

# Экологическое воздействие на протяжении жизненного цикла как фактор конкурентоспособности энергетических технологий

## Environmental impact throughout the life cycle as a factor of energy technologies competitiveness

Анна ШИГИНА

Инженер Института энергетических исследований РАН (ИЭИ РАН)

E-mail: shigina.av@mail.ru

Руслан АЛИКИН

Научный сотрудник ИЭИ РАН

E-mail: ruslanalikin@bk.ru

Валентина ЛУЗАНОВА

Специалист, Ассоциация "НП КИЦ СНГ"

E-mail: v.luzanova@ciscenter.org

Дмитрий ВАДИВАСОВ

Заместитель руководителя департамента "Тур"

Ассоциации "НП КИЦ СНГ"

E-mail: d.vadivasov@ciscenter.org

Anna SHIGINA

Engineer, The Energy Research Institute of the Russian Academy of Sciences (ERI RAS)

E-mail: shigina.av@mail.ru

Ruslan ALIKIN

Research assistant, ERI RAS

E-mail: ruslanalikin@bk.ru

Valentina LUZANOVA

Specialist, CIS Center Partnership

E-mail: v.luzanova@ciscenter.org

Dmitrii VADIVASOV

Head Deputy of the Department "SDP",

CIS Center Partnership

E-mail: d.vadivasov@ciscenter.org

Аннотация. Применение мер углеродного (и более широко – экологического) регулирования выявило сильную чувствительность оценок конкурентоспособности энергетических технологий к изменению числа учитываемых факторов. В статье выполнен анализ конкурентоспособности основных технологий генерации электроэнергии в ЕС, Китае и Индии на основе удельной приведенной стоимости производства электроэнергии (LCOE). Расчеты выполнены для текущих значений технико-экономических параметров и двух сценариев (до 2050 г.), различных по допущениям о строгости углеродного регулирования и динамике декарбонизации. Для сравнения для тех же регионов проведено ранжирование энергетических технологий на основе удельных показателей воздействия на окружающую среду на протяжении жизненного цикла (ЖЦ) по 16 категориям. Показано, что выбор метрики для регуляторных инструментов, направленных на снижение негативного воздействия энергетики на среду, может принципиально повлиять на результаты межтопливной конкуренции. При этом оценку конкурентоспособности энергетических технологий можно уточнить в ходе экологического декларирования производства электроэнергии. **Ключевые слова:** энергетические технологии, оценка жизненного цикла, экологическое воздействие, удельная приведенная стоимость производства электроэнергии.

Abstract. The implementation of carbon regulations has demonstrated a significant sensitivity of the comparative performance of energy technologies to variations in the factors considered in their assessment. The article analyzes the comparative competitiveness of the main electricity generation technologies in the EU, China and India based on the leveled cost of electricity (LCOE). The calculations were performed for the current values of the technical and economic parameters and two scenarios (up to 2050), which differ in terms of assumptions about the strictness of carbon regulation and the pace of decarbonization. For comparison, energy technologies were ranked for the same regions based on specific environmental impact indicators in 16 categories throughout their life cycle. The analysis reveals that the choice of metrics for regulatory instruments designed to mitigate the negative environmental impact of energy generation on the environment can have a profound effect on the results of inter-fuel competition. Simultaneously, the assessment of the comparative competitiveness of energy technologies can be clarified during the environmental declaration of electricity production. **Keywords:** energy technology, life cycle assessment (LCA), environmental impact, leveled cost of electricity (LCOE).

### Введение

Устойчивость развития энергетики зависит от качества планирования, которое определяется полнотой учета факторов межтопливной конкуренции. При планировании применяют системную энергетическую модель, которая оптимизирует структуру технологий в отраслях энергетики по единственному критерию, как правило, экономическому (например, минимуму суммарных дисконтированных затрат на энергоснабжение экономики). Таким образом, межтопливную конкуренцию возможно учесть либо путем корректировки показателей удельной стоимости технологий, либо в составе применяемых

ограничений модели. Пример учета мер по снижению углеродной интенсивности производства энергии как фактора межтопливной конкуренции при системном моделировании проиллюстрирован на рис. 1 и подробно описан в статье [1].

