УДК 338.45
DOI 10.23968/1999-5571-2025-22-4-143-153

© *А. Ю. Корнилова*, канд. экон. наук, эксперт
(Meterstartup.ru, Москва, Россия)
E-mail: pqmcjd@yandex.ru

© *A. Yu. Kornilova*, PhD in Sci. Ec., expert
(Meterstartup.ru, Moscow, Russia)
E-mail: pqmcjd@yandex.ru

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ В ЭКОНОМИКЕ

CLASSIFICATION OF ENERGY EFFICIENCY INDICATORS IN ECONOMY

Исследованы современные концепции в отечественной и мировой экономической науке, такие как концепция «воплощенной энергии», «зеленой» экономики и первичной энергии. На их основе сформулированы параметры энергоэффективности, разработана классификация показателей с учетом подходов к оценке, характеру и эффекту от потребления и др. Исходя из типологии показателей энергоэффективности, определены задачи экономического анализа процессов производства и потребления энергии. Представленные материалы позволят находить наиболее эффективные технологии экономии и определения различных источников потребления энергии.

Ключевые слова: классификация показателей энергоэффективности, экономические задачи, концепция «воплощенной энергии», концепция «зеленой» экономики, концепция первичной энергии.

Modern concepts of domestic and global economic science, such as the concept of «embodied energy», «green» economy and primary energy are investigated. On their basis, the parameters of energy efficiency are clarified, the classification of its indicators has been developed taking into account approaches to assessment, nature and effect from consumption, methodology for formation of costs, etc. Taking into account the typology of energy efficiency indicators, the tasks of economic analysis of processes of production and consumption of energy are defined. The materials presented will help applying cost-effective technologies and identifying different sources of energy consumption.

Keywords: classification of energy efficiency indicators, economic objectives, concept of «embodied energy», concept of «green» economy, concept of primary energy.

Введение

В последние годы активно обсуждаются проблемы окружающей среды и возможности перехода на низкоуглеродный путь развития глобальной экономики. Для реализации Парижского соглашения, предусматривающего удержание глобального потепления в пределах 1,5 °С[1], требуются масштабные изменения во всей мировой экономике. Западные страны уже активно проводят политику «зеленой» энергетики и ставят целью отказ от импорта углеводородов, поэтому энергоэффективность сегодня рассматривается как часть политики, способной сократить спрос на ископаемое топливо без ущерба для экономического развития.

Правительства России и ряда западных стран установили энергоемкость ВВП в качестве целевого показателя энергоэффективности. Однако существует неопределенность в отношении выбора конкретных показателей на мезо- и микроуровне экономики, что имеет большое значение для достижения целей на уровне государства.

Выбор показателей является непростым, так как переход на низкоуглеродную траекторию развития экономики предполагает не только производство иных видов топлива, но и иных способов его преобразования и использования. Наряду с задачей оценки энергетических ресурсов как части произ-

[1] Парижское соглашение. ООН. 2015. URL: https://unfccc.int/sites/ default/files/russian_paris_agreement.pdf

водственного процесса в современном мире необходимо оценивать потенциальные возможности экономии с учетом технических и экологических характеристик, поскольку важно сочетать цели отраслевого развития с сохранением окружающей среды.

Обоснованный выбор показателя энергоэффективности возможен на основе упорядоченных знаний о типе индикатора, его характерных признаках и типологии, что позволяет выявлять наиболее значимые для анализа критерии и факторы. Для этого необходима систематизация показателей, однако в экономической литературе отсутствует общепринятая классификация.

Наиболее известную классификацию показателей энергоэффективности в зависимости от способа использования физических величин приводит М. Паттерсон, включая следующие:

- термодинамические;
- физико-термодинамические;
- экономико-термодинамические;
- экономические [1].

Основное внимание исследователей в области энергоэффективности уделяется государственной политике, поэтому зарубежные исследователи (Р. Орсис, Дж. Сазайе и др.) приводят классификацию показателей, акцентируя внимание на ее значимости для государственного регулирования [2, 3]. Официальная классификация принята на государственном уровне в России и в ряде зарубежных стран только в отношении отдельных классов основных средств[2,3].

