

ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКЕ ВАРИАНТОВ РАЗВИТИЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА*

Юрий Дмитриевич КОНОНОВ^{а,*},
Дмитрий Юрьевич КОНОНОВ^б

^а доктор экономических наук, профессор,
заслуженный деятель науки Российской Федерации,
главный научный сотрудник лаборатории взаимосвязей энергетики и экономики,
Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева
Сибирского отделения РАН (ИСЭМ СО РАН),
Иркутск, Российская Федерация
kononov@isem.irk.ru
ORCID: отсутствует
SPIN-код: 7634-0211

^б кандидат технических наук,
старший научный сотрудник лаборатории взаимосвязей энергетики и экономики,
Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева
Сибирского отделения РАН (ИСЭМ СО РАН),
Иркутск, Российская Федерация
dima@isem.irk.ru
ORCID: отсутствует
SPIN-код: отсутствует

* Ответственный автор

История статьи:

Рег. № 95/2022
Получена 28.02.2022
Получена в
доработанном виде
23.03.2022
Одобрена 08.04.2022
Доступна онлайн
16.05.2022

УДК 621.311:338.27
JEL: Q43, Q47

Ключевые слова:
энергетические
системы,

Аннотация

Предмет. Методы многокритериального анализа эффективности вариантов развития энергетики.

Цели. Определение круга критериальных показателей, учитываемых при комплексной оценке вариантов развития топливно-энергетического комплекса.

Методология. Системный анализ с использованием оптимизационных и стохастических экономико-математических моделей.

Результаты. Показана важность оценки вероятного состояния энергетической безопасности при сравнении вариантов развития энергетики. Предложены методические подходы к такой оценке, реализуемые на разных временных этапах прогнозных исследований. Приведены разработанные авторами показатели, характеризующие состояние энергетической безопасности.

Выводы. Численная оценка состояния энергетической безопасности должна стать важной составляющей

прогнозирование, многокритериального анализа и выбора вариантов развития многокритериальность, систем энергетики. Методы такой оценки и используемые энергетическая показатели зависят от рассматриваемой перспективы и безопасность решаемой задачи.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2022

Для цитирования: Кононов Ю.Д., Кононов Д.Ю. Особенности учета состояния энергетической безопасности при многокритериальной оценке вариантов развития топливно-энергетического комплекса // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. – 2022. – Т. 18, № 5. – С. 977 – 990.
<https://doi.org/10.24891/ni.18.5.977>

Задача учета неопределенности и многокритериальности по-разному решается при оценке эффективности проектов и при прогнозировании развития экономических систем. По теоретическим вопросам многокритериальности имеется большая библиография. Она касается в основном методологии и методов оценки эффективности инвестиционных проектов и способов выявления и анализа предпочтений лиц, принимающих решения. В России теория и методы оценки инвестиционных проектов наиболее полно и глубоко представлены в работе¹. Показано, что такая оценка – сложный многоплановый процесс построения и исследования некоторой экономико-математической модели.

Рассматривая крупномасштабные проекты, следует учитывать не только финансовую, но и общественную эффективность. Она отражается в стоимостной оценке возможных последствий осуществления данного проекта в других отраслях, в социальной и экологической сферах. Отмечается, что в условиях неопределенности обычные показатели эффективности теряют смысл, уступая место оценке таких качеств проектов, как их реализуемость и устойчивость к возможным отклонениям денежных поступлений и затрат от намечаемых.

Учет фактора неопределенности и многокритериальности особенно важен и сложен при прогнозировании и комплексной оценке вариантов развития разных сфер и отраслей национальной экономики. При этом, по сравнению с задачей оценки эффективности проектов, возникает проблема учета не

^{*} Работа выполнена в рамках проекта государственного задания (№ FWEU-2021-0003 рег. № АААА-А21-121012090014-5) программы фундаментальных исследований РФ на 2021–2030 гг. и при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-010-00204.

¹ *Виленский П.Л., Лившиц В.Н., Смоляк С.А.* Оценка эффективности инвестиционных проектов. Теория и практика. М.: Дело, 2001. 832 с.