Для предварительной оценки конкурентоспособности энергетических технологий одного класса в сравнении друг с другом традиционно используется показатель удельной дисконтированной стоимости (leveled cost). Для технологий электрогенерации этот показатель (LCOE) отражает минимальную цену электроэнергии, обеспечивающую безубыточность её производства. Этот показатель не учитывает ряд важных системных факторов



## Для оценки конкурентоспособности энергетических технологий по экологическим показателям требуются данные о материальных потоках, выбросах и отходах на каждом этапе жизненного цикла

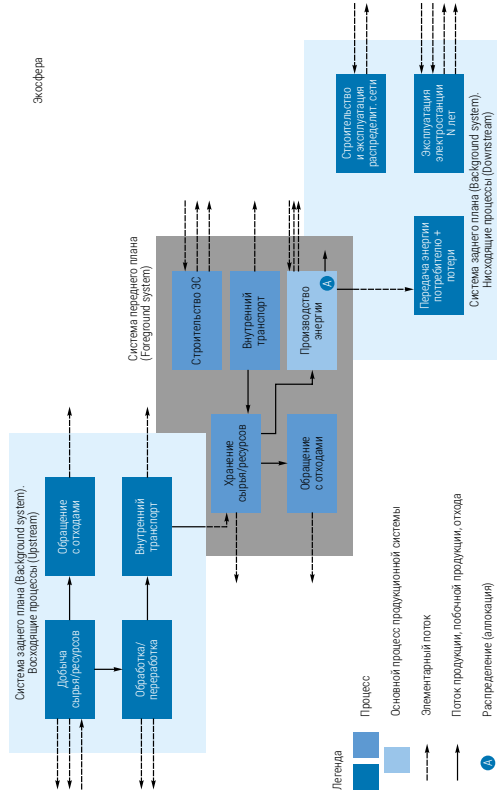
производственную систему разделяют на подсистему переднего плана (foreground system) и фоновую подсистему (background system), что проиллюстрировано на рис. 3 [6].

Подсистема переднего плана включают специфичные процессы конкретной производственной системы, моделируются с использованием первичных (измеренных или рассчитанных) данных и могут быть изменены лицами, принимающими решения в компании. Фоновые подсистемы охватывают общие процессы, используемые множеством разных производственных систем, например, управление отходами, а данные для их моделирования со-

держатся в специализированных базах данных (БД) в формате наборов данных (датасетов). Датасеты представляют собой результаты инвентаризации и оценки воздействия ЖЦ определенных процессов или продуктов, либо усредненных на основании единых географических и технологических охватов исследования, либо экстраполированных. В последнем случае при моделировании данных используются результаты ОЖЦ конкретного энергетического объекта, полученные с использованием первичных данных, например АЭС в Швейцарии, которые пересчитываются для других регионов мира с применением поправочных коэффициентов исходя из «типичных» для региона характеристик энергетической технологии.

Для проведения сравнительной оценки энергетических технологий по экологическим показателям принципиален вопрос сопоставимости исходных данных об удельных показателях воздействия на ОС. Для стандартизации обмена данными применяются специальные форматы, необходимые при формировании БД. В частности, в настоящей работе для всех рассматриваемых технологий производств электроэнергетики использована БД Environmental Footprint (EF) версии 2.0,

Рис. 3. Понятия подсистемы переднего плана и фоновой подсистемы на примере производства электроэнергии