Наряду с показателями энергоэффективности, выраженными физическими величинами, современные исследователи включают в оценку строго финансовые, а также экологические показатели (например, CO_2). Так, классификация ODYSSEE насчитывает примерно 180 параметров, которые разделены на 6 различных типов [4]. Кроме этого, существует классификация энергетических услуг по признакам, которые приводит UNIDO [5].

Энергоэффективность может сравниваться в разрезе использования различных видов энергии конечными потребителями. Однако такая классификация не дает представления о возможностях энергетической системы и объектах потребления, что важно учитывать при проведении анализа.

Современные исследователи рассматривают природу как «вещь», которая предстаёт в виде системы атомов (элементов, стихий), то есть в качестве вещественной субстанции [6]. Понимание природы в гуманитарной области берет истоки в физических науках, а современная экономика лишена метафизических представлений о внешнем мире. Поэтому исследование классификации показателей оценки энергоэффективности в области преобразования энергии было проведено на основе работ по физике. Способы преобразования энергии в современных задачах в области энергоэффективности представлены достаточно широко. Особый интерес вызывают работы международных организаций (ООН, Европейской комиссии), а также исследования в области физических наук [7, 8].

Методы

Целью настоящего исследования является разработка классификации показателей энергетической эффективности, отвечающей современным задачам экономического анализа.

Для реализации поставленной цели в ходе проведения исследования использовались следующие *методы*:

- анализ отечественной и зарубежной литературы в области энергоэффективности, включая не только работы по экономике, но и труды в области физики, поскольку энергоэффективность является междисциплинарным показателем;

[2] ГОСТ Р 58554-2019. Автомобильные транспортные средства. Показатели энергоэффективности и экологии. Способы информирования потребителей.

[3] Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации (с изменениями на 21.12.2021 г.) (редакция, действующая с 01.01.2023 г.).

- сравнительный анализ и аналогии;
- систематизация наиболее распространенных показателей энергоэффективности по классификационным признакам;
- обобщение полученных результатов.

Результаты и обсуждение

В общем виде можно представить два подхода к энергоэффективности. Теоретическим основанием подхода, который исследователи называют термодинамическим, являются первый и второй законы термодинамики; следствие последнего, т. е. 2-го закона, состоит в том, что в процессе работы системы теряется определенное количество «полезной» энергии. Второй подход — технико-экономический — основан на использовании физических мер в совокупности с экономическими характеристиками [9]. Для анализа результативности источников и потребителей энергии на макро- и микроуровнях представляется целесообразным объединение показателей в две группы в соответствии с термодинамическим и технико-экономическим подходами. Если первый использует только *термодинамические* показатели (мощность и КПД), то *технико-экономические* (энергоемкость, удельный расход энергии на единицу продукции и др.) основаны на физических мерах в совокупности с экономическими измерителями. Целью применения термодинамических показателей является измерение энергоэффективности на уровне устройства, тогда как технико-экономические используются для экономических систем и объединенных групп основных средств.

Определение КПД в термодинамическом подходе дает понимание того, как изменяется выходная мощность а, следовательно, как можно управлять эффективностью источника энергии. В физической науке существуют два метода определения КПД: прямой и косвенный. Соответственно, прямой метод определения основан на прямых измерениях входного электрического напряжения и выходной механической мощности [10]. При использовании косвенного метода входная и выходная мощности также могут быть измерены и использованы для определения составляющих потерь. С помощью прямого измерения энергоэффективности можно получить результат сокращения потерь энергии, тогда как с помощью косвенного измерения можно оценить возможности их сокращения.

С точки зрения перспектив сокращения потерь энергии можно выделить *прямые* и *непрямые* показатели энергоэффективности. Прямые основаны на соотношении результатов от потребления и затрат энергии (например, энергоемкость ВВП). Непрямые демонстрируют экономию за счет сокращения потерь энергии.

Повышение энергоэффективности вследствие иных факторов, кроме физических, возможно до тех границ, какие предопределены объективными ограничениями, заложенными в параметрах мощности. Исследование возможных потерь энергии и их источников представляет интерес для анализа, целью которого является рассмотрение результатов повышения энергоэффективности, которые могут быть использованы для целеполагания и регулирования.

Рассматриваемый объект исследования может быть отдельным устройством преобразования энергии (например, котлом) либо зданием, промышленным процессом, фирмой, сектором или экономикой в целом, которая имеет определенный потенциал по совершению работы и потреблению энергии. Он может быть рассчитан исходя из «идеального» объема выпуска продукции и оптимального сочетания факторов производства. Анализ энергоемкости как отношение использования энергии к показателю социальной полезности [11] может дать необходимую информацию об эффективности процесса создания стоимости продукта, сочетании факторов производства и определить интенсивность использования энергии в процессе выпуска продукта.

