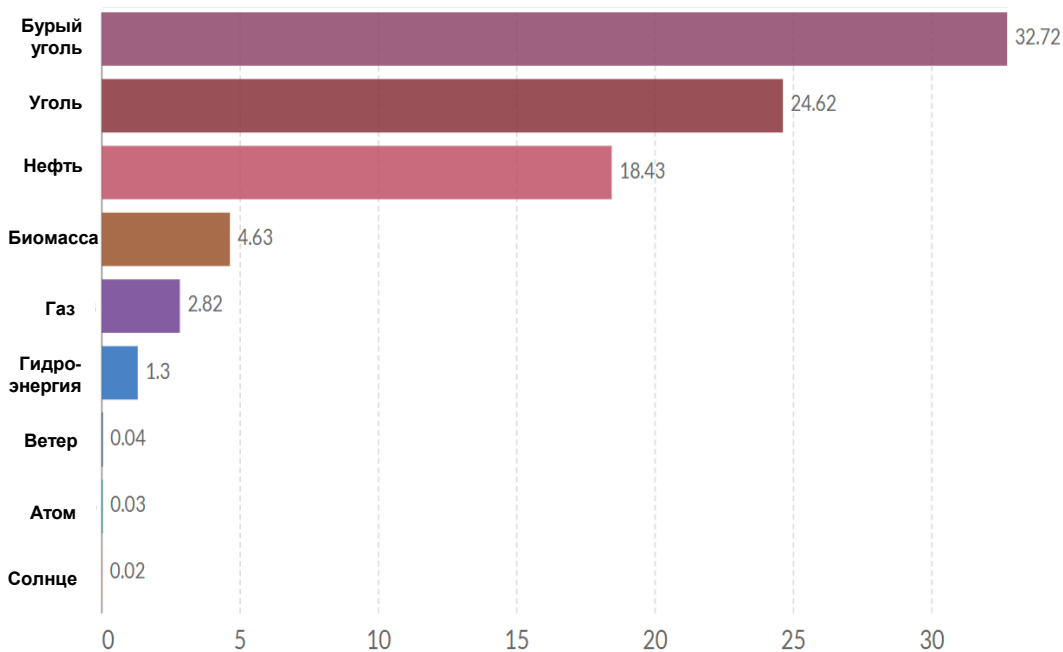
- Углеродный след в течение жизненного цикла
- Безопасность
- Срок службы
- Полная приведенная стоимость
- Системные издержки и стоимость обеспечения пиковой нагрузки
- Ресурсоемкость
- Землепользование
- Материалоемкость и потребность в критическом сырье



Выбросы ПГ в течение жизненного цикла

- Однако **выбросы ПГ связаны как с традиционными, так и с ВИЭ**, когда учитываются все стадии от добычи сырья до утилизации
- Выбросы ПГ от технологий ВИЭ или АЭС в целом значительно ниже**, чем выбросы, связанные с использованием ископаемых видов топлива
- Доля выбросов ПГ от каждого этапа жизненного цикла различается** - подавляющее большинство выбросов для технологий на ископаемом топливе во время эксплуатации, для ВИЭ и АЭС до начала эксплуатации
- Потенциальное влияние снижения содержания урана в урановой руде создает основное различие между ядерными и возобновляемыми технологиями с точки зрения будущего потенциала снижения выбросов ПГ.
- Поглощающая способность водохранилищ ГЭС значительно превышает выбросы ПГ, что подтверждает отрицательный углеродный баланс и позволяет говорить о снижении углеродного следа регионов, в которых они располагаются.

Показатели смертности на единицу произведенной электроэнергии
(ТВт-час)



Источник: Our World Data - Markandya & Wilkinson (2007); Sovacool et al. (2016); UNSCEAR (2008; & 2018)

Безопасность

1. Не существует абсолютно безопасного источника энергии. Все они оказывают краткосрочное воздействие на здоровье человека либо в результате загрязнения воздуха, либо в результате аварий. И долгосрочное воздействие, поскольку содействуют изменению климата.