Источники данных	База данных EF 2.0	2012–2020 Наземные по 1,65 МВт, морские по 3 МВт	2023–2024	Экологическая декларация [8]	База данных EF 2.0	2012–2020 Наземные по 1,65 МВт, морские по 3 МВт	2019–2020	Экологическая декларация [9]
Период сбора данных, гг.	2012–2020 Наземные по 1,65 МВт, морские по 3 МВт	20	20	20	20	20	20	20
Описание ВЗУ	20	20	20	20	20	20	20	20
Срок эксплуатации, лет	20	20	20	20	20	20	20	20
Методика расчета	PEF 2.0	PCR 2007/08 (Version 4.2)	PEF 2.0	PCR 2007/08 (Version 4.2)	PEF 2.0	PCR 2007/08 (Version 4.2)	PEF 2.0	PCR 2007/08 (Version 4.2)
Изменение климата, г CO <sub>2</sub> экв	8,59	7,75	(–10%)	12,07	9,6	(–20%)	9,6	(–20%)
Закисление, моль Н <sup>+</sup>	3,03·10 <sup>-5</sup>	5,64·10 <sup>-5</sup>	(+93%)	4,26·10 <sup>-5</sup>	5,67·10 <sup>-5</sup>	(+100%)	5,67·10 <sup>-5</sup>	(+100%)
Эвтрофикация (наземная), моль N <sub>амб</sub>	7,47·10 <sup>-5</sup>	1,40·10 <sup>-4</sup>	(+87%)	0,10·10 <sup>-3</sup>	–	–	–	–
Эвтрофикация (пресноводная), кг Р	1,97·10 <sup>-3</sup>	5,67·10 <sup>-3</sup>	(+100%)	2,77·10 <sup>-3</sup>	7,36·10 <sup>-3</sup>	(+100%)	7,36·10 <sup>-3</sup>	(+100%)
Истощение озонного слоя, кг ХФУ-11 экв	7,97·10 <sup>-14</sup>	6,25·10 <sup>-14</sup>	(+100%)	1,12·10 <sup>-13</sup>	–	–	–	–
Истощение водных ресурсов, м <sup>3</sup> мирового экв. депривации	1,99·10 <sup>-3</sup>	2,30·10 <sup>-3</sup>	(+16%)	2,80·10 <sup>-3</sup>	3,07·10 <sup>-3</sup>	(+10%)	3,07·10 <sup>-3</sup>	(+10%)
Истощение минеральных ресурсов, г Sb <sub>экв</sub>	4,09·10 <sup>-7</sup>	8,97·10 <sup>-4</sup>	(+100%)	5,74·10 <sup>-7</sup>	1,23·10 <sup>-3</sup>	(+100%)	1,23·10 <sup>-3</sup>	(+100%)

Таблица 1. Сравнение удельных экологических показателей ВЗУ (на 1 кВт·ч произведенной электроэнергии) в Швеции и Индии из различных источников данных

в основу которой лег формат International Reference Life Cycle Data System (ILCD), разработанный Европейской комиссией для стандартизации обмена данными по ОЖЦ. Представленные в EF 2.0 удельные показатели воздействия на окружающую среду для ПЭС, угольных ТЭС, АЭС, ВЭС и ГЭС сопоставимы между собой по охвату стадий ЖЦ, правилам исключения и общим набором данных о фоновой подсистеме. В работе не принимали во внимание СЭС и когенерационные электростанции (ТЭЦ). Для СЭС пока недостаточно надежных региональных данных. Для ТЭЦ требуется корректное распределение потоков и экологических воздействий между электрической и тепловой энергией. Эти две технологии составляют резерв для будущего развития настоящей работы.

Повышения качества исходных данных для ОЖЦ можно достичь за счет использования первичных данных — результатов прямых ОЖЦ-исследований, в том числе опубликованных в формате экологических деклараций продукции в соответствии с ISO 14025<sup>1</sup>. В таблице 1 представлены удельные экологические показатели ВЗУ в Швеции и Индии, приведенные в специализированной базе данных по ОЖЦ и в экологических декларациях производителя ВЗУ Siemens Gamesa. Видно, что данные отличаются как периодом сбора данных и характеристиками ВЗУ, так и методикой расчета, которые влияют на сопоставимость результатов. Подробное сравнение

<sup>1</sup> ГОСТ Р ИСО 14025-2012. Энергия и декларируемые экологические характеристики. Экологические декларации типа III. Принципы и процедуры.

использованных методик расчета приведено в статье [6], а влияние методических отличий на результаты ОЖЦ — в [7].

С учетом вышеупомянутых замечаний о сопоставимости данных стоит отметить, что как для Швеции, так и для Индии отличия между показателями для трех из семи рассматриваемых категорий воздействия на окружающую среду превышают 100%, причем значения из БД EF 2.0 по всем рассматриваемым категориям, кроме «Изменения климата», существенно ниже показателей, полученных на основе фактических данных производителя ВЗУ. Экологическое декларирование является добровольным, и на практике, чаще всего применяется к энергетическим технологиям на основе ВИЭ. Как следствие, для проведения сравнительной конкурентоспособности различных технологий генерации электроэнергии, включая ТЭС и АЭС, в настоящей работе для всех рассматриваемых типов электростанций использованы показатели из БД EF 2.0, чтобы обеспечить их сопоставимость.

