

## Показатели природоёмкости производства энергии как инструмент оценки эффективности проектов в энергетике

А. П. Караева  , Е. Р. Магарил 

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,  
г. Екатеринбург, Россия

 [anzhelika.karaeva@gmail.com](mailto:anzhelika.karaeva@gmail.com)

**Аннотация.** Основными приоритетами развития энергетической отрасли на мировом уровне на современном этапе являются повышение эффективности использования природных ресурсов и проведение экомодернизации объектов энергетики с целью снижения негативного воздействия на окружающую среду. Решение этих стратегических задач невозможно без значительной инвестиционной активности: приток инвестиций в отрасль способствует быстрой и эффективной реализации проектов и развитию отрасли в целом. Большинство существующих методик оценки эффективности инвестиционных проектов не предполагают развернутый анализ экологических аспектов, что в перспективе создает экологические риски реализации проектов и эксплуатации объектов энергетики. Кроме того, известные подходы не позволяют оценить рациональность использования всего комплекса природных ресурсов объектом энергетики, что может привести к значительному ущербу для природного капитала. Объекты энергетики – крупнейшие потребители топлива и водных ресурсов, как следствие – энергетическая отрасль в целом является одним из крупнейших поставщиков в окружающую среду отходов производства. Современные проекты по экомодернизации объектов энергетики направлены на снижение ресурсопотребления и поступление вредных веществ и отходов производства в окружающую среду. Поэтому актуальной задачей является формирование подхода к оценке эффективности проектов в энергетике, учитывающего природно-ресурсные и экологические аспекты. Целью исследования является разработка системы показателей, позволяющих оценить эффективность использования природных ресурсов при реализации инвестиционных проектов в энергетике. Представлена разработанная авторами система показателей природоёмкости производства энергии, включающая показатели ресурсоёмкости и отходоёмкости производства энергии. Показатель ресурсоёмкости представлен частными показателями топливоёмкости, который может быть рассчитан для нескольких видов потребляемого объектом энергетики топлива и водоемкости производства энергии. Предлагаемые показатели позволяют оценить, рациональность использования природных ресурсов в ходе эксплуатации объекта энергетики, использующего традиционные углеводородные топлива, а также провести сравнительный анализ альтернативных проектов с целью выбора оптимального. Представлены результаты апробации разработанных показателей на объекте региональной энергетики.

**Ключевые слова:** топливно-энергетический комплекс; инвестиционный проект; эколого-экономическая эффективность; природопользование.

### 1. Актуальность исследования

Энергетический сектор является основой развития всех промышленных отраслей экономики. Наличие доступной энергии – одно из условий эконо-

мического роста, улучшения уровня жизни населения, научно-технического прогресса и энергетической безопасности государства [1]. Динамичное развитие мировой экономики приводит

к повышенному спросу на энергоресурсы в особенности в развивающихся странах, и, согласно базовым сценариям прогнозов экспертов, к 2040 г. глобальное потребление первичной энергии может суммарно увеличиться на 25–35% относительно уровня 2016 г.<sup>1</sup> Основной прирост будет происходить за счет развивающихся стран, развитые страны, согласно прогнозам, будут сокращать первичное энергопотребление. Относительно прошлых лет версий прогнозов в большинстве случаев ожидаемые значения уровня спроса на энергоресурсы были скорректированы в большую сторону даже с учетом развития энергосберегающих технологий<sup>2</sup>.

На рис. 1 показана структура мирового потребления энергии по секторам с 2016 по 2018 г. Рост потребления

энергии наблюдается во всех секторах экономики.

В целом структура энергопотребления по отраслям экономики остается неизменной, несмотря на рост суммарного энергопотребления.

Возрастающий спрос на энергию при значительно меньших темпах изменения структуры ее производства увеличивает нагрузку энергетического сектора на окружающую среду<sup>3</sup>. В настоящее время многие развитые страны переходят к декарбонизации, направляют большой объем инвестиций на развитие зеленой энергетики или на модернизацию, уже эксплуатируемых объектов традиционной энергетики. Несмотря на эти меры, традиционные источники энергии по-прежнему преобладают в мировой структуре энергопотребления: уголь и природный газ составляют более 64% потребляемых энергоресурсов в мире, 32% приходится на нефть и только 13% мирового эне-

<sup>1</sup>BP Statistical Review of World Energy 2019.

<sup>2</sup>Прогноз развития энергетики мира и России 2019. Сколково. URL: [https://energy.skolkovo.ru/ru/downloads/documents/SEneC/20Research/SKOLKOVO\\_EneC\\_Forecast\\_2019\\_Rus.pdf/](https://energy.skolkovo.ru/ru/downloads/documents/SEneC/20Research/SKOLKOVO_EneC_Forecast_2019_Rus.pdf/)

<sup>3</sup>Trends and Projections in Europe 2019. EEA. URL: [www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-in-europe-1](http://www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-in-europe-1).

