

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ НАУКИ



А. А. КОРОЛЁВА

ЭВОЛЮЦИЯ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ: ПУТЬ К ИНТЕГРИРОВАННОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ЕАЭС

В статье анализируется развитие методов оценки энергетической безопасности, выявляя их ограничения для ЕАЭС. Цель — предложить основы новой оценочной модели. Задачи включают систематизацию подходов от качественных концепций (модель «4А») к количественным индексам (WEC Trilemma), многокритериальным методам (АНР, TOPSIS) и анализу больших данных. Методология основана на систематическом обзоре и критическом сравнении литературы. Анализ показал, что традиционные методы страдают от субъективности взвешивания, ретроспективности и не учитывают взаимозависимость стран. Предлагается создать динамическую скоринговую платформу для ЕАЭС. Она должна объединить адаптированные критерии, объективные методы взвешивания и обработку потоковых данных. Этот инструмент позволит перейти от констатации к оперативному управлению рисками и поддержке согласованных решений, укрепляя общую энергобезопасность Союза.

Ключевые слова: энергетическая безопасность; оценка; составные индексы; многокритериальная оптимизация; большие данные; ЕАЭС; скоринг.

УДК 338.27

Формирование согласованной энергетической политики в рамках ЕАЭС является одной из ключевых задач, отмеченных в стратегических документах интеграционного объединения. Член Коллегии ЕЭК по энергетике А. Кожошев отмечает, что «обеспечение общей системы энергетической безопасности — приоритет, основанный на единстве целей и подходов стран-участниц» [1]. Однако стоит отметить, что достижение единства целей и подходов в отрасли энергетической политики невозможно без систематизации существующих подходов и разработки унифицированных инструментов для диагностики и прогнозирования состояния энергетической безопасности как для каждой

Арина Александровна КОРОЛЁВА (aryna.koroleva.657@gmail.com), магистр экономических наук, аспирант Белорусского государственного университета (г. Минск, Беларусь).

страны-участницы индивидуально, так и для всего интеграционного объединения. Однонаправленность методик оценки энергетической безопасности позволяет не только унифицировать меры для поддержки и улучшения энергетической ситуации ЕАЭС, но и упростить процесс интеграции стран — членов объединения в соответствии с поставленными в стратегических документах задачами.

Существующие научные публикации по данной теме предполагают многообразие подходов к оценке энергетической безопасности и включают в себя как качественные модели с системным подходом к определению понятия, так и количественные интегративные индексы. При этом не все публикации учитывают различие экономических систем стран — участниц ЕАЭС, современные мировые тенденции в области энергетической политики, а также важность создания интегрированной системы оценки, одинаково эффективно применимой для всех участников объединения. Целью данной работы является попытка систематизировать существующие методики оценки энергетической безопасности стран — членов ЕАЭС выявить преимущества и недостатки основных направлений, а также определить основные пробелы в текущих подходах, которые должны быть устранены для эффективной реализации ключевых задач интеграционного объединения.

Данная работа основана на литературном обзоре работ Совакул, Рен, Нарула, Гролингера и др. В статье используется сравнительный анализ методических подходов оценки энергетической безопасности для выделения достоинств и недостатков, а также поиска оптимального методического подхода оценки энергетической безопасности стран ЕАЭС.

В начале исследования в условиях неопределенности и энергетического кризиса 1970-х гг. энергетическая безопасность трактовалась как обеспечение надежной цепочки поставок энергоресурсов по доступным ценам [2]. Такой подход являлся крайне узким и с усложнением геополитической обстановки и экологизацией энергетики для более многомерной оценки потребовалось дополнение данной трактовки. Основой для большинства последующих работ по смежной теме стали исследования Международного Энергетического Агентства (IEA), которые позволили описать основные качественные характеристики энергетической безопасности. Агентство рассматривает понятие через четыре взаимосвязанных элемента (концепция «4А»):

- физическая доступность (*accessibility*): обеспеченность субъекта географическими запасами энергоносителей и производственными мощностями для их обработки;
- доступ/ наличие (*availability*): инфраструктурная и географическая возможность поставки энергии потребителю;
- экономическая доступность (*affordability*): способность экономики, домохозяйства или производства обеспечить себя энергией без ущерба для социально-экономической стабильности;
- приемлемость (*acceptability*): этическая и экологическая приемлемость способов добычи энергии [3;4].