2. При этом атомная энергетика и ВИЭ, за исключением биоэнергии, имеют наименьший уровень смертности на единицу производства электроэнергии.

3. Несмотря на наличие проблем с общественным восприятием, ядерная энергетика снова получает государственную поддержку.

Срок службы систем производства энергии

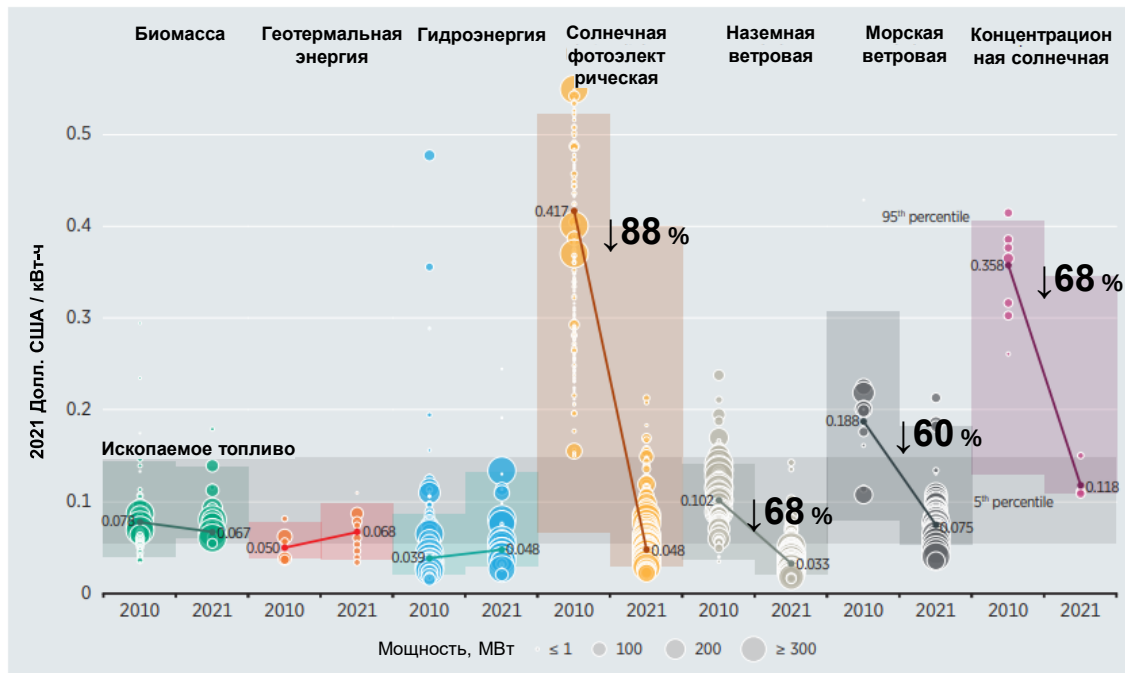


- **Электростанции, работающие на ископаемом топливе, включая атомные станции, имеют более длительный срок службы, чем ВИЭ, за исключением ГЭС.**
- **Однако, стоимость замены оборудования и пересмотр технологических процессов может значительно влиять на конкурентоспособность** этих источников энергии. ВИЭ, в частности, имеют более высокую стоимость замены оборудования, но также более низкие эксплуатационные расходы, чем атомные и работающие на ископаемом топливе электростанции.
- **Сегодня существует тенденция продления срока службы ветряных и солнечных станций,** что может поставить их на один уровень с угольной и газовой генерацией.