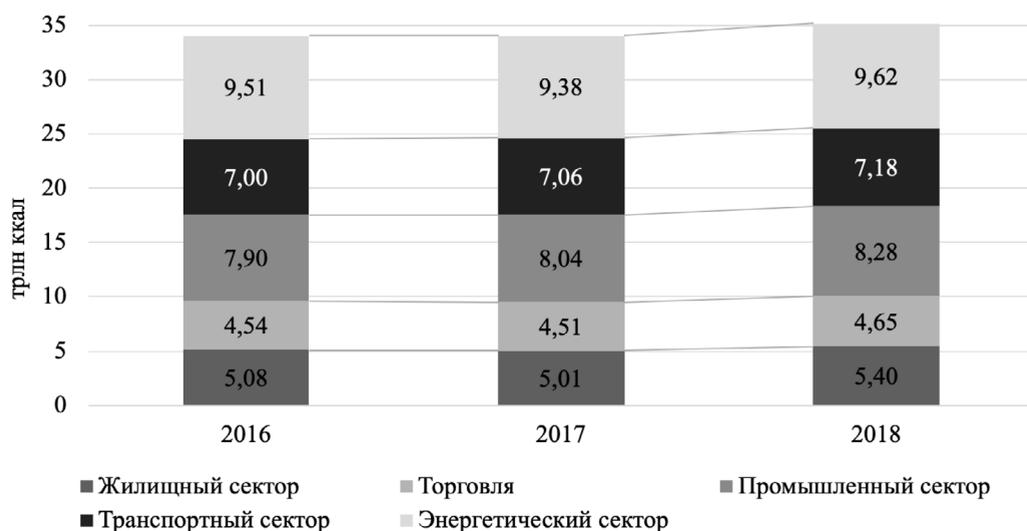


Рис. 1. Структура энергопотребления по секторам экономики в мире, трлн кКал\*

Fig. 1 Global energy consumption by sector, trillion kcal

\*Energy Consumption by Sector, Monthly Energy Review February 2020. EIA. URL: [www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/sec2\\_3.pdf](http://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/sec2_3.pdf).

гопотребления составляют возобновляемые источники энергии (рис. 2) [2].

В соответствии с консервативным сценарием ископаемые топлива до 2040 г. останутся преобладающими в структуре мирового потребления энергии, к 2060 г. существенной может стать доля зеленой энергетики [2].

В структуре установленной мощности электростанций по данным на 2018 г. преобладают тепловые электростанции (ТЭС) с удельным весом 60,2%, которые в качестве топлива используют уголь (51,6%), природный газ (40,3%) или жидкое топливо (8,2%)<sup>4</sup>. Второе место в структуре занимают возобновляемые источники энергии (ВИЭ) без учета гидроэнергетики (17,3%) далее следуют гидроэлектростанции (17,3%) и атомные электростанции (5,3%). В табл. 1 представлена структура установленной мощности электростанции в 2018 г. и прогнозные значения на 2025, 2040 и 2050 гг.

<sup>4</sup>Тенденции развития энергетики 2018–2050 гг. IEO 2019. URL: <https://www.sites.google.com/a/eeseaacc.org/eeseaacc/energetika-stran-mira/ieo-2019-tendencii-razvitiia-energetiki-2018-2050-gg>.

Ожидается, что к 2050 г. удельный вес установленной мощности всех ТЭС мира будет составлять 38,4% в общемировой структуре, более 58% будет приходиться на возобновляемые источники энергии. Общая мощность электростанций за этот период увеличится более чем в два раза.

Энергетический сектор характеризуется достаточно высоким уровнем образования отходов производства. Объекты энергетики, использующие уголь в качестве основного топлива, образуют значительный объем золошламовых отходов, что негативно отражается на состоянии окружающей среды территории расположения предприятия.

Доля электростанций, использующих природный газ в качестве основного топлива по данным на 2018 г., составляет 24,2%. При этом наблюдается увеличение числа инвестиционных проектов по экомодернизации ТЭС путем перехода от использования угля (в настоящее время более 31% от общего числа функционирующих электростанций в мире) к газомазутному типу, что су-

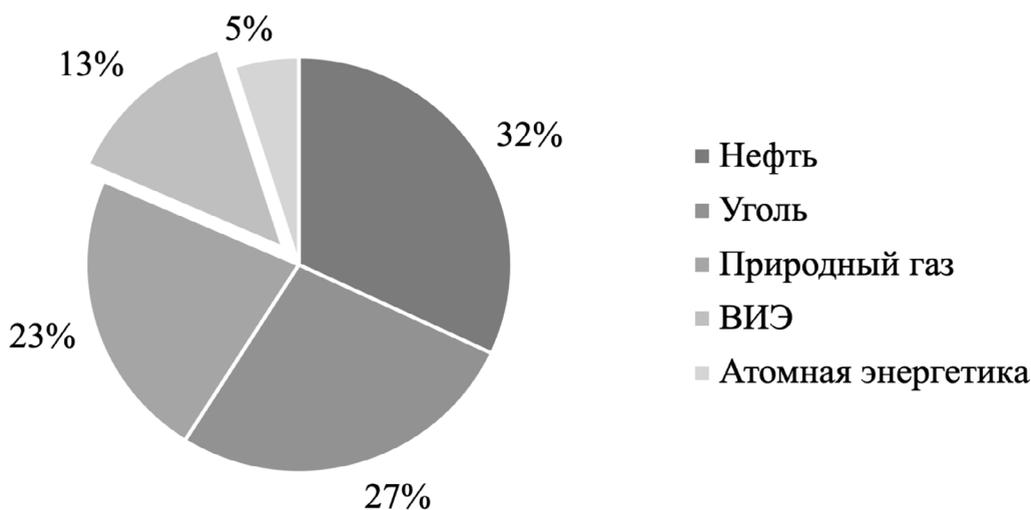


Рис. 2. Структура мирового потребления первичной энергии по видам топлива в 2018 г., %\*

Fig. 2 Global consumption of primary energy by fuel in 2018, %

\*Energy in Figures 2019. Statistical Pocketbook EU. URL: [www.euneighbours.eu/sites/default/files/publications/2019-09/MJAB19001ENN.en\\_.pdf](http://www.euneighbours.eu/sites/default/files/publications/2019-09/MJAB19001ENN.en_.pdf).