Энергоемкость позволяет анализировать результативность трансформации энергии в рамках какой-либо деятельности. Однако целевые показатели, основанные на использовании стоимостных мер, в ряде случаев представляются спорными. В политике ряда западных стран для критерия энергоэффективности применяют энергоемкость ВВП, лимиты которого теоретически безграничны, тогда как удельное потребление энергии (в расчете на человека) существенно сужает коридор целеполагания и защищает от манипуляций.

В случае, если объектом исследования является не процесс, а источник потребления энергии, могут быть использованы показатели удельного энергопотребления. Соответственно, в зависимости от направленности потребления (процесс или источник потребления) их можно разделить на 2 класса: *показатели энергоемкости и удельного энергопотребления.* Оба класса используются для экономических целей достаточно широко, но в большей степени они применимы для анализа энергоэффективности объектов потребления (например, процессов или домохозяйств).

Степень переработки энергоресурсов имеет решающее значение, поэтому важно проводить анализ производства и потребления энергии в течение ее жизненного цикла. Чем более развита цепочка создания стоимости на протяжении всего цикла энергии, тем больших выгод можно достичь за счет повышения показателей. На этой основе можно сделать вывод о разделении на два *показателя: эффективности первичной* и *конечной энергии.*

В экономической литературе энергия также рассматривается как первичная и как конечная (иногда используемая в конечном потреблении или поставляемая). Первичная энергия — это потоки энергии, извлекаемые из окружающей среды (например, сырая нефть, энергия ветра, солнечная радиация и т. д.). Конечная энергия используется конечными потребителями, т. е. это энергия, используемая в энергетической цепочке создания стоимости: в отрасли или в любой системе (например, на заводе, в городе, в стране и т. д.) [12]. Если эффективность конечной энергии может зависеть от действий потребителя, то эффективность первичной зависит от типа топлива, способа преобразования и распределения.

Параметры энергоэффективности, представленные в первичном выражении, более адекватны для сравнения общих потребностей энергии. Они дают информацию о технологических возможностях сокращения потерь при добыче определенного типа энергоресурса. Поскольку показатель конечной энергоэффективности является результирующим, то логичнее всего использовать значения первичной энергии и анализировать отдельно ее изменения при производстве, передаче или распределении. Показатели в первичном и конечном выражении не могут быть взаимозаменяемыми, хотя некоторые авторы считают целесообразной практикой использование результатов в отношении как конечной, так и первичной энергии [4]. Они применяются для различных целей: индикаторы эффективности конечной энергии ориентированы на комплексный подход к повышению энергоэффективности, а показатели первичной энергоэффективности (например, primary energy efficiency) — на узконаправленный, одноаспектный анализ.

Спорным является вопрос о том, какой показатель полностью отражает все затраты. Так, М. Диксит, Дж. Фернандэ-Солиси и другие предполагают, что значения первичной энергии, воплощенной в продукции, «согласованны», в то время как конечная энергия «вводит в заблуждение и неоднозначна» [13]. Такое утверждение позволяет выделить показатели *эффективности эксплуатации* и *совокупной энергии*. Понимание совокупной энергии также относится к жизненному ци-

клу, но в данном случае речь идет о продукте или услуге.

До недавнего времени акцент в исследованиях по энергоэффективности ставился на анализе энергии, потребляемой при эксплуатации устройств. Однако новые работы по данной проблеме опровергли эту точку зрения, проиллюстрировав, что воплощенная или совокупная энергия занимает значительную часть от общей энергии жизненного цикла. Исследователи пришли к выводу, что, например, производство полупроводников сложное и энергоемкое и срок службы довольно короткий, тогда как потребление энергии при эксплуатации этих устройств минимально.

В соответствии с концепцией воплощенная или совокупная энергия — это энергия, потребляемая во всех процессах, связанных с производством товара или услуги [14]. Таким образом, показатели энергоэффективности эксплуатации оценивают потребление энергии объектом, тогда как показатели эффективности совокупной энергии оценивают общую эффективность потребления в процессе создания объекта. Разделение показателей с позиции метода формирования затрат энергии по критерию эффективности эксплуатации и ее использования позволяет анализировать воздействие на окружающую среду производства отельных товаров или услуг.