Полная приведенная стоимость электроэнергии

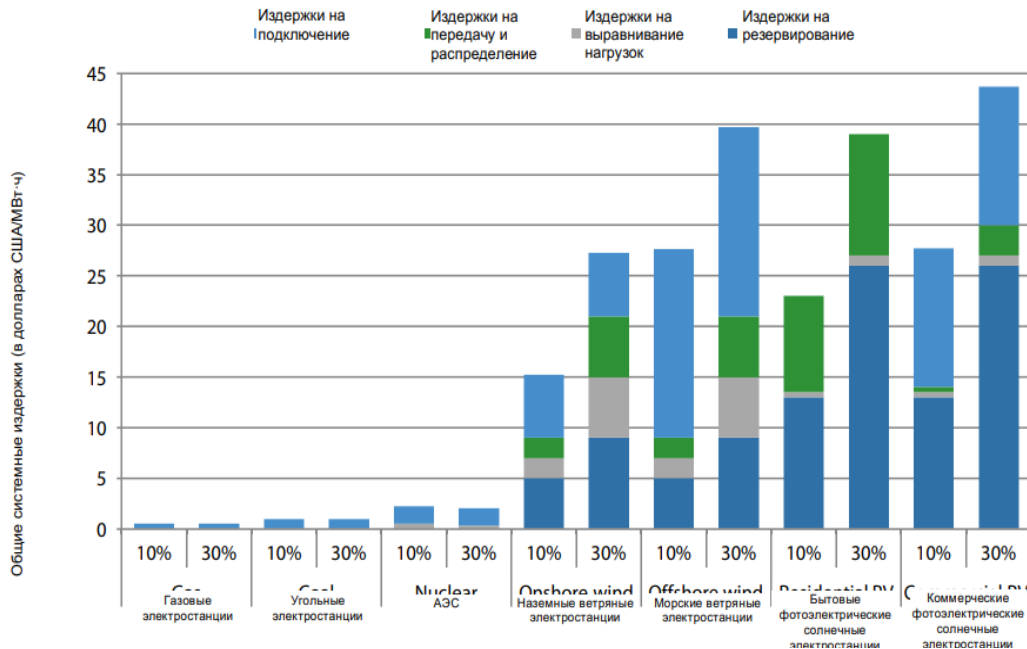
- С 2010 по 2021 произошел серьезный сдвиг в балансе конкурентоспособности - LCOE вновь введенных в эксплуатацию проектов снизился
- В 2021 году LCOE новых **солнечных** фотоэлектрических систем и **ГЭС** в глобальном масштабе был на 11% ниже, чем самый дешевый новый вариант на ископаемом топливе, LCOE **морских** ветряных станций был на 39% ниже.
- Геотермальная** энергия и **биоэнергетика** в среднем остаются более дорогими, чем самый дешевый вариант ископаемого топлива
- Стоимость солнечных фотоэлектрических и наземных ветряных систем становится все **более низкой, чем предельные эксплуатационные расходы существующих ископаемых электростанций**

Полная приведенная стоимость электроэнергии вновь введенных в эксплуатацию ВИЭ, 2010-2021 гг.