Данная теория позволила добавить структурную четкость в исследование проблемы, а также стандартизировать качественные характеристики энергетической безопасности, однако не дала четких рекомендаций по их количественному измерению, что сделало данный подход крайне непрактичным. Одновременно с этим Всемирный Экономический Совет (WEC) предложил концепцию «энергетической трилеммы», которая объединяла бы три основные цели в энергетике: безопасность, доступность и экологическую устойчивость.

Такой анализ имеет более описательный характер, что затрудняет практическое внедрение данной системы [2].

Описательное направление и качественный концептуальный подход позволили структурировать разрозненные ранее понятия и сформировать набор качественных характеристик энергетической безопасности, послужив основой для формирования индикаторов дальнейших количественных моделей. Концепция «4А» смещает фокус внимания на экономический и экологический аспекты, при этом делая наибольший акцент именно на физическую надежность поставок. Данная методика не предполагает четко описанных унифицированных методов диагностики и имеет скорее общий характер, который может различаться для каждой территориальной единицы. При отсутствии математического аппарата переход от качественной методики к количественным измерениям является практически невозможным, что делает качественный подход малоприменимым для таких интеграционных объединений, как ЕАЭС.

Ответом на поставленные ограничения послужило формирование нового количественного направления, сместившего фокус на формирование составных индексов. Потребность правительств и регуляторов в измеримых сравнительных показателях для мониторинга привела к формированию направления, делавшего акцент на составлении композитных индексов. Классическим примером является работа Sovacool [5], в которой на основе 20 показателей были сформированы пять категорий, которые представляли собой основные факторы оценки энергетической безопасности: «доступность», «развитие», «эффективность», «окружающая среда и здоровье», «управление». Веса категориям (от 1 до 5) назначались субъективно, исходя из их предполагаемой важности. На основе пяти концептуальных групп был сформирован интегральный индекс энергетической безопасности для 18 стран за период 1990–2010 гг. Основным выводом работы стало заключение об отсутствии прямой корреляции между энергетической безопасностью и уровнем ВВП. Данный подход позволил получить обобщенную количественную оценку энергетической безопасности для практического странового и временного анализа. Стоит отметить, что подобные исследования велись в странах – участницах ЕАЭС, однако не на уровне всего объединения.

В работе [6] была предпринята попытка учета критики предыдущих индексов и введение двухуровневой системы оценки, содержащей четыре категории и 20 показателей. Агрегация данных была осуществлена с помощью метода DEA путем линейной свертки, что позволило более объективно оценить эффективность стран в реализации энергетической политики и преодолеть субъективность назначения весов показателям. Несмотря на это данная методика не позволила достичь практически применимой системы оценки энергетической безопасности за счет сложности интерпретации финальных результатов и необходимости большого объема входящих данных для реализации метода.

Индекс Энергетической Трилеммы [2] впоследствии стал институционализированным стандартом и классическим примером количественного направления методов оценки энергетической безопасности. На основе описанной ранее теоретической концепции была предложена модель, оценивающая три «вершины» трилеммы: энергетическая безопасность, энергетическая справедливость и экологическая устойчивость. Уникальность метода заключается в присвоении странам рейтинга от AAA до D, отражающего именно сбалансированность всех трех компонентов. Таким образом, государство

даже при наличии высоких оценок по трем показателям отдельно может получить низкий рейтинг с условием общей несбалансированности индикаторов. Рейтинг присваивается на основе комбинации двух компонентов: среднего арифметического баллов по трем описанным ранее показателям и балла за общий баланс. Для возможности более справедливого сравнения страны делятся на группы по уровню развития экономики, далее происходит оценка по двум осям («Эффективность» и «Баланс»). В зависимости от матричного позиционирования, а также величины стандартного отклонения государству присваивается финальный рейтинг. Однозначным преимуществом такого метода является оценка выбросов в модели, что позволяет сфокусировать внимание на устойчивости энергетической системы страны. При этом методология не позволяет учесть специфику энергетической безопасности в интеграционных объединениях, где крайне важна взаимосвязанность энергетических систем. Система агрегации показателей и отнесения той или иной страны к определенной экономической группе развития до сих пор остается непрозрачной и не полностью опубликованной для общественного обозрения.