Таблица 1. Структура мировой установленной мощности электростанций, 2018–2050 гг., ГВт\*

Table 1. Structure of installed capacity of power plants, 2018–50, GW

Установленная мощность электростанций	Годы				Изм., п.п.
	2018	Уд. вес, %	2050	Уд. вес, %	
Всего, из которых	6 784	100,0	14 009	100,0	-
Тепловые электростанции, в том числе:	4 081	60,2	5 376	38,4	-21,8
Жидкое топливо	333	4,9	144	1,0	-3,9
Природный газ	1 644	24,2	3 031	21,6	-2,6
Уголь	2 104	31,0	2 201	15,7	-15,3
Атомные электростанции	362	5,3	506	3,6	-1,7
Возобновляемые источники энергии, всего	2 341	34,5	8 126	58,0	23,5
Гидроэлектростанции	1 169	17,2	1 592	11,4	-5,9
Ветряные электростанции	556	8,2	2 408	17,2	9,0
Геотермальные электростанции	12	0,2	33	0,2	0,1
Солнечные электростанции	496	7,3	3 927	28,0	20,7
Другие ВИЭ	108	1,6	166	1,2	-0,4

\*Electric Power Annual 2018. EIA. URL: <https://www.eia.gov/electricity/annual/pdf/epa.pdf>.

щественно снижает нагрузку объектов энергетики на экологию регионов.

Следует отметить, что динамика образования отходов производства в энергетическом секторе в странах ОЭСР демонстрирует нисходящий тренд: начиная с 2004 г., общее образование отходов производства в отрасли энергетики снизилось на 23,66%<sup>5</sup>. Вклад энергетического сектора в общий объем образования отходов также сократился с 5,46 до 3,51%.

Энергетика является крупнейшим потребителем водных ресурсов: в Евросоюзе на долю одних только электростанций приходится 44% всей потребляемой ежегодно пресной воды; в США – 41% [3]. Используя значитель-

<sup>5</sup>Trends and Projections in Europe 2019. EEA. URL: [www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-in-europe-1](http://www.eea.europa.eu/publications/trends-and-projections-in-europe-1).

ный объем природных ресурсов, энергетический сектор взамен поставляет в окружающую среду газообразные, жидкие и твердые отходы.

При оценке эффективности инвестиционных проектов необходимо учитывать не только финансово-экономическую составляющую, но и экологический аспект реализации проекта, так как традиционный подход к развитию бизнеса «grow now, clean up later» привел к серьезным негативным экологическим последствиям<sup>6, 7</sup>.

<sup>6</sup>Eco-efficiency Indicators: Measuring Resource-use Efficiency and the Impact of Economic Activities on the Environment; ESCAP. URL: [www.sustainabledevelopment.un.org/content/documents/785eco.pdf](http://www.sustainabledevelopment.un.org/content/documents/785eco.pdf).

<sup>7</sup>Assessment of Resource Efficiency Indicators and targets; European Commission URL: [ec.europa.eu/environment/enveco/resource\\_efficiency/pdf/annex\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/enveco/resource_efficiency/pdf/annex_report.pdf).

Экологическая эффективность (Eco-efficiency), согласно определению Всемирного совета бизнеса по устойчивому развитию, – это подход к управлению, который стимулирует бизнес искать такие управленческие решения, которые обеспечивают улучшение текущей экологической ситуации при параллельном росте экономических выгод<sup>8</sup>.

## 2. Степень проработанности проблемы

Наиболее упоминаемым в литературе методом оценки экологической эффективности инвестиционных проектов является метод «затраты – эффективность», где основным показателем эффективности является показатель, рассчитываемый как отношение понесенных экологических издержек к экономическому эффекту от реализации природоохранной деятельности [4–6]. Помимо данного подхода, WBCSD предлагает конкретизированные для различных отраслей промышленности методы оценки экологической эффективности проектов, которые, несмотря на их последовательность и научную обоснованность, являются трудоемкими и сложными в применении, что вызывает отказ многих компаний от их использования при планировании проектной деятельности [7].

Оценка экологической эффективности представляет наибольшую сложность и, согласно мнению авторов работы [8], подразумевает решение сразу нескольких задач: оценка влияния реализации проекта и эксплуатации объекта на окружающую среду в течение некоторого периода времени, классификация проекта по степени его влияния на окружающую среду, проведение экологиче-

ской экспертизы и согласование экологических условий реализации проекта, разработка и согласование технического задания на проведение оценки воздействия на окружающую среду и контроль над выполнением всех экологических условий не только на стадии реализации проекта, но и на этапе эксплуатации.