Анализ угроз от использования энергии для человека и природы необходим для предотвращения природных катаклизмов и, как следствие, социально-экономических катастроф. Значимость анализа последствий влияния потребления энергии на окружающую среду в современном мире свидетельствует об изменения объекта экономического исследования: «общество» меняется на диаду «общество» — «глобальная экосистема», где глобальная экосистема имеет приоритетное значение. Некоторые ученые выделяют экономико-экологические аспекты анализа деятельности экономических агентов [15], признавая экологический императив выше благ пользователей природных ресурсов.

С позиций оценки эффекта от потребления энергии можно выделить *общеэкономические* и *экономико-экологические показатели*. Общеэкономические измеряют эффективность использования энергии с позиции экономических преимуществ для человека. Показатели энергетической эффективности можно назвать экономико-экологическими, если они оценивают эффективность использования энергии с учетом угроз для человека и окружающей среды. Такие показатели могут включать географические измерители, в том числе относящиеся к природопользованию. Примером могут служить скорректированные индексные показатели, разработанные с учетом различий между странами, такие как, например, климатические условия. Так, показатели выбросов CO_2 рассчитываются в дополнение к другим показателям.

Энергоэффективность оценивается в соответствии с принципом полезности, но сама экономическая полезность трактуется достаточно широко. Сложность ее оценки состоит еще и в противоречиях между эффектами, которые создаются в результате применения источника потребления. Часть энергии, используемой в энергетическом оборудовании, всегда будет «теряться» в виде тепла, которое также может быть использовано, если основным назначением оборудования не является производство тепла. Например, электрическая лампочка может излучать свет с эффективностью 15 %, в то время как остальная часть энергии расходуется на обогрев помещения. Это означает, что желаемый эффект составляет 15 %, а общий — 100 % [16]. Таким образом, преобразование энергии само по себе многомерно: оно может создавать дополнительные выгоды, но альтернативное использование этих выгод не всегда учитывается.

Энергетические услуги можно разделить на три категории в зависимости от вида предоставляемой энергии:

- тепловая энергия за счет отопления (повышения температуры чего-либо) либо при полном сгорании веществ;
- электрическая энергия;
- другие виды энергии, например, механическая.

Переход к низкоуглеродным и в конечном счете нулевым выбросам углерода в энергетические системы является фундаментальным изменением, сравнимым только с промышленной революцией. Как отмечает Н. Эйр, в результате этого перехода вместо энергоуслуг, для которых требуется работа, обеспечиваемая за счет сжигания топлива и получения тепла, энергоуслуги, для которых требуется тепло, будут предоставляться за счет источников энергии, которые обеспечивают работу [17]. Таким образом, за счет электрической энергии могут быть изменены условия полезности как блага, и она будет применяться для транспортных услуг, традиционно базирующихся на сжигании топлива. Энергетические системы изменятся, когда перейдут от преобразования «тепла в работу» к преобразованию «работы в тепло».

Многие программы повышения эффективности на Западе в значительной степени сосредоточены на «проблеме распределения» или определении того, какая доля установленных мер и/или экономии обусловлена исключительно вмешательством коммунальных служб, а какая — внешними факторами [19]. Нельзя переоценивать полезность, особенно в отношении действий, которые на самом деле не предпринимаются, потому что актуальной экономической задачей становится учет возможных выгод от использования всего физического потенциала различных источников энергии. Несмотря на то что основное внимание в государственной политике преимущественно западных стран уделяется возобновляемым источникам энергии, экономически целесообразен поиск максимальных возможностей применения всего арсенала имеющихся средств.

Поэтому в зависимости от функциональности энергии важно разделить показатели на индикаторы *явной и неявной энергоэффективности*. При использовании первого индикатора исследуется потенциал сокращения энергии в наблюдаемом процессе переработки (КПД, энергоемкость продукции), тогда как во втором — максимально возможный гипотетический потенциал полезной энергии в энергетическом цикле. К последнему (неявная энергоэффективность) можно отнести коэффициенты эксергии и другие, основанные на энергетическом балансе. Большинство показателей относится к явным и решает задачу оценки желаемых изменений энергии, полученной из определенного типа топлива при заданной технологии.