## Традиционная оценка конкурентоспособности генерирующих технологий

Как был отмечено выше, в практике энергетического планирования для предварительной оценки конкурентоспособности технологий используется показатель LCOE, который учитывает все прямые материальные затраты. Он представляет

собой отношение суммарных дисконтированных затрат на строительство, эксплуатацию (топливных, прочих переменных, а также условно-постоянных) и последующий вывод из эксплуатации установленной мощности генерирующей технологии к суммарному дисконтированному отпуску электрической энергии за весь ЖЦ.

В настоящей работе выполнен расчет LCOE для отчетного 2024 г., а также для двух сценариев (2050 г.), отличных по условиям межтопливной конкуренции за счет

ПГ к 2050 г. в ЕС составляет 158 долл./т CO<sub>2</sub>, в Китае – 52 долл./т CO<sub>2</sub>, а в Индии углеродное регулирование не вводится. Сценарий 2, напротив, предполагает низкие удельные капиталовложения объектов на основе ВИЭ, дешевое органическое топливо (вследствие снижения спроса из-за декарбонизации) и высокий уровень платы за выбросы ПГ, т. е. опирается на основные предпосылки сценария заявленных целей МЭА (APS из [10]). В этом сценарии плата за выбросы ПГ в ЕС достигает 200



АЭС во Франции

Источник: banglofbook.ru

различных стоимостных показателей ВИЭ, цен на органическое топливо и величин платы за выбросы ПГ. Все ценовые показатели указаны в долл. США 2023 г. Для условий отчетного года значение LCOE рассчитано как с учетом применяемых ставок платы за выбросы ПГ в ЕС (65,4 долл./т CO<sub>2</sub>) и Китае (12,4 долл./т CO<sub>2</sub>), так и без нее. Сценарий 1 базируется на основных предпосылках сценария сохранения текущих энергетических МЭА (STEPS из [10]) и предполагает высокие удельные капиталовложения объектов на основе ВИЭ, дорогое органическое топливо и низкий уровень платы за выбросы ПГ. В частности, принята ставка платы за выбросы

долл./т CO<sub>2</sub> в Китае и Индии – 160 долл./т CO<sub>2</sub> к 2050 г.

Для оценки масштаба региональных различий в конкурентоспособности генерирующих технологий на рис. 4 приведены значения LCOE основных типов электростанций в ЕС, Китае и Индии в настоящее время и в 2050 г. (сценарии 1 и 2) для став- ки дисконтирования 8%. Для удобства сопоставления значения для ПГЭС, угольных КЭС, СЭС, наземных и морских ВЭС представлены в процентах относительно LCOE АЭС. Исходные технико-экономические показатели конкурирующих технологий производства электроэнергии в каждой из рассмотренных стран сформированы

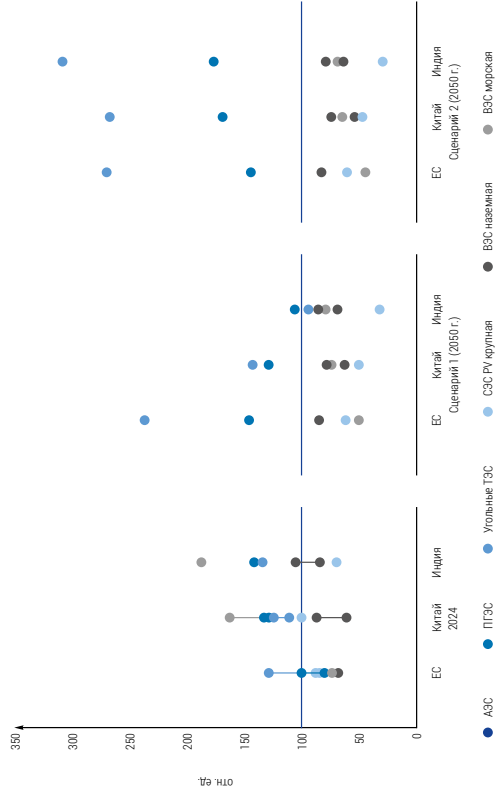


Рис. 4. Удельная дисконтированная стоимость отпуса электроэнергии основными типами электростанций в ЕС, Китае и Индии (в % относительно LCOE АЭС): (а) – для отчетного года, (б) – для 2050 г.

на основе анализа ИНЭИ РАН с учетом оценок МЭА [10].