В итоге одним из основных недостатков формирования составных индексов можно назвать большую роль экспертной оценки, что может привести к субъективному распределению весов и неточным результатам, что делает результаты модели непригодными для глубокого анализа и прогнозирования значений [6]. При равномерном распределении весов возможна компенсация критически негативных значений позитивными либо удовлетворительными показателями. Такой подход тоже является неверным, так как уязвимость по ключевому направлению способна создать системный некомпенсируемый риск для энергетической безопасности всей страны или объединения [7].

Несовершенство системы составных индексов для оценки энергетической безопасности стимулировало поиск более точных и детальных инструментов агрегации информации. В исследовании Sovacool [8] делается акцент не только на выборе метрик оценки, но и на методе их взвешивания (в работе используется метод анализа иерархий). Работа является знаковой, так как она ознаменовала переход от простых количественных моделей к количественно-многокритериальному подходу, соединившему в себе понятные методики составных индексов и прозрачность ранжирования показателей, что позволило сделать количественно-многокритериальный подход одним из самых востребованных на данный момент.

Научная новизна работы заключается в проведении попарных сравнений критериев по шкале относительной важности (от 1 — «равноценны», до 9 — «крайне важное»). На основе матрицы сравнений вычисляются веса, а также индекс согласованности, который проверяет логическую непротиворечивость суждений эксперта.

Данный подход позволил добиться максимальной прозрачности анализируемых данных и уйти от метода экспертной оценки. В работах с использованием многокритериальной оптимизации используется широкий спектр математических инструментов, таких как TOPSIS — метод, позволивший ранжировать страны по тому, насколько близко их принятое решение к идеальному [9] и DEMATEL — инструмент для анализа причинно-следственных связей между различными факторами [10].

Целью работы [10] является определение наиболее предпочтительных технологий генерации электроэнергии, что является актуальной и прикладной задачей для Литвы. В связи с этим крайне важным является предоставление

практически ориентированных, прозрачных и количественных результатов многокритериального сравнения. В работе также применяется метод SWARA, который представляет собой упрощенный и не требующий больших вычислительных затрат. Эксперты располагают m критериев в порядке убывания их важности, от самого значимого к наименее значимому, начиная со второго критерия происходит процентная оценка сравнительной важности критерия по отношению к предыдущему. Итоговый рейтинг выводится на основе доминирования альтернатив по результатам трех методов оценки. Первый метод (The Ratio System) предполагает использование векторной нормализации и вычисление суммарной оценки в зависимости от того, позитивное или негативное влияние оказывает тот или иной фактор на состояние энергетической безопасности. Второй метод (The Reference Point Approach) включает в себя определение эталонного значения путем поиска максимального нормализованного значения по тому или иному столбцу критериев. Далее для каждой альтернативы вычисляется взвешенное отклонение ее нормализованной оценки от эталонного значения. В данном подходе альтернативы ранжируются по убыванию размера отклонения от идеала. Третий метод (The Full Multiplicative Form) основывается на расчете мультипликативной полезности путем нелинейной агрегации критериев. Итоговый рейтинг определяется по правилу доминирования: если одна альтернатива имеет более высокий ранг хотя бы по двум из методов, то она выигрывает. С учетом того, что авторы оценивали восемь технологий получения энергии по шести критериям: капитальные затраты, стоимость генерации, выбросы CO_2 , время строительства, срок службы, установленная мощность, данная работа является отличным примером применения гибридного многокритериального подхода для решения прикладных задач. Стоит отметить, что при оценке интеграционных объединений, таких как ЕАЭС, именно подобный гибридный подход позволит учесть все факторы влияния и произвести объективную оценку, избежав экспертных суждений и непрозрачность используемых методик, которые встречались в предыдущих работах.

Работа [10] в свою очередь имеет скорее методологическую ценность и ставит целью систематизацию существующих вариаций DEMATEL, а также разработку комбинированной стратегии использования методики в сфере энергетической безопасности. Согласно авторам основой являются исходные данные, которые являются набором взаимосвязанных факторов, которые проходят следующие этапы преобразования: построение матрицы прямого влияния и ее нормализация путем вычисления нормализующего коэффициента (максимум по строкам суммы элементов), расчет матрицы полной зависимости, которая отражает только прямое влияние, и визуализация полученных данных с помощью построения двухмерной диаграммы. Данная работа предлагает метод DEMATEL как основу для первого этапа скоринга построения системы скоринга показателей в сфере энергетической безопасности.