Объекты энергетики оказывают колоссальное влияние на качество атмосферного воздуха, водные объекты, земельные ресурсы и качество жизни населения. Часть методик, представленных в работах [9, 11], предлагают в рамках проведения эколого-экономической оценки рассчитывать экономическую оценку ущерба от стационарных и передвижных источников, по видам загрязняемых объектов (атмосферный воздух, водные объекты, почвы и земельные объекты), индексы загрязнения атмосферы, водных объектов, коэффициент загрязнения почвы, а также предотвращенный ущерб от воздействия объекта на окружающую среду (используется при расчете экологической эффективности проекта по экомодернизации объектов энергетики). Ограничениями предлагаемых подходов являются известные проблемы экономической оценки ущерба и необходимость сбора большого объема данных для расчета. Т. Титенберг и авторы, помимо оценки влияния реализации проекта на окружающую среду, отмечают, что, кроме эколого-экономической оценки, необходимо прогнозировать влияние эксплуатации объекта на здоровье населения и основные социально-демографические показатели [11, 12].

Многие зарубежные и отечественные авторы рекомендуют использовать следующие показатели оценки эколого-экономической эффективности: определение чистой приведенной стоимости всех затрат и выгод (NPV) [4, 6, 9–15], внутренняя норма отдачи (IRR)

<sup>8</sup> Eco-efficiency. Creating more Value with less Impact; World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), 2000.

[4, 6, 13–15] и отношение выгод к затратам (B/C) [6, 10, 12–16].

При расчете чистой приведенной стоимости понесенных экологических затрат применяется методика дисконтирования экологических затрат и выгод, которые в обязательном этапе включаются в последующий анализ экономической эффективности проекта:

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{Be_t - Ce_t}{(1+r)^t}, \quad (1)$$

где  $Be_t$  – экологические и социальные выгоды, ден. ед.,  $Ce_t$  – экологические и социальные затраты, ден. ед.,  $t$  – год оценки, лет,  $r$  – ставка дисконтирования, доли ед.,  $T$  – период времени, учитываемый в анализе (период времени, в течение которого будут происходить измеримые последствия от влияния данного проекта на окружающую среду и природные ресурсы, включая социально-экономические), лет.

Внутренняя норма отдачи представляет собой норму доходности инвестиций и определяется при помощи итеративного перебора ставки дисконтирования, при котором выполняется следующее условие:

$$\sum_{t=0}^T \frac{Be_t - Ce_t}{(1+r)^t} = 0. \quad (2)$$

Отношение выгоды/затраты характеризует соотношение дисконтированных экологических и социальных выгод к дисконтированным затратам:

$$B/C = \frac{\frac{Be_t}{(1+r)^t}}{\frac{Ce_t}{(1+r)^t}}. \quad (3)$$

Рассмотренные выше показатели оценивают экологическую эффективность проекта с точки зрения соотношения экологических затрат к экологическим выгодам в денежных единицах.

Требуется дополнение этих показателей учетом эффективности использования всего комплекса природных ресурсов в процессе производства.

В своем труде Дейли и Костанца отмечают необходимость оценки эффективности использования природного капитала и указывают, что одним из недостатков существующих подходов к эколого-экономической оценке является слабая связь экологических затрат и выгод с конечными показателями деятельности предприятий-загрязнителей [16]. Еще одной проблемой, возникающей при эколого-экономической оценке инвестиционных проектов, является некорректность отображения в количественных показателях влияния проекта на окружающую среду и оценки масштабов использования природного капитала.

Таким образом, существующие подходы к эколого-экономической оценке проектов не учитывают в полной мере эффективность использования природного капитала. Снижение природоемкости производства является одним из направлений перехода к эколого ориентированному устойчивому развитию, поэтому система показателей экологической оценки инвестиционных проектов, в частности в энергетике, должна включать показатели оценки природоемкости проектов [17–19].

### 3. Методология исследования

В качестве отдельных показателей природоемкости могут рассматриваться показатели ресурсоемкости (по видам ресурсов), отходоемкости и другие. Такие показатели природоемкости, как ресурсоемкость, отходоемкость производства, получают, рассчитывая отношение объема используемых ресурсов либо объема образующихся отходов к соответствующему объему производства.

Анализ природоемкости инвестиционных проектов в энергетике предполагает оценку эффективности использования природных ресурсов при производстве энергии.

Авторы вводят новые показатели природоемкости производства энергии, включая ресурсоемкость и отходоемкость производства энергии.

*Ресурсоемкость производства энергии* ( $R$ ) – отношение объема ( $V$ ) используемых объектом энергетики ресурсов (в натуральном выражении), к соответствующему годовому объему вырабатываемой энергии  $N_e$  (в натуральном выражении).

К частным показателям ресурсоемкости, характеризующим эффективность использования отдельных видов природных ресурсов, можно отнести топливеемкость ( $F$ ) и водоемкость ( $W$ ) производства энергии:

$$F = \frac{V_{fuel}}{N_e}, \quad (4)$$

где  $F$  – топливеемкость производства энергии,  $V_{fuel}$  – объем потребляемого объектом энергетики топлива, нат. ед.,  $N_e$  – объем вырабатываемой электроэнергии, нат. ед.

$$A = \frac{V_{water}}{N_e}, \quad (5)$$

где  $A$  – водоемкость объекта энергетики,  $V_{water}$  – объем потребляемой объектом энергетики воды, нат. ед.

*Отходоемкость производства энергии* ( $W$ ) – отношение объема образующихся в процессе производства энергии отходов к соответствующему годовому объему вырабатываемой энергии:

$$W = \frac{V_{waste}}{N_e}, \quad (6)$$

где  $W$  – отходоемкость производства энергии,  $V_{waste}$  – объем образуемых отходов на объекте энергетике, нат. ед.;

Вводимые авторами критерии оценки природоемкости производства энергии позволяют не только качественно дополнить процесс оценки экологической эффективности проекта, но и сравнить альтернативные проекты энергетики относительно эффективности использования ресурсов и объема образующихся отходов при производстве энергии.