только значительно большего количества факторов и возможных последствий, но и более широкого круга пользователей результатов прогнозов.

Для анализа прогнозов и выбора решений по многим критериям предлагаются различные подходы. Все они в той или иной степени основываются на теории полезности и на методах анализа иерархии, но каждый подход должен учитывать особенности рассматриваемой системы. Это принципиально важно при прогнозировании развития таких сложных объектов, как системы энергетики.

Обзор зарубежных работ в этой области, появившихся до 2000 г., приведен в работе [1]. Описывается семь способов комплексной оценки и выбора альтернатив по многим критериям. При этом подчеркивается роль лиц, принимающих решения, в оценке значимости отдельных критериев. В работе зарубежных исследователей² выполнен обзор литературы по многокритериальному анализу энергетических систем за период 2004–2008 гг.

Многокритериальный анализ для принятия решений (MCDA – Multi-criteria Decision Analysis), получивший развитие и практическое применение за рубежом, в общем случае включает следующие этапы:

- выбор критериев;
- их нормализацию и придание весов;
- построение матрицы решений для каждого сценария;
- определение гипотетически наилучшего и наихудшего решений;
- сравнение сценариев по отклонению от этих решений;
- выбор наиболее приемлемого (по совокупности используемых критериев) из вариантов.

За рубежом MCDA в разных модификациях используется как для сравнения отдельных типов электростанций [2], так и для сравнения вариантов развития электроэнергетики. Во втором случае сначала (с применением оптимизационных моделей) определяются рациональные варианты

² Braune I., Pinkwart A., Reeg M. Application of Multicriteria Analysis for the Evaluation of Sustainable Energy Systems – A Review of Recent Literature. 5th Dubrovnic Conference on Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems, 2009.

(сценарии) при разных условиях, а затем они анализируются по методу MCDA. Такой подход использовался, например, для анализа вариантов развития электроэнергетики Туниса [3] и Греции [4]. Следует отметить, что в особо важных случаях для окончательного выбора приемлемого решения дополнительно используется анализ чувствительности вариантов к изменению весов отдельных критериев.

Методам многокритериального анализа в энергетике посвящено немало работ и в России. Например, предполагается использование оптимизационных моделей^{3, 4} [5], при этом задача выбора варианта, как правило, сводится к однокритериальной путем выделения главного критерия и перевода остальных критериев в разряд ограничений в виде нормативов (стандартов). Подобные нормативы могут быть заданы в части надежности энергоснабжения потребителей, влияния на окружающую среду и в ряде других случаев. Предпринимались попытки использовать свертку нескольких критериев через измерения их в денежном выражении (например, «затраты плюс ущерб от недостаточной надежности», «затраты плюс экономический ущерб от недостаточной надежности») [6].

В электроэнергетике для учета критериев всех субъектов отношений (сетевых, генерирующих и сбытовых компаний, а также потребителей) комплексный критерий социального благополучия записывается как сумма критериев отдельных субъектов с учетом экспертно задаваемых весовых коэффициентов. В некоторых работах⁵ [7] предложен подход к оценке многокритериальной функции полезности с формализованной процедурой определения весовых коэффициентов. При этом признается, что с учетом сложности проблемы обоснования решений по развитию электроэнергетических систем реально не удастся построить полностью формализованную процедуру выбора.

В прогнозных исследованиях развития топливно-энергетического комплекса (ТЭК) страны, как правило, используются многоуровневые системы моделей и модельно-программные комплексы⁶. Это облегчает

³ Арзамасцев А.Д. Введение в многоцелевую оптимизацию энергосистем. Свердловск: Уральский политехнический институт им. С.М. Кирова, 1984. 82 с.

⁴ Долгов П.П., Щавелев Д.С. Формирование экономических оценок и решений в многокритериальных задачах развития энергетики // Известия вузов. Энергетика. 1987. № 2. С. 3–6.

⁵ Воронай Н.И., Иванова Е.Ю. Многокритериальный анализ решений при планировании развития электроэнергетических систем // Электричество. 2000. № 11. С. 2–9.

⁶ Веселов Ф.В., Елисеева О.А., Кулагин В.А. и др. SCANNER: модельно-информационный комплекс. М.: Институт энергетических исследований РАН, 2011. 72 с.