Количественно-многокритериальный подход позволил учесть нелинейные взаимосвязи и сделать выходные данные более точными и пригодными для сценарного моделирования. Стоит отметить, что данный этап позволяет сформировать и унифицировать показатели как для стран единолично, так и для интеграционных объединений.

Основной проблемой на данном этапе является ретроспективность индексирования и отсутствие динамичности оценок, так как исторические данные часто не учитывают несистемные колебания, которые могут иметь существенное значение в аспектах кибербезопасности и риск-менеджмента. В

связи с этим особенно актуальным на данном этапе становится использование больших данных.

Новый этап характеризует переход от традиционной модели исторических данных к использованию системы больших данных в качестве основного инструмента для нивелирования недостатков, описанных выше. В работе [11] были использованы данные системы SCADA для мониторинга различных систем в реальном времени. При этом статья является скорее обзорно-методологическим исследованием, в котором создается методологическая рамка применения реляционных СУБД. В качестве вывода авторы подчеркивают значимость применения в анализе больших данных теоремы CAP, которая предполагает три свойства в любой распределительной системе (Consistency, Availability, Partition Tolerance) и гарантирует реализацию только двух параметров из трех возможных.

Смысловым ядром работы является сравнительный анализ по таксономии двух методик: NoSQL и NewSQL. Категория NoSQL представляет собой специализированные инструменты для хранения и обработки данных, такие как хранилища «ключ-значение», документированные хранилища, семейства столбцов и графовые базы данных. В большинстве случаев минусом данных методик является сложность модели и ее реализации, однако главным преимуществом является горизонтальная масштабируемость методики, позволяющая увеличивать объем данных не за счет наращивания мощности сервера, а за счет увеличения количества простых серверов и создания кластера.

Группа NewSQL предполагает попытку агрегации распределения СУБД, которое сохранило бы свойства ACID, поддержку традиционных SQL систем, но с горизонтальной масштабируемостью NoSQL.

В статье методика SCADA упоминается в контексте примера генерируемых больших данных в формате временных рядов, для работы с которыми классическая реляционная система СУБД малоприменима. Также описываются преимущества SCADA, такие как высокая скорость и объем данных, возможность применения модели в разных отраслях, делая особый акцент на энергетике.

Данный подход позволил как учесть незначительные колебания в сценарном моделировании, так и исключить ретроспективность выходных данных.

Проведенный многоаспектный анализ позволяет выявить ключевые аспекты методологической парадигмы, применимые именно в рамках ЕАЭС:

- качественный анализ показателей: позволяет достигнуть комплексности и полноты факторов влияния, обеспечив отсутствие пробелов при формировании ключевых индикаторов количественных моделей;

- количественный подход: с помощью четко разработанной методологии позволяет достичь унификации показателей, что является важным в контексте интеграционных объединений;

- использование метода многокритериальной оптимизации: необходим отказ от экспертных оценок и произвольного назначения весов для выявления объективной значимости критериев и прозрачности подхода;

- применение систем больших данных: переход к оперативным системам данных позволит преодолеть ретроспективность и сделать модели оценки актуальными для использования при планировании энергетической политики.

С учетом перечисленных выше аспектов предлагается использовать интегрированный подход и построить модель оценки энергетической безопасности, учитывающую все недостатки вышеизложенных методик и применимую для ЕАЭС. Фокус такой модели должен быть на формировании развернутой системы показателей, которая предполагает учитывать факторы, необходимые для стабильности объединения нескольких стран, применении методов

многокритериальной оптимизации, методики взвешивания показателей и выявления их истинной значимости, а также использования систем больших данных.

Эволюция методологии оценки энергетической безопасности является наглядной иллюстрацией движения от описательных методов к наглядным и практически применимым моделям. Однако для такой системы, как ЕАЭС, ни один из описанных методов не может применяться по отдельности. За счет специфики интеграционного объединения важен синтез каждого подхода, с учетом сильных и нивелированием слабых сторон каждой методики. Данный подход открывает путь к созданию принципиально нового класса оценочных систем.