Стоит отметить, что для 2024 г. для газовых и угольных ТЭС в ЕС и Китае указаны диапазоны значений, где нижняя величина соответствует технологии LCOE в отсутствие платы за выбросы ПГ, а верхняя – учитывает текущие значения платы за выбросы. Для наземных ВЭС в Индии, а также наземных и морских ВЭС в Китае приведены диапазоны значений, где нижняя величина соответствует технологии LCOE при максимальном КИУМ, в верхняя – при минимальном. Например, КИУМ наземных ВЭС в Китае варьируется в пределах 24–34% в отчетном году (26–36% в 2050 г.) и в Индии – в пределах 26–32% в 2024 г. (30–36% в 2050 г.).

При текущих значениях технико-экономических показателей (ТЭП) рассматриваемые генерирующие технологии в государствах-членах ЕС расположены по LCOE гораздо более плотно, чем в развивающихся странах (Китай, Индия). Кроме того, если в отсутствие платы за выбросы ПГ в Европе атомная энергетика является самой дорогостоящей технологией, то в Китае и Индии наименее конкурентоспособны по LCOE морские ВЭС. Кроме того, среди

электростанций на ископаемом топливе в ЕС наименее эффективны угольные КЭС, а в развивающихся странах – ПГЭС. Учет действующей платы за выбросы ПГ как фактора межтопливной конкуренции в ЕС приводит к тому, что угольные ТЭС начинают существенно проигрывать по LCOE всем остальным технологиям, а газовые входят в зону равноэффективности с АЭС. Для Китая наличие углеродного регулирования ожидаемо снижает конкурентоспособность электростанций на ископаемом топливе, но принципиально не изменяет расклад сил на рынке генерирующих технологий. На-

**Стоимость электроэнергии от электростанций на основе ВИЭ остается существенно ниже, чем от АЭС. Только в ЕС наземные ВЭС находятся вблизи нижней границы зоны равноэффективности с АЭС**



Приливная электростанция Zhoushan, Китай

Источник: ChinaScience

большой конкурентоспособности по LCOE в ЕС и Китае в настоящее время обладают наименее ВЭС, а в Индии – крупные фотоэлектрические СЭС.

В условиях сценария 1 к 2050 г. раз-реженность распределения технологий по LCOE в развивающихся странах существенно снижается относительно современного уровня, а в государствах – членах ЕС, наоборот, возрастает. Среди безуглеродных источников энергии АЭС становится наиболее дорогой технологией во всех рассматриваемых регионах, а среди генерации на ископаемом топливе уже не только к ЕС, но и в Китае угольные ТЭС начинают прои-

грызть газом. При этом только в Индии низкоуглеродные источники энергии (АЭС, ВЭС и СЭС) еще находятся в зоне равноэффективности с ТЭС, когда в остальных рассматриваемых регионах они уверенно выигрывают у технологий, использующих органическое топливо. В заданных условиях наиболее конкурентоспособными в ЕС к 2050 г. оказываются морские ВЭС, а в развивающихся странах – СЭС.

Результаты расчета LCOE для сценария 2 показывают, что к 2050 г. низкоуглеродные источники энергии уверенно превосходят генерацию на ископаемом топливе во всех рассматриваемых регионах. При этом стоимость электроэнергии от электростанций на основе ВИЭ остается существенно ниже, чем от АЭС. Только в ЕС наименее ВЭС находится вблизи нижней границы зоны равноэффективности с АЭС. В отношении генерации на ископаемом топливе уже для всех регионов угольные КЭС являются наименее конкурентоспособными, значительно проигрывая даже ПТЭС. Наименьшие значения LCOE, также как в сценарии 1, в Европе характерны для морских ВЭС, а в Китае и Индии – для СЭС. Причем в Китае LCOE солнечных и наземных ветровых электростанций практически совпадают.

**Наименьшие значения LCOE в Европе характерны для морских ВЭС, а в Китае и Индии – для СЭС. Причем в Китае LCOE солнечных и наземных ветровых электростанций практически совпадают**