Любой показатель энергоэффективности имеет сложную структуру. Интерпретация расширяется путем сравнения нескольких параметров, чтобы определить, например, влияние на потребление энергии факторов, не связанных с образом жизни, поведением, структурными изменениями в промышленности, сменой вида транспорта и др. [18]. По своей природе любой показатель предполагает наличие факторов, которые не всегда отражены напрямую. Однако в последние годы появилось много показателей эффективности, основанных на индексном методе (IEA [19], ODEX [18] и др.), которые призваны эти факторы отражать. В первую очередь индексы направлены на анализ «сверху–вниз», отражая влияние эффективности использования энергии различными секторами и отраслями. Они адаптированы для моделирования воздействия политики в области альтернативной энергоэффективности [20]. В соответствии с уровнем экономического анализа ее условно можно разделить на агрегированные и индивидуальные показатели.

Агрегированные показатели основаны на индивидуальных, дезагрегированных до определенного уровня индексах активности. Формулу для расчета индивидуального показателя энергоэффективности можно представить в следующем виде [21]:

$$I_i = \frac{E_i}{A_i}, \quad (1)$$

где I_i — количество энергии, необходимое для осуществления одной единицы i-й экономической деятельности;

E_i — потребление энергии i-м видом деятельности;

A_i — i-й вид деятельности — уровень экономической активности (произведенный объем продукции/доход, количество пройденных пассажиро-километров и т. д.).

Отдельные показатели призваны увязывать различные виды экономической активности и спрос на энергию либо энергоемкость, их можно отнести к агрегированным показателям энергоэффективности. Например, на более низком уровне агрегирования сталелитейная промышленность в рамках своего сектора деятельности может измеряться либо добавленной стоимостью (далее ДС), либо тоннами произведенной стали, либо энергоемкостью в ГДж/ДС или ГДж/тонна стали.

На самом высоком агрегированном уровне макроэкономики деятельность измеряется в энергоемкости (гигаджоулях на единицу ВВП или на единицу добавленной стоимости (ГДж/ДС). Агрегированная энергоэффективность в момент времени t может быть выражена как сумма произведений энергоемкости и доли каждой отрасли на общую активность сектора [21]:

$$I_t = \sum_t S_{it} \cdot I_{it}, \quad (2)$$

где I_t — совокупная энергоемкость;

S_{it} — доля отрасли промышленности i в общей валовой добавленной стоимости (ВДС);

I_{it} — энергоемкость отрасли промышленности i.

Аналогично информация агрегируется по подсекторам. Например, жилищный сектор состоит из ряда подсекторов, таких как отопление/охлаждение помещений, нагрев воды, приготовление пищи, освещение, бытовая техника и т. д. Активность в каждом подсекторе измеряется с учетом следующих показателей:

- населения или количества домашних хозяйств;
- структура в случае отопления/охлаждения помещений и освещения определяется площадью на душу населения;
- энергоемкость определяется количеством энергии на квадратный метр площади.

В транспортном секторе пассажирские и грузовые перевозки — это два подсектора, в которых учитываются пассажирооборот-километры и тонно-километры соответственно [15].

В таблице приводится классификация показателей энергоэффективности, кроме этого, приведены примеры индикаторов и задачи экономического анализа, которые соответствуют показателям определенного типа.

Выводы

Проведенное исследование и систематизация показателей энергетической эффективности в экономике по признакам классификации позволяют точно определять область их применения в различных сферах экономической деятельности.

Показатели энергетической эффективности могут различаться в зависимости от следующих факторов:

- от подхода к ее оценке;
- перспектив сокращения потерь энергии;
- направленности потребления;
- потребителя энергетического ресурса;
- метода формирования затрат;
- эффекта от потребления энергии;
- функциональности энергии;
- уровня экономического анализа.