решение проблемы многокритериальности, позволяя использовать на разных иерархических уровнях разные критерии. В числе новых и важных критериев при сравнении эффективности вариантов надо использовать оценку возможного состояния энергетической безопасности. При таких оценках важно учитывать рост неопределенности исходных данных и снижение требований к точности (надежности) прогнозов с увеличением рассматриваемой перспективы. Соответственно должны меняться и основные методы оценки возможного состояния энергетической безопасности в случае реализации данного варианта развития ТЭК (*табл. 1*).

Представляется, что в краткосрочной перспективе основное внимание должно уделяться индикативному анализу энергетической безопасности. Зарубежная и отечественная практика его применения для оценки текущего состояния энергетической безопасности отражена в работе [8]. При этом состав индикаторов критериальной оценки вариантов должен отличаться от обычно используемого при определении текущего состояния энергетической безопасности.

Численные значения индикаторов энергетической безопасности дают дополнительную информацию при сравнении рассматриваемых вариантов. Некоторые такие индикаторы приведены в *табл. 2*. Они характеризуют отдельные стороны экономического и экологического аспектов энергетической безопасности двух вариантов электроснабжения Урала и Европейской части страны. Эти варианты получены с помощью оптимизационных расчетов по критерию минимума денежных затрат [9].

Цель расчетов – иллюстрация одного из возможных подходов к дополнительной оценке вариантов по критерию энергетической безопасности. В этих расчетах исходные данные отличались только стоимостью топлива для электростанций. При этом учитывалось влияние удорожания топлива на структуру ввода мощностей, но не принималась во внимание ценовая эластичность спроса на электроэнергию.

Для использования подобного рода информации в качестве критерия, характеризующего экономический аспект энергетической безопасности, необходимо построение обобщающего (интегрального) показателя с учетом значимости (весов) отдельных индикаторов. Комплексной оценке состояния энергетической безопасности уделяется серьезное внимание во многих странах. Подход к построению таких индексов включает определение их

назначения, выбор индикаторов, их нормирование и определение значимости (весов)⁷ [10].

Нормирование исходных данных и индикаторов необходимо из-за измерения их в разных единицах. Для перевода рассматриваемого показателя в безразмерную величину, выражаемую в процентах или в долях единицы, используется принцип сравнения с задаваемым референтным его значением. Это может быть показатель базового года или эталонной страны. Для нормализации индикаторов, показанных в *табл. 2*, использовано отличие одного варианта от другого, выраженное в процентах.

При взвешивании индикаторов, наряду с экспертными оценками их значимости, используются разные методические подходы к определению их весов [11]. Во многих случаях при построении комплексного индекса энергетической безопасности разных стран индикаторам и субиндексам вынужденно придается одинаковый вес. При использовании в прогнозах иерархической системы оптимизационных моделей появляется возможность определять степень влияния на экономику и энергетику изменения значений отдельных исходных данных и индикаторов, и тем самым повышается возможность более обоснованной оценки их значимости.

В нашем случае для присвоения весов таким общепризнанным индикаторам энергетической безопасности, как цена электроэнергии и выбросы CO₂ от электростанций, учитывалась зарубежная практика. Ее анализ показал, что значимость первого индикатора в 1,2–1,9 раз выше, чем второго. В *табл. 3* это соотношение равно 1,6, как и в одном из зарубежных исследований⁸. Веса двух других, менее значимых показателей, приняты экспертно.

Удорожание топлива снижает долю угольных и газовых электростанций в прогнозируемом вводе новых мощностей, уменьшая выбросы CO₂ (особенно на Урале). Но при этом увеличиваются стоимость электроэнергии и риски для инвесторов. Комплексный показатель энергетической безопасности учитывает это разнонаправленное влияние. Его рост говорит о негативных в целом последствиях повышения цен на топливо для состояния энергетической безопасности. Эти последствия, как видно из *табл. 3*, различаются по регионам.