## Оценка конкурентоспособности генерирующих технологий по экологическим показателям

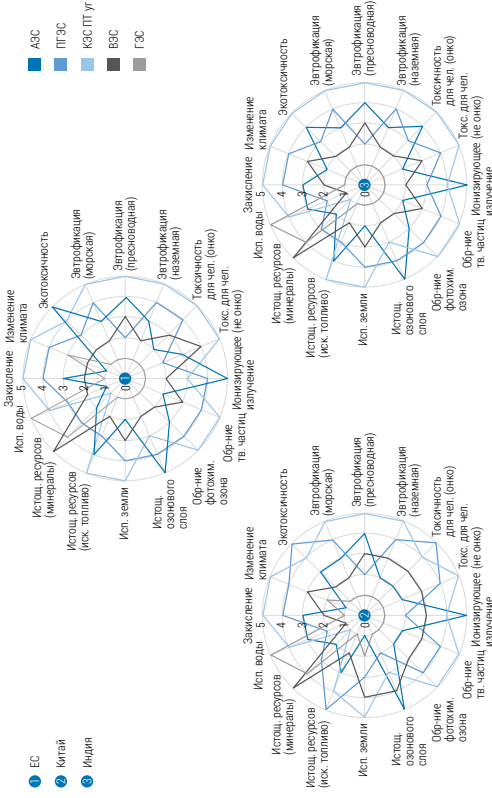
В настоящей работе проведено ранжирование технологий генерации электроэнергии (угольных ТЭС, ПТЭС, АЭС, ВЭС и ГЭС) для ЕС, Китая и Индии по удельным показателям в рамках 16 категорий воздействия на окружающую среду. Результаты ранжирования представлены на рис. 5, где 1 – наименьшая относительная величина удельного воздействия (на 1 кВт·ч произведенной электроэнергии) воздействия по данной категории, а 5 – наибольшая.

Региональные отличия неодинаково проявляются для разных категорий воздействия на окружающую среду. В частности, для категорий закисления, морской и пресноводной эвтрофикации, образования твердых (взвешенных) частиц, истощения минеральных ресурсов порядок ранжирования технологий по величине удельного воздействия для рассматриваемых регионов совпадает.

Причем для всех упомянутых категорий воздействия технологии на ископаемом топливе проигрывают низкоуглеродным источникам энергии, кроме категории «Истощение минеральных ресурсов», по которой наименее конкурентоспособны ВЭС (а угольные ТЭС наоборот оказывают минимальное удельное негативное воздействие).

Наименее конкурентоспособны по экологическим показателям угольные ТЭС, для которых характерно наибольшее из рассматриваемых технологий удельное негативное воздействие по 11 категориям в ЕС, по 9 – в Китае и по 12 – в Индии. В среднем, паргазовая электростанция (ПТЭС) занимает промежуточные позиции по экологическому воздействию. Ни по одной категории воздействия в рассматриваемых регионах ПТЭС не являются наиболее конкурентоспособной технологией. При этом в Китае по экологичности, истощению запасов ископаемого топлива и токсичности для человека, связанной с канцерогенными веществами, она проигрывает даже угольным ТЭС. Однако по пресноводной эвтрофикации ПТЭС оказывают меньшее удельное воздействие, как относительно угольных ТЭС, так и от-

Рис. 5. Ранжирование основных типов электростанций по величине удельного (на 1 кВт·ч произведенной электроэнергией) воздействия на ОС по различным категориям: (а) – в ЕС, (б) – в Китае и (в) – в Индии



## Атомная энергетика может уверенно конкурировать как с генерацией на ископаемом топливе, так и с ВИЭ-электростанциями по всем категориям воздействия кроме ионизирующего излучения

носительно АЭС и ВЭС, а по истощению минеральных ресурсов ПЭС имеет более сильные позиции по сравнению с электростанциями на основе ВИЭ для всех рассматриваемых регионов.

Атомная энергетика может уверенно конкурировать как с генерацией на ископаемом топливе, так и с ВИЭ-электростанциями по всем категориям воздействия кроме ионизирующего излучения (характеризующегося величиной ущерба здоровью человека и экосистемам, связанным с выбросами радионуклидов) и истощения озонного слоя. Наиболее сильные позиции у АЭС в категориях образования твердых

частиц, токсичности для человека, использования земли, истощения минеральных ресурсов и изменения климата. Причем для ЕС и Китая АЭС характеризуется наименьшей из рассматриваемых технологий углеродной интенсивностью.

Наиболее сильные позиции по величине воздействия на окружающую среду у ГЭС, которые характеризуются наименьшим удельным негативным воздействием по 13 категориям в ЕС, по 12 – Китае и по 14 – Индии. Ожидаемо, вне зависимости от рассматриваемого региона ГЭС лидирует по величине истощения водных ресурсов, а по показателю истощения минеральных ресурсов уступает только ВЭС. Стоит отметить, что если в Индии для ГЭС характерны наименьшие относительно других технологий удельные выбросы ПГ на протяжении ЖЦ, то в Китае они уступают АЭС, а в Европе – ещё и ВЭС.