Трактование изменения показателей энергоэффективности может иметь совершенно разный смысл, и знание классификационного признака позволяет понять, какие

Классификация показателей энергоэффективности (разработана автором)

Признак	Показатель	Примеры	Задача экономического анализа
Подход к оценке энергоэффективности	1. Термодинамические. 2. Технико-экономические	1. КПД, эксергетический КПД. 2. Удельный расход энергии на одно жилое помещение при водяном отоплении	Анализ источников и потребителей энергии на макро- и микроуровнях
Перспективы сокращения потерь энергии	1. Прямые. 2. Непрямые	1. Потребление энергии на одно домохозяйство. 2. Потенциал экономии электроэнергии домохозяйством	Анализ последствий повышения энергоэффективности
Направленность потребления	1. Показатели энергоемкости. 2. Показатель удельного энергопотребления	1. Энергоемкость ВВП. 2. Потребление электроэнергии на душу населения	Анализ эффективности объектов потребления энергии
Потребитель энергетического ресурса	1. Показатели первичной энергоэффективности. 2. Показатели конечной эффективности	1. Мощность ветровых электростанций. 2. Потребление электроэнергии на одного потребителя	Анализ производства и потребления энергии в течение ее жизненного цикла
Метод формирования затрат	1. Показатели эффективности эксплуатации. 2. Показатели совокупной энергоэффективности	1. Класс энергоэффективности оборудования. 2. Удельная энергоемкость производства продукта	Анализ воздействия на окружающую среду производства отдельных товаров или услуг
Эффект от потребления энергии	1. Общеэкономические. 2. Экономико-экологические	1. Энергоемкость жилого помещения. 2. Энергоемкость с поправкой на климатические изменения и изменение доли домов, оснащенных системой центрального отопления	Анализ преимуществ и угроз от использования энергии для человека и природы
Функциональность энергии	1. Показатели явной энергоэффективности. 2. Показатели неявной энергоэффективности	1. КПД, энергоемкость продукции. 2. Коэффициенты эксергии	Анализ возможных выгод от использования всего физического потенциала различных источников энергии
Уровень экономического анализа	1. Агрегированные. 2. Индивидуальные	1. Энергоемкость ВВП. 2. Потребление энергии на квадратный метр площади	Анализ эффективности использования энергии различными секторами и отраслями

особенности метода оценки раскрываются с помощью показателя.

Разработанная классификация представляет собой узлы, в которых завязаны различные аспекты исследования потенциала повышения энергоэффективности за счет анализа подхода к ее оценке, последствий повышения эффективности, объектов потребления энергии, производства и потребления энергии в течение жизненного цикла, воздействия на окружающую среду производства отдельных товаров или услуг, преимуществ и угроз от использования энергии для человека и природы и др.

Кроме этого, классификация направлена на выявление условий повышения энергоэффективности, что позволит решать различные экономические задачи. Сложные агре-

гированные оценки порой несут противоречия и скрывают сложную структуру потребностей и тенденций различных отраслей. Рассмотрение направленности потребления энергии позволяет отделить конкретные формы проявления эффективности использования энергии от экономической деятельности в целом.

Современные концепции экономической науки, такие как «воплощенная энергия», «зеленая» экономика и первичная энергия предлагают новые принципы понимания процессов преобразования энергии и получения выгод, что создает необходимость рассмотрения оценки энергоэффективности с различных точек зрения.

Показатели энергоэффективности можно систематизировать в соответствии с новыми актуальными аспектами исследования и выявить действительные причины, влияющие на нее.

Особую важность для современной науки представляет собой не только оценка масштабов любой «экономии энергии», но и задача выявления возможных выгод от использования всего физического потенциала различных ее источников.

Представляется, что решение данной задачи позволит находить максимально эффективные технологии и процессы, расширит альтернативы для будущего экономического развития.

Библиографический список

1. *Patterson M. G.* What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues. Energy Policy. 1996. Vol. 24, iss. 5. Pp. 377–390.

2. *Orvis R., Aggarwal S., O'Boyle M.* Metrics for energy efficiency: Options and adjustment mechanisms. 2016. URL: https://energyinnovation.org/publication/metrics-energy-efficiency-options-adjustment-mechanisms

3. *Sathaye J.* Energy Efficiency Indicators Methodology Booklet. 2010. URL: https://escholarship.org/content/qt6tz8873z/qt6tz8873z.pdf?t=li60x8

4. Definition of data and energy efficiency indicators in ODYSSEE. 2020. URL: https://www.odyssee-mure.eu/private/definition-indicators.pdf

5. Annual Questionnaire on Energy Statistics. 2022. URL: https:// unstats.un.org/unsd/energystats/questionnaire/documents/Energy-Questionnaire-Guidelines.pdf

6. Антаков С. М. Генеральный метод естествознания и гуманитарные претензии к науке // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. Сер. Социальные науки. 2010. № 3 (19). С. 109–114.