Предлагаемый подход позволит упростить процесс оценки эколого-экономической эффективности проектов в энергетике и процесс принятия управленческих решений относительно альтернативных инвестиционных проектов.

Вводимые показатели природоемкости производства энергии могут рассчитываться как в натуральном, так и в стоимостном выражении, что повысит информативность анализа.

Для оценки эффективности инвестиционного проекта в энергетике предлагается ввести индикатор эффективности  $I_i$ , который может быть выражен обобщенной формулой:

$$I = 1 - \frac{V_2}{V_1}, \quad (7)$$

где  $I_i$  – индикатор эффективности проекта,  $V_{1,2}$  – показатель природоемкости (топливеемкость, водоемкость или отходоемкость) до ( $V_1$ ) и после ( $V_2$ ) реализации проекта.

Снижение показателей ресурсоемкости и отходоемкости после реализации проекта реформирования объекта энергетической отрасли свидетельствует об экологической эффективности проекта и наоборот, в случае роста этих показателей следует рассмотреть альтернативные проекты.

Индикатор эффективности должен быть положительной величиной и принимать значения от 0 до 1 – в этом случае он свидетельствует о снижении

природоемкости и об экологической эффективности проекта.

#### 4. Результаты исследования

Апробация предложенной системы показателей проводилась по данным инвестиционного проекта, реализуемого на объекте энергетики X (ТЭЦ), расположенном в Уральском федеральном округе. Цель инвестиционного проекта – модернизация объекта энергетики, а именно – переход на газомазутный тип ТЭЦ. До начала реализации проекта ТЭЦ X работало на угольном топливе (челябинский уголь), что приводило к поступлению значительных объемов вредных веществ в атмосферу. Срок реализации проекта – два года, проект подразумевает полную ликвидацию угольной инфраструктуры на объекте энергетики в течение двух лет, при этом параллельно должно обеспечиваться непрерывное энергоснабжение населенного пункта, в котором располагается ТЭЦ X (табл. 2).

По итогам реализации проекта вырос объем вырабатываемой энергии более чем на 7%, но при этом объем потребляемого топлива после реализации проекта увеличился на 18,9% – более быстрыми темпами, что обусловлено сменой энергоносителя.

Потребляемое топливо учитывалось в условных тоннах, для перевода натурального топлива в условное использовались следующие коэффициенты: челябинский уголь – 0,552, газ горючий природный – 1,154, мазут топочный – 1,37.

В качестве резервного типа топлива после модернизации объекта энергетики по-прежнему будет использоваться мазут. Динамика в целом положительная, ресурсопотребление снижается. В табл. 3 приведены расчеты показателей природоемкости производства энергии до и после реализации инвестиционного проекта.

Существенно изменилась структура потребления топлива: до реализа-

Таблица 2. Основные показатели деятельности ТЭЦ X до и после реализации инвестиционного проекта

Table 2. Key performance indicators of CHP plant X before and after the implementation of investment project

Показатель	1 год (до реализации проекта)	2 год (реализация проекта)	3 год (после реализа- ции проекта)
	ТЭЦ X		
Производство энергии, кВт*ч	178,55	189,80	191,70
Общее потребление топлива, тыс. тонн / тыс. т. у. т., в том числе:	539,22 / 387,52	220,3 / 317,13	224,5 / 323,52
Природный газ, тыс. м <sup>3</sup> / тыс. тонн / тыс. т. у. т.	121,9 / 97,5 / 140,67	264 / 211 / 304,66	275 / 220 / 317,35
Мазут, тыс. тонн / тыс. т. у. т.	3,7 / 5,07	9,1 / 12,47	4,5 / 6,17
Уголь, тыс. тонн / тыс. т. у. т.	438 / 241,78	0	0
Потребление воды, тыс. м <sup>3</sup>	175,28	154,92	149,18
Образование отходов, тыс. тонн	319,30	186,40	169,20

Таблица 3. Расчет показателей природоемкости производства энергии до и после реализации инвестиционного проекта на ТЭС X

Table 3. Indicators of eco-intensity of energy production before and after the implementation of investment project at CHP plant X

Показатель природоемкости производства энергии	1 год (до реализации проекта)	2 год (реализация проекта)	3 год (после реализации проекта)	Индикатор эффективности
	ТЭЦ X			
Топливоемкость производства энергии (общая), т. у. т. / кВт·ч	2,17	1,67	1,69	0,22
Водоемкость производства энергии, м <sup>3</sup> / кВт·ч	0,98	0,82	0,78	0,20
Отходоемкость производства энергии, тонн / кВт·ч	1,79	0,98	0,88	0,51

ции проекта основным видом топлива на объекте энергетики был челябинский уголь, тогда как природный газ и мазут считались резервными видами топлива. После проведения модернизации мазут остался резервным видом топлива, а газ стал основным, что значительно повышает не только ресурсную, но и экологическую эффективность производства энергии ТЭЦ.

Водоемкость производства энергии снизилась на третий год реализации проекта на 17% относительно ее значения до реализации проекта, при этом наименьшее значение водоемкости пришлось на второй год реализации про-

екта из-за проведения модернизации объекта энергетики и снижения производства энергии. Изменение показателей природоемкости производства энергии представлено на рис. 3.