Если о конкурентоспособности ветроэнергетики по удельному воздействию на окружающую среду в ЕС и Индии можно сказать, что ВЭС по большинству категорий следует за ГЭС, то в Китае ВЭС часто проигрывают ещё и АЭС. Исключением является истощение водных ресурсов, по которому в Китае и Индии ветроэнергетика оказывает наимень-



Добыча угля в Индии

Источник: [youthkivaaz.com](http://youthkivaaz.com)

ше сравнительное воздействие, а в ЕС уступает только АЭС. Наиболее слабым местом в конкурентоспособности ветроэнергетики по рассматриваемым экологическим показателям является истощение минеральных ресурсов, по которому ВЭС оказывает наиболее сильное негативное воздействие во всех регионах. Кроме того, по степени влияния на ухудшение индекса качества почвы и повышение заболоченности вследствие выбросов неканцерогенных токсичных веществ ВЭС проигрывает другим низкоуглеродным источникам энергии.

## Учёт экологических характеристик технологий при энергетическом планировании в России

Обеспечить условия для долгосрочного устойчивого развития энергетики призваны регуляторные инструменты, метриками которых могут выступать различные экологические характеристики технологий, как, например, углеродная интенсивность производства электроэнергии при введении углеродных платежей или установление квоты на выбросы ПГ. Стимулирование

снижения экологической нагрузки от электроэнергетического сектора может быть реализовано в том числе через расширение числа критериев «зеленых» проектов (в дополнение к расходам топлива и удельным выбросам ПГ) согласно Таксономии<sup>2</sup>. Принципиальным вопросом при этом становятся количественные характеристики удельного воздействия на ОС, используемые в качестве бенчмарков или целевых показателей.

В настоящее время в России отсутствуют национальные инициативы, направленные на разработку специализированных требований к представлению данных по результатам ОЖЦ разных промышленных и, в частности, энергетических процессов, как это сделано, например, в Китае, США или ЕС. При этом обязательная экологическая отчетность требует только сбора данных об определенных выбросах, сбросах и отходах предприятий, но не предусматривает оценку их последствий для ОС, как и влияния изъятия необходимых для работы предприятия ресурсов на экологию.

<sup>2</sup> Постановление Правительства № 1837 от 21 сентября 2021 г. «Об утверждении критериев проекта устойчивого (в том числе «зеленого») развития в Российской Федерации и требований к системе верификации проектов устойчивого (в том числе «зеленого») развития в Российской Федерации».

АЭС «Куданкулам» в индийском штате «Тамилнад»



Источник: [woodenarts.ru](http://woodenarts.ru)



Тяньваньская АЭС-2

Источник: Тимур Сабиров / «Росатом»

### Заключение

В настоящей работе показано, как экологические показатели энергетических технологий могут влиять на их сравнительную конкурентоспособность. На основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. В рассматриваемых регионах по большому числу категорий воздействие на окружающую среду (за исключением источника озонового слоя, водных и минеральных ресурсов, низзярующего излучения) технологии электрогенерации на ископаемом топливе проигрывают низкоуглеродным источникам энергии. Наименьшее негативное экологическое воздействие по большому числу категорий (за исключением источника водных и минеральных ресурсов) оказывает гидроэнергетика.

2. Региональные отличия в большей степени влияют на сравнительную конкурентоспособность газовых электростанций, АЭС и ВЭС, которые в целом занимают промежуточное положение между угловыми ТЭС и ГЭС по величине негативного воздействия на экологию.

В рамках добровольных программ экологических деклараций существует понятие «правила категории продукции» (Product Category Rules, PCR), представляющие собой методические указания, соответствующие основным стандартам по ОЖЦ и адаптированные под конкретные производственные процессы, например, производство электроэнергии. Разработка таких правил производится на основе международных документов (как в случае российских методик климатических проектов), и может быть инициирована предприятиями энергетического сектора. На практике единственной в России программой экологических деклараций, действующей в соответствии со стандартом ISO 14025, является «ЭДП Центр», который мог бы стать площадкой для сбора и систематизации результатов ОЖЦ по различным технологиям производства электроэнергии в России. Формирование национальной базы данных на основе экологических деклараций по результатам ОЖЦ производства электроэнергии может стать основой для получения качественных данных для последующего использования экологических показателей при энергетическом планировании.