7. European Commission Integrated Pollution Prevention and Control. Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency. 2009. URL: https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/ENE_Adopted_02-2009.pdf

8. Международные рекомендации по энергетической статистике (МРЭС). 2019. Сер. М, № 93. URL: https://unstats.un.org/unsd/energystats/methodology / documents/IRES-ru.pdf

9. *Корнилова А. Ю.* Термодинамический и технико-экономический подходы к оценке энергоэффективности и возможности их совместного использования // ЭТАП: экономическая теория, анализ, практика. 2025. № 1. С. 27–56.

10. *Tsybikov B., Beyerleyn E., Tyuteva P.* Comparison of energy efficiency determination methods for the induction motors. MATEC Web of Conferences. 2017. URL: https:// doi.org/10.1051/matecconf/20179101034.

11. *Moezzi M.* Numbers, stories, energy efficiency. Conference: eceee 2015 Summer Study on Energy EfficiencyAt: Hyères France. 2015. URL: https:// www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Summer_Studies/2015/1-foundations-of-future-energy-policy/numbers-stories-energy-efficiency

12. *Aramendia E., Brockway P., Taylor P., Norman J.* Global energy consumption of the mineral mining industry: Exploring the historical perspective and future pathways to 2060. Global Environmental Change, 2023. Vol. 83. P. 102745. URL: https:// doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102745

13. *Dixit M., Fernandez-Solis J., Lavy S., Culp C.* Need for an embodied energy measurement protocol for buildings: A review paper. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2012. № 16. Pp. 3730–3743. URL: https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.021

14. *Humar I., Ge X, Xiang L., Jo M., Chen M., Zhang J.* Rethinking Energy—Efficiency Models of Cellular Networks with Embodied Energy. Network, IEEE. 2011. № 25. Pp. 40–49. URL: https://doi.org/10.1109/MNET.2011.5730527

15. *Латыпова О. В.* Экономико-экологический анализ деятельности предприятия: теория, методология, методика и организация: автореф. дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.12. Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. М., 2004. 46 с.

16. *Thejokalyani N., Dhoble S. J.* Novel approaches for energy efficient solid state lighting by RGB organic light emitting diodes – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2014. Vol. 32. Pp. 448-467. URL: https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.013

17. *Eyre N.* From using heat to using work: reconceptualising the zero carbon energy transition. Energy Efficiency. 2021. URL: https://doi.org/10.1007/s12053-021-09982-9

18. Introduction to indicators and ODYSSEE. EPE, Rio de Janeiro, September 13–16. 2011.

19. Energy Efficiency Indicators: Fundamentals on Statistics. 2014. URL: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2014/06/energy-efficiency-indicators_g1g44325/9789264215672-en.pdf.

20. *Bosseboeuf D.* How to monitor and Evaluate energy efficiency policies through a regional energy observatory? MedObservEER : A good practices in SMECs with the collaboration of Hossam Alherafi–RCREEE. 2023. URL: https://meetmed.org/wp-content/uploads/2023/09/07_Day2_-meetMED-week-Marakesch-MaY-2023-V2_BOSSEBOEUF-ALHERAFI.pdf.

21. *Ang B. W.* Decomposition Methodology in Industrial Energy Demand Analysis. Energy. 1995. № 20 (11). Pp. 1081–1095.

References

1. *Patterson M.G.* What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues. *Energy Policy*, 1996, vol. 24, iss. 5, pp. 377–390.

2. *Orvis R., Aggarwal S., O'Boyle M.* Metrics for energy efficiency: Options and adjustment mechanisms, 2016. Available at: https://energyinnovation.org/publication/metrics-energy-efficiency-options-adjustment-mechanisms

3. *Sathaye J.* Energy Efficiency Indicators. Methodology Booklet, 2010. Available at: https://escholarship.org/content/qt6tz8873z/qt6tz8873z.pdf?t=li60x8

4. *Definition of data and energy efficiency indicators in ODYSSEE,* 2020. Available at: https://www.odyssee-mure.eu/private/definition-indicators.pdf.