Разработка интегрированной системы скоринга и динамической оценки энергетической безопасности ЕАЭС позволила бы не только допускать общие суждения и ретроспективно анализировать факторы влияния, но и обеспечила переход к эффективному и своевременному управлению рисками. На данный момент в контексте ЕАЭС не существует такого вида моделей и данный подход мог бы стать важным инструментом для реализации целей и задач, поставленных перед интеграционным объединением.

Литература и электронные публикации

1. Выступление члена Коллегии (Министра) по энергетике и инфраструктуре ЕЭК А. Кожошева на заседании Совета по энергетике ЕАЭС // Официальный сайт ЕЭК. 2022. — URL: <http://eec.eaeunion.org>.
2. World Energy Council. World Energy Trilemma Index: 2022 Report. London: World Energy Council. — URL: <https://www.worldenergy.org/transition-toolkit/energy-trilemma-index>.
3. International Energy Agency (IEA). World Energy Outlook 2023. — URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2023>.
4. Янь Цзин. Понятие энергетической безопасности в современных исследованиях / Янь Цзин // Science time. — 2017. — URL: ПОНЯТИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ.
5. Evaluating energy security performance from 1990 to 2010 for eighteen countries / B. K. Sovacool, I. Mukherjee, I. M. Drupady, A. L. D'Agostino // Energy. — 2011. — URL: 200253719.pdf - Yandex Documents.
6. Narula, K. A SES (sustainable energy security) index for developing countries / K. Narula, B.S Reddy // Energy Policy. — 2016. — URL: A SES (sustainable energy security) index for developing countries | Request PDF.
7. Mansson, A. A resource curse for renewables? Conflict and cooperation in the renewable energy sector / A. A Mansson // Energy Research & Social Science. — 2015. — URL: A resource curse for renewables? Conflict and cooperation in the renewable energy sector.
8. Ren, J. Quantifying, measuring, and strategizing energy security: Determining the most meaningful dimensions and metrics / J. Ren., B. K. Sovacool // Energy. — 2014. — URL: [Quantifying_measuring_and_strategizing_e.pdf](#).
9. Streimikiene, D. Multi-criteria analysis of electricity generation technologies in Lithuania / D. Streimikiene, J. Sliogeriene, Z. Turskis // Renewable Energy. — 2016. — URL: Multi-criteria analysis of electricity generation technologies in Lithuania | Request PDF.
10. DEMATEL Technique: A Systematic Review of the State-of-the-Art Literature on Methodologies and Applications / S. Si, X. You, H. Liu, J. Huang // Mathematical Problems in Engineering. — 2018. — URL: (PDF) DEMATEL Technique: A Systematic Review of the State-of-the-Art Literature on Methodologies and Applications.

11. *Grolinger, K.* Data management in cloud environments: NoSQL and NewSQL data stores / K. Grolinger, W.A. Higashino, A. Tiwari, M.A.M. Capretz // Journal of Cloud Computing: Advances, Systems and Applications. 2013. URL: (99+) Data management in cloud environments: NoSQL and NewSQL data stores.

ARYNA KOROLEVA

***THE EVOLUTION OF METHODOLOGICAL
APPROACHES TO ENERGY SECURITY
ASSESSMENT: TOWARDS AN INTEGRATED
MODEL FOR THE EAEU***

Author affiliation. *Aryna KOROLEVA* (aryna.koroleva.657@gmail.com), *Belarusian state university (Minsk, Belarus).*

Abstract. The article provides a critical review of the evolution of methodological approaches to energy security assessment – from qualitative concepts (“4As”, trilemma) to quantitative indices (ESI, WEC Trilemma Index), multi-criteria optimization methods (AHP, TOPSIS, ELECTRE), and big data analytics. The aim is to systematize the key stages of methodology development and identify their strengths and limitations from the perspective of applicability to the tasks of an integration union, such as the Eurasian Economic Union (EAEU). The conducted analysis revealed systemic shortcomings of existing approaches: subjectivity of aggregation, the problem of criteria compensation, retrospectivity, and insufficient timeliness. Based on the synthesis of the identified methodological gaps, the necessity and contours of a new integrated paradigm are justified, combining an adapted system of criteria, formal MCDM methods, and Big Data tools to create a dynamic scoring system for the energy security of the EAEU member states.

Keywords: energy security; assessment; composite indices; multi-criteria decision making (MCDM); big data; EAEU; scoring.

UDC 338.27

*Статья поступила
в редакцию 26.01.2026 г.*