3. Результаты ранжирования технологий производства электроэнергии по величине экологического воздействия в значительной степени зависят от выбора категории воздействия на среду. Как следствие, выбор экологической метрики для экономических или административных регуляторных инструментов способен принципиально изменить расклад сил на рынке энергетических технологий, создавая преимущество определенной технологии.

При ранжировании технологий по воздействию на окружающую среду остро стоит вопрос как качества, так и сопоставимости исходных данных. Как следствие, оценку сравнительной конкурентоспособности по экологическим критериям необходимо проводить регулярно, используя обновленные данные по ОЖЦ с учетом методологических уточнений и научно-технического прогресса.

При энергетическом планировании учет сравнительной конкурентоспособности энергетических технологий по величине воздействия на окружающую среду позволяет не допустить т. н. «углеродного туннельного зрения» (опасность которого в смещении экологической нагрузки при декарбонизации энергетике), а также подготовить возможность изменению экологических требований со стороны государства.

Разделы 2 и 3 исследования выполнены в Институте энергетических исследований Российской академии наук при поддержке Российского научного фонда № 21-79-30013-П. URL: <https://rsfc.ru/project/21-79-30013/>



ВЭС в Индии

Источник: w3.windfarml.net

### Использованные источники

1. Шигина, А. В. Механизмы декарбонизации в энергетике // Приоритеты научно-технологического развития энергетики России: Москва, 10–11 ноября 2021 г. — Москва: Издательский дом МЭИ — Ин-ЭИ РАН, 2021. — С. 71–76.
2. Ляшук, Ю. Свежий взгляд на межтопливную конкуренцию / Ю. Ляшук, И. Гайда, Е. Грушевенко // Skoltech, 2023. — С. 35. — DOI: 10.13140/RG.2.2.11553.58729.
3. Шигина, А. Оценка экологического воздействия жизненного цикла электростанций при разработке сценариев низкоуглеродной трансформации электроэнергетики России / А. Шигина, А. Хоршев // Энергетическая политика — 2024. — № 1(202). — С. 56–72. — DOI: 10.46920/2409-5516.2024.1.2203.56.
4. Sonnenmann, G. Life Cycle Thinking and the Use of LCA in Policies Around the World / G. Sonnenmann, E. D. Gernsch, S. Sala et al // Chapter in Life cycle assessment: Theory and practice. — Springer International Publishing, 2018. — P. 429–463. — DOI: 10.1007/978-3-319-56475-3\_18.
5. International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook: General guide for Life Cycle Assessment. Detailed guidance. Jülich Research Centre. Institute for Environment and Sustainability // Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010. — P. 417. — DOI: 10.2788/38479.
6. Dura, V., Silvestre, J., Mateus, R., Brito, J. Assessment and comparison of the environmental performance of construction products in Europe: Comparison between PEFC and EN 15804 compliant EPD schemes // Resources, Conservation and Recycling. — 2020. — Vol. 156. — Art. 104703. — DOI: 10.1016/j.resconrec.2020.104703.
7. Dei Borghi, A., Moreschi, L., Gallo, M. Communication through eco-labels: how discrepancies between the EU PEFC and EPD schemes could affect outcome consistency // The International Journal of Life Cycle Assessment. — 2020. — Vol. 25(6). — Pp. 905–920. — DOI: 10.1007/s11367-019-01609-7.
8. Electricity from a European onshore wind farm using SG 6.2: 170 / SG 6.6-170 wind turbines. Environmental Product Declaration / Reg. Number SP-06090 [Электронный ресурс]. — URL: <https://api.environmentalproductdeclaration.com/v1/EPDLibrary/Files/1069363d-5868-4d21-e51b-08d653492d7b/Data> (дата обращения: 10.12.2025).
9. Electricity from an Indian onshore wind farm using SG 3.4-145 wind turbines. Environmental Product Declaration. Reg. Number S-P-03326 [Электронный ресурс]. — URL: <https://api.environmentalproductdeclaration.com/v1/EPDLibrary/Files/e6f6b548-672e-4701-413b-08d692a40f60/Data> (дата обращения: 10.12.2025).
10. World Energy Outlook 2024 [Электронный ресурс]. — IEA, Paris, 2024. — URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024> (дата обращения: 10.12.2025).