В результате проведения модернизации объекта N, общее образование отходов производства существенно сократилось. Использование угля в качестве основного топлива для ТЭЦ подразумевает образование значительного объема золошламовых отходов, переход на газомазутный тип ТЭЦ позволил существенно снизить образование отходов производства (более чем на 37%), что подтверждает снижение рассчитанно-

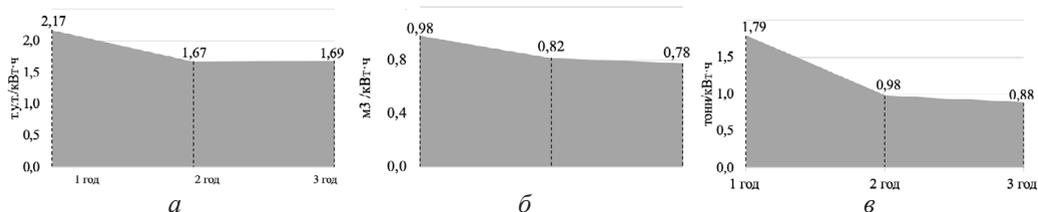


Рис. 3. Изменение показателей природоемкости производства энергии до и после реализации инвестиционного проекта на ТЭС X: а – изменение топливоемкости, б – изменение водоемкости, в – изменение отходоемкости

Fig. 3. Changes in eco-intensity indicators of energy production before and after the implementation of an investment project at CHP plant x: a – fuel intensity; b – water use intensity, c – waste intensity

го показателя отходоёмкости производства энергии. Эффективность проекта относительно изменения отходоёмкости производства составила 42%. Рост отходоёмкости на третий год относительно второго года реализации проекта связан с ростом производства энергии и использования мазута в качестве топлива.

## 5. Выводы

Предложенная система показателей природоёмкости производства энергии позволяет упростить и дополнить подход к оценке эколого-экономической эффективности проектов: разработанные показатели природоёмкости рассчитываются на основе количественных показателей деятельности объекта энергетики (потребление ресурсов и объем производства) и позволяют сравнивать ресурсоёмкость как малых объектов энергетики, так и крупных.

Апробация предложенных авторами показателей природоёмкости производства энергии позволила сделать вывод об эффективности проекта эко-модернизации объекта региональной энергетики с точки зрения динамики ресурсопотребления и соответствующего воздействия на окружающую среду.

Для повышения информативности предлагаемой системы показателей можно в дальнейшем дополнить расчет показателей природоёмкости производства энергии в натуральных единицах расчетом в денежных единицах, что позволит оценить эффективность проводимых природоохранных мероприятий с коммерческой точки зрения. Кроме того, система показателей может быть дополнена и адаптирована под особенности различных объектов как традиционной, так и альтернативной энергетики.

## Список использованных источников

1. *Ike G. N., Usman O., Alola A. A., Sarkodie S. A.* Environmental quality effects of income, energy prices and trade: The role of renewable energy consumption in G-7 countries // *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 721. P. 1–10. DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.137813.
2. *Kozhevnikov M., Gitelman L., Magaril E., Magaril R., Aristova A.* Risk reduction methods for managing the development of regional electric power industry // *Sustainability*. 2017. Vol. 9, Issue 12. P. 2201.
3. *Dieter C. A., Linsey K. S., Caldwell R. R., Harris M. A., Ivahnenko T. I., Lovelace J. K., Maupin M. A., Barber N. L.* Estimated Use of Water in the United States County-Level Data for 2015. U. S. Geological Survey Circular 1441. 2018. 65 p. DOI: 10.3133/cir1441.
4. *Bartošová V., Majerčák P., Hrašková D.* Taking risk into account in the evaluation of economic efficiency of investment projects: Traditional methods // *Procedia Economics and Finance*. 2015. Vol. 24. P. 68–75. DOI:10.1016/S2212–5671 (15) 00614-0.
5. *Gitelman L., Magaril E., Kozhevnikov M., Rada E. C.* Rational behavior of an enterprise in the energy market in a circular economy // *Resources*. 2019. Vol. 8, Issue 2. P. 73. DOI:10.3390/resources8020073.
6. *Gotze U., Pecas P., Richter F.* Design for eco-efficiency – a system of indicators and their application to the case of moulds for injection moulding // *Procedia Manufacturing*. 2019. Vol. 33. P. 304–311. DOI: 10.1016/j.promfg.2019.04.037.
7. *Moustakas K., Loizidou M., Rehan M., Nizami A. S.* A review of recent developments in renewable and sustainable energy systems: Key challenges and future perspective // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2020. Vol. 119. No. 109418. DOI: 10.1016/j.rser.2019.109418.
8. *Олех Т. М., Руденко С. В., Гогунский В. Д.* Оценка эффективности экологических проектов // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2013. № 10 (61). С. 79–81.
9. *Эндрес А. Квернер И.* Экономика природных ресурсов : учебник / пер с англ. под ред. Н. Пахомовой, К. Рихтера. 2-е изд. СПб.: Питер, 2004. 256 с.