Источник: IRENA Renewable Cost Database

Системные издержки и стоимость обеспечения пиковой нагрузки



Источник: Агентство ядерной энергии (АЯЭ), ОЭСР

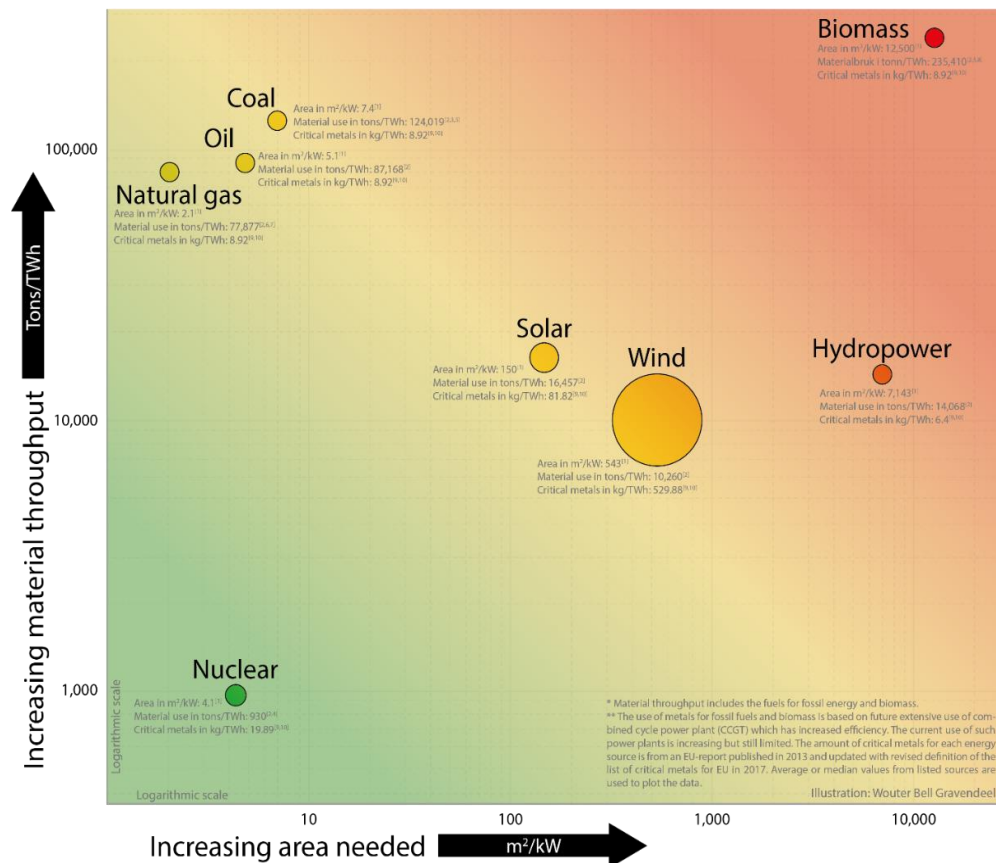
1. Системные издержки на уровне сети, связанные с внедрением переменных ВИЭ, достигают значительного **размера** и увеличиваются непропорционально с долей переменных ВИЭ в энергосистеме.

2. В сравнении с технологиями базовой генерации, такими как угольные, газовые, атомные и гидроэлектростанции, **уровень системных издержек, связанный с внедрением переменных ВИЭ, как минимум на один порядок выше**

3. Флуктуирующая природа **ветровой и солнечной энергетики определяет повышенную стоимость обеспечения пиковой нагрузки**, по сравнению с АЭС, а также угольными и газовыми электростанциями.

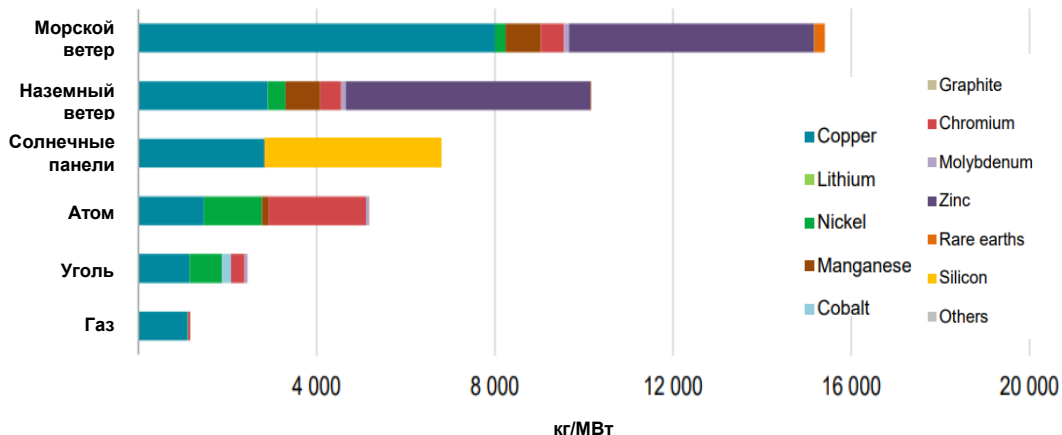
Ресурсоемкость

- **Биомасса** требует больше всего ресурсов из-за низкой плотности энергии по сравнению с ископаемым топливом. **Атомная** энергетика потребляет менее 1000 тонн материалов на ТВт/ч, что является самым низким показателем, потребность **ветра** в материалах более чем в 10 раз выше. **Гидроэнергетика и солнечная** энергия требуют еще больше материалов, в 14 и 18 раз соответственно, где подавляющее большинство — это бетон и сталь.
- Большинство ВИЭ энергосистем, за исключением геотермальной энергии, используют больше площади: от 50 до 150 раз, чем традиционные и ядерные системы