5. *Annual Questionnaire on Energy Statistics*, 2022. Available at: https:// unstats.un.org/unsd/energystats/questionnaire/documents/Energy-Questionnaire-Guidelines.pdf

6. Antakov S. M. *General'niy metod estestvoznaniya i gumanitarnye pretenzii k nauke* [General method of natural science and humanitarian claims to science]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo. Ser. Sotsial'nye nauki – Bulletin of Nizhny Novgorod University named after N. I. Lobachevsky. Ser. Social sciences*, 2010, no. 3 (19), pp. 109–114.

7. European Commission Integrated Pollution Prevention and Control. *Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency*, 2009. Available at: https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/ENE_Adopted_02-2009.pdf

8. *Mezhdunarodnye rekomendatsii po energeticheskoy statistike (MRES) – International Recommendations for Energy Statistics (IRES)],* 2019, Ser. M, no. 93. Available at: https://unstats.un.org/unsd/energystats/methodology/documents/IRES-ru.pdf

9. Kornilova A. Yu. *Termodinamicheskiy i tekhniko-ekonomicheskiy podkhody k otsenke energoeffektivnosti i vozmozhnosti ikh sovmestnogo ispol'zovaniya* [Thermodynamic and technical-economic approaches to the assessment of energy efficiency and the possibility of their joint use]. *ETAP: ekonomicheskaya teoriya, analiz, praktik – STAGE: economic theory, analysis, practice*, 2025, no. 1, pp. 27–56.

10. *Tsybikov B., Beyerleyn E., Tyuteva P.* Comparison of energy efficiency determination methods for the induction motors. *MATEC Web of Conferences*, 2017. Available at: https:// doi.org/10.1051/matecconf/20179101034.

11. *Moezzi M.* Numbers, stories, energy efficiency. Conference: ECEEE 2015 Summer Study on Energy Efficiency At: Hyères France. 2015. Available at: https://www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Summer_Studies/2015/1-foundations-of-future-energy-policy/numbers-stories-energy-efficiency

12. *Aramendia E., Brockway P., Taylor P., Norman J.* Global energy consumption of the mineral mining industry: Exploring the historical perspective and future pathways to 2060. *Global Environmental Change,* 2023, vol. 83, p. 102745. Available at: https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102745

13. *Dixit M., Fernandez-Solis J., Lavy S., Culp C.* Need for an embodied energy measurement protocol for buildings: A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, no. 16, pp. 3730–3743. Available at: https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.021

14. *Humar I., Ge X, Xiang L., Jo M., Chen M., Zhang J.* Rethinking Energy—Efficiency Models of Cellular Networks with Embodied Energy. Network, *IEEE*, 2011, no. 25, pp. 40–49. Available at: https://doi.org/10.1109/MNET.2011.5730527

15. Latypova O. V. *Ekonomiko-ekologicheskiy analiz deyatel'nosti predpriyatiya: teoriya, metodologiya, metodika i organizatsiya. Avtoref. diss. dokt. ek. nauk* [Economic and environmental analysis of the enterprise: theory, methodology, methodology and organization. Author`s thesis of PhD in Sci. Ec. diss.]. Moscow, Mosk. gos. un-t im. M. V. Lomonosova Publ., 2004, 46 p.

16. *Thejokalyani N., Dhoble S.J.* Novel approaches for energy efficient solid state lighting by RGB organic light

emitting diodes – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* 2014, vol. 32, pp. 448–467. Available at: https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.013

17. *Eyre N.* From using heat to using work: reconceptualising the zero carbon energy transition. *Energy Efficiency*, 2021. Available at: https://doi.org/10.1007/s12053-021-09982-9

18. Introduction to indicators and ODYSSEE. *EPE*, Rio de Janeiro, 2011, September 13–16.

19. Energy Efficiency Indicators: *Fundamentals on Statistics*, 2014. Available at: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2014/06/energy-efficiency-indicators_g1g44325/9789264215672-en.pdf

20. *Bosseboeuf D.* How to monitor and evaluate energy efficiency policies through a regional energy observatory? MedObservEER: A good practices in SMECs with the collaboration of Hossam Alherafi–RCREEE, 2023. Available at: https://meetmed.org/wp-content/uploads/2023/09/07_Day2_-meetMED-week-Marakesch-MaY-2023-V2_BOSSEBOEUF-ALHERAFI.pdf

21. *Ang B. W.* Decomposition Methodology in Industrial Energy Demand Analysis. *Energy,* 1995, no. 20 (11), pp. 1081–1095.