10. *Tutenберг Т.* Экономика природопользования и охрана окружающей среды / пер. с англ. ; под ред. А. Д. Думного и И. М. Потравного. М.: ОЛМА-Пресс, 2001. 591 с.
11. *Jiříček P., Dvořáková S.* Solution of socio-economic efficiency of public projects under the conditions of variable amount of subsidy // *Scientific Papers of the University of Pardubice. Series D: Faculty of Economics and Administration.* 2019. Vol. 46, Issue 2. P. 79–90.
12. *Azapagic A., Perdan S.* Indicators of sustainable development for industry: A general framework // *Process Safety and Environmental Protection.* 2000. Vol. 78, Issue 4. P. 243–261. DOI:10.1205/095758200530763.
13. *Пахомова Н. В., Рухтер К. К.* Экономика природопользования и экологический менеджмент. 2-е изд. СПб.: ОЭЦиМ, 2006. 486 с.
14. *Hák T., Janoušková S., Moldan B.* Sustainable development goals: A need for relevant indicators // *Ecological Indicators.* 2016. Vol. 60. P. 565–573. DOI:10.1016/j.ecolind.2015.08.003.
15. *Liu X., Yamamoto R., Suk S.* A survey of company's awareness and approval of market-based instruments for energy saving in Japan // *Journal of Cleaner Production.* 2014. Vol. 78. P. 35–47. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.05.005.
16. *Costanza R., Dely H.* Natural capital and sustainable development // *Conservation Biology.* 1992. Vol. 6, Issue 1. P. 37–46. DOI: 10.1046/j.1523-1739.1992.610037.x.
17. *Magaril E. R., Abrzhina L. L., Belyaeva M. A.* Environmental damage from the combustion of fuels: Challenges and methods of economic assessment // *WIT Transactions on Ecology and The Environment.* 2014. Vol. 190, Issue 2. P. 1105–1115. DOI: 10.2495/EQ141032.
18. *Абржина Л. Л., Магарил Е. Р.* Методический подход к экономической оценке ущерба атмосферному воздуху. // *Вестник УГТУ-УПИ. Серия экономика и управление.* 2008. № 2. С. 100–103.
19. *Aanand D., Ball P., Salonitis K.* Factory eco-efficiency modelling: Data granularity and performance indicator // *Procedia Manufacturing.* 2017. Vol. 8. P. 479–486. DOI: 10.1016/j.promfg.2017.02.061.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

### Караева Анжелика Пирмамедовна

Аспирант кафедры экономики природопользования Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19); ORCID 0000-0003-3367-7678; e-mail: anzhelika.karaeva@gmail.com.

### Магарил Елена Роменовна

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики природопользования Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19); ORCID 0000-0003-3034-9978; e-mail: magaril67@mail.ru.

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ

Караева А. П., Магарил Е. Р. Показатели природоемкости производства энергии как инструмент оценки эффективности проектов в энергетике // *Journal of Applied Economic Research.* 2020. Т. 19, № 2. С. 166–179. DOI: 10.15826/vestnik.2020.19.2.009.

## ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ

Дата поступления 11 мая 2020 г.; дата поступления после рецензирования 20 мая 2020 г.; дата принятия к печати 23 июня 2020 г.

# Environmental Capacity Indicators as a Tool for Evaluation of Energy Projects Efficiency

A. P. Karaeva  , E. R. Magaril 

Ural Federal University named after the First President of Russia B. N. Yeltsin,  
Ekaterinburg, Russia

 [anzhelika.karaeva@gmail.com](mailto:anzhelika.karaeva@gmail.com)

**Abstract.** Today, improving the efficiency of the use of natural resources and conducting eco-modernization of energy facilities in order to reduce the negative impact on the environment is among the top priorities for the development of the energy industry at the world level. Solving these strategic tasks is impossible without significant investment activity: the influx of investments in the industry contributes to the rapid and effective implementation of projects and the development of the industry as a whole. Most of the existing methodologies for assessing the effectiveness of investment projects do not include comprehensive analysis of environmental aspects, thus creating environmental risks for the implementation of projects and the operation of energy facilities in the future. In addition, existing methods do not allow one to assess the rationality of the use of the whole mix of natural resources by an energy facility, which can lead to significant damage to natural capital. Energy facilities are the largest consumers of fuel and water resources, and as a result, the energy industry is one of the largest suppliers of industrial waste to the environment. Modern projects for eco-modernization of energy facilities are aimed at reducing resource consumption and the emission of harmful substances and industrial waste into the environment. Therefore, the urgent task is to formulate an approach to assessing the effectiveness of projects in the energy sector, taking into account the natural resources and environmental aspects. The aim of the study is to develop a system of indicators to assess the effectiveness of the use of natural resources in the implementation of investment projects in the energy sector. A system of indicators of the energy use intensity of energy production developed by the authors is presented, including indicators of resource intensity and waste intensity of energy production. The resource intensity indicator is represented by a particular indicator of fuel capacity, which can be calculated for several types of fuel consumed by an energy facility, and indicator of water use capacity of energy production. The proposed indicators allow us to assess the rationality of the use of natural resources during the operation of an energy facility using traditional hydrocarbon fuels, as well as to conduct a comparative analysis of alternative projects in order to choose the best one. The results of testing the developed indicators at the regional energy facility are presented.

**Key words:** energy sector; investment projects; environmental and economic efficiency assessment; environmental and natural resource management.

JEL Q510

## References

1. Ike, G.N., Usman, O., Alola, A.A., Sarkodie, S.A. (2020). Environmental quality effects of income, energy prices and trade: The role of renewable energy consumption in G-7 countries. *Science of The Total Environment*, Vol. 721, 1–10. DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.137813.
2. Kozhevnikov, M., Gitelman, L., Magaril, E., Magaril, R., Aristova, A. (2017). Risk reduction methods for managing the development of regional electric power industry. *Sustainability*, Vol. 9, Issue 12, 2201.