Skoltech

Потребность в критических видах минерального сырья



Источник: IEA

1. Строительство **солнечных** фотоэлектрических установок, **ветряных** электростанций, как правило, **требует больше минерального сырья**, чем их аналоги, работающие на ископаемом топливе.

Гидроэнергетика, биоэнергетика и атомная энергетика - незначительное воздействие на спрос на минеральное сырье из-за низкой материалоемкости. Работа **геотермальных станций** требует специальных металлов из-за особенностей процесса.

2. Главный вызов надежности и доступности поставок - ограниченное количество стран, производящих добычу редких металлов. IEA предлагает разработку альтернативных материалов, повышение эффективности использования, развитие переработки и повторного использования, а также снижение материалоемкости и инвестиции в инновации

Оценка факторов конкурентоспособности различных энергетических технологий

Источник энергии	Фактор конкурентоспособности							
	LCA	Безопасность	Срок службы	LCOE	Системные издержки	Материалоемкость	Землепользование	Критическое сырье
Уголь								
Нефть								
Природный газ								
Атомная энергия								
Гидроэнергия								
Энергия ветра								
Энергия солнца								
Геотермальная энергия								
Биоэнергия								

Технологические тренды развития устойчивой энергосистемы

02

Развитие технологий добычи углеводородов, минералов, необходимых для электрохимических накопителей и магнитов или урановой руды

04

Усовершенствованные геотермальные системы. Биоэнергия - новые процессы для снижения затрат и использования новых видов сырья



CCUS при сжигании угля, газа, нефти и биомассы. UCG-технологии для угольной генерации. Нефтегазовые компании - использование ПНГ, биотехнологии и др



Ветровая и солнечная энергетика - разработка модулей следующего поколения, ячеек, турбин и конструкций систем, компонентов системного баланса. Плавающие морские ветряные турбины

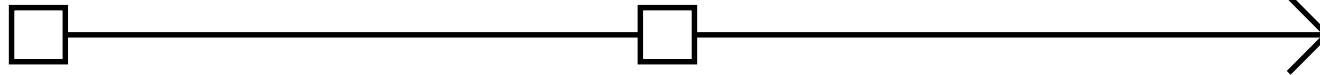


01

03

06

Технологии лазерного сканирования, цифрового моделирования и проектирования, автоматизированные технологии добычи, БПЛА, предиктивная аналитика, усовершенствованные датчики, облачные платформы, а также современные программные алгоритмы, детальные физические модели и методы вероятностного анализа безопасности



Межотраслевые тенденции, такие как цифровизация, данные и кибербезопасность, требуют от энергетической отрасли большего сотрудничества с другими отраслями для межотраслевых продуктов и решений

05

Ключевые выводы

- 01 | Результаты сравнения показывают, что ни одна система не является лучшей по всем факторам.
- 02 | В целом, с точки зрения безопасности, выбросов парниковых газов и ресурсоемкости ВИЭ и атомная энергия имеют преимущество перед ископаемым топливом. Подчеркивается влияние общественного мнения на развитие атомной энергетики.
- 03 | В свою очередь, в отношении сроков службы, системных издержек и необходимости в критических металлах имеют преимущество традиционные электростанции (гидроэнергетика и тепловая энергетика).
- 04 | При этом LCOE переменных ВИЭ ниже, чем самый дешевый вариант производства электроэнергии на ископаемом топливе.
- 05 | Внедрение инноваций оказывает мультипликативный эффект на несколько факторов. Выделен ряд инновационных технологий, направленных как на решение проблематичных мест отдельных источников энергии, так и межотраслевые решения, связанные с современными тенденциями цифровизации.