3. Dieter, C. A., Linsey, K. S., Caldwell, R. R., Harris, M. A., Ivahnenko, T. I., Lovelace, J. K., Maupin, M. A., Barber, N. L. (2018). Estimated Use of Water in the United States County-Level Data for 2015. *U. S. Geological Survey Circular 1441*. 65 p. DOI: 10.3133/cir1441.
4. Bartošová, V., Majerčák, P., Hrašková, D. (2015). Taking risk into account in the evaluation of economic efficiency of investment projects: Traditional methods. *Procedia Economics and Finance*, Vol. 24, 68–75. DOI:10.1016/S2212–5671 (15) 00614-0.
5. Gitelman, L., Magaril, E., Kozhevnikov, M., Rada, E.C. (2019). Rational behavior of an enterprise in the energy market in a circular economy. *Resources*, Vol. 8, Issue 2, 73. DOI:10.3390/resources8020073.
6. Gotze, U., Pecas, P., Richter, F. (2019). Design for eco-efficiency – a system of indicators and their application to the case of mounds for injection moulding. *Procedia Manufacturing*, Vol. 33, 304–311. DOI: 10.1016/j.promfg.2019.04.037.
7. Moustakas, K., Loizidou, M., Rehan, M., Nizami, A.S. (2020). A review of recent developments in renewable and sustainable energy systems: Key challenges and future perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 119, No. 109418. DOI: 10.1016/j.rser.2019.109418.
8. Olekh, T. M., Rudenko, S.V., Gogunsky, V.D. (2013). Otsenka effektivnosti ekologicheskikh proektov (Assessment of Environmental Projects). *Vostochno-Evropeskii zhurnal peredovykh tekhnologii (Eastern-European Journal of Enterprise Technology)*, No. 10 (61), 79–81. (In Russ.).
9. Endres, A., Querner, I. (2000). *Die Ökonomie natürlicher Ressourcen*. Kohlhammer.
10. Titenberg, T. (2009). *Environmental Economics and Policy*. Pearson.
11. Jiříček, P., Dvořáková, S. (2019). Solution of socio-economic efficiency of public projects under the conditions of variable amount of subsidy. *Scientific Papers of the University of Pardubice. Series D: Faculty of Economics and Administration*, Vol. 46, Issue 2, 79–90.
12. Azapagic, A., Perdan, S. (2000). Indicators of sustainable development for industry: A general framework. *Process Safety and Environmental Protection*, Vol. 78, Issue 4, 243–261. DOI:10.1205/095758200530763.
13. Pakhomova, N. V., Rikhter, K. K. (2006). *Ekonomika prirodopolzovaniia i ekologicheskii menedzhment [Environmental economics and management]*. St Petersburg, OETsIM. (In Russ.).
14. Hák, T., Janoušková, S., Moldan, B. (2016). Sustainable development goals: A need for relevant indicators. *Ecological Indicators*, Vol. 60, 565–573. DOI:10.1016/j.ecolind.2015.08.003.
15. Liu, X., Yamamoto, R., Suk, S. (2014). A survey of company's awareness and approval of market-based instruments for energy saving in Japan. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 78, 35–47. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.05.005.
16. Costanza, R., Dely, H. (1992). Natural capital and sustainable development. *Conservation Biology*, Vol. 6, Issue 1, 37–46. DOI: 10.1046/j.1523–1739.1992.610037.x.
17. Magaril, E. R., Abrzhina, L. L., Belyaeva, M. A. (2014). Environmental damage from the combustion of fuels: Challenges and methods of economic assessment. *WIT Transactions on Ecology and The Environment*, Vol. 190, Issue 2, 1105–1115. DOI: 10.2495/EQ141032.
18. Abrzhina, L. L., Magaril, E. R. (2008). Metodicheskii podkhod k ekonomicheskoi otsenke ushcherba atmosfernomu vozdukh (Methodical approach to the economic evaluation of harm to atmospheric air). *Vestnik UGTU-UPI. Seriya ekonomika i upravlenie (Bulletin of Ural Federal University. Series Economics and Management)*, No. 2, 100–103. (In Russ.).
19. Aanand, D., Ball, P., Salonitis, K. (2017). Factory eco-efficiency modelling: Data granularity and performance indicator. *Procedia Manufacturing*, Vol. 8, 479–486. DOI: 10.1016/j.promfg.2017.02.061.

## INFORMATION ABOUT AUTHORS

### **Karaeva Anzhelika Pirmamedovna**

Post-Graduate Student? Department of Environmental Economics, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia (620002, Ekaterinburg, Mira street, 19); ORCID 0000-0003-3367-7678; e-mail: anzhelika.karaeva@gmail.com.

### **Magaril Elena Romenovna**

Doctor of Technical Science, Professor, Head of Department of Environmental Economics, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia (620002, Ekaterinburg, Mira street, 19); ORCID 0000-0003-3034-9978; e-mail: magaril67@mail.ru.

## FOR CITATION

Karaeva A. P., Magaril E. R. Environmental Capacity Indicators as a Tool for Evaluation of Energy Projects Efficiency. *Journal of Applied Economic Research*, 2020, Vol. 19, No. 2, 166–179. DOI: 10.15826/vestnik.2020.19.2.009.

## ARTICLE INFO

Received May 11, 2020; Revised May 20, 2020; Accepted June 23, 2020.