⁷ Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide.
URL: <https://www.oecd.org/sdd/42495745.pdf>

⁸ Index of U.S. Energy Security Risk. Addressing America's Vulnerabilities in a Global Energy Market.
URL: <https://www.globalenergyinstitute.org/sites/default/files/us-energy-security-risk-2018.pdf>

Очевидна условность такого рода численных оценок состояния энергетической безопасности даже в краткосрочных прогнозах, но они облегчают понимание характера и значимости возможных проблем. Представленный метод индикативного анализа можно использовать при сравнении вариантов по критерию энергетической безопасности в прогнозах на ближайшую перспективу.

Варианты развития систем энергетики на более отдаленную перспективу (до 10–15 лет), сопоставляемые по традиционным стоимостным критериям оптимальности, целесообразно дополнительно оценивать по значимости стратегических угроз энергетической безопасности. В их число входят угроза неприемлемой для потребителей динамики цен на электроэнергию и другие энергоносители, а также угроза дефицита производственных мощностей из-за возможного отставания развития электроэнергетики и топливных баз, обусловленного инвестиционными рисками. Методический подход к способам такой оценки приведен в работе [12]. В прогнозных исследованиях на долгосрочную перспективу (более 15 лет) варианты развития ТЭК могут сравниваться по критериям устойчивости к возможным изменениям внешних и внутренних условий. Очевидно, что с повышением устойчивости системы увеличивается и безопасность ее развития.

Существуют разные трактовки понятия устойчивого развития систем энергетики. За основу можно принять мнение академика РАН А.А. Макарова, считающего, что устойчивость развития энергетики следует оценивать мерой необходимых отклонений ее будущих траекторий от плановых при разных воздействиях (факторах риска), а также обусловленными этим потерями эффективности системы [13]. Такое понимание устойчивости нашло отражение в работах Института энергетических исследований РАН, где для интегральной количественной оценки устойчивости ТЭК используется изменение ВВП под воздействием разного рода рисков.

Многовариантные расчеты с использованием системы моделей позволяют определить расширяющийся во времени «конус неопределенности» возможной динамики основных прогнозируемых показателей. Представляется, что по степени отклонения их от его нижней границы можно судить об устойчивости как отдельных показателей, так и рассматриваемого варианта в целом.

Оценка возможного состояния энергетической безопасности должна дополнить состав критериев, используемых при сравнении и выборе

вариантов развития ТЭК и региональных систем энергоснабжения. Методы такой оценки и используемые показатели зависят от рассматриваемой перспективы. При этом особое внимание следует уделять экономической составляющей энергетической безопасности. Ее значимость растет с увеличением горизонта прогнозирования и с переходом на путь низкоуглеродного развития энергетики и экономики.

Таблица 1

Изменение предпочтительных способов оценки энергетической безопасности вариантов развития топливно-энергетического комплекса с увеличением горизонта прогнозирования

Table 1

Changes in preferred methods for assessing energy security of options for the fuel and energy sector's development with the forecasting horizon increment

Параметр	Перспектива
	5–10 лет
Основные цели	Обобщение результатов индикативного анализа вероятного состояния энергетической безопасности
Комплексные показатели	Средневзвешенное отклонение индикаторов энергетической безопасности от их пороговых значений
Степень агрегирования исходных данных и результатов расчетов	Региональные системы энергоснабжения

Продолжение

Параметр	Перспектива
	10–15 лет
Основные цели	Оценка стратегических угроз и возможности их предотвращения
Комплексные показатели	Средневзвешенная сумма индексов стратегических угроз
Степень агрегирования исходных данных и результатов расчетов	Особенности развития электроэнергетики и газовой отрасли в макрорегионах

Продолжение

Параметр	Перспектива
	более 15 лет
Основные цели	Оценка устойчивости траектории развития
Комплексные показатели	Отклонение ВВП от его значения в базовом варианте (сценарии)
Степень агрегирования исходных данных и результатов расчетов	Топливо-энергетический комплекс страны

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Таблица 2**Характеристика вариантов электроснабжения регионов по критериальным показателям энергетической безопасности****Table 2****Description of regional power supply options by energy security criterion**

Показатель	Единица измерения	Регион	Вариант А	Вариант Б
Средняя стоимость электроэнергии	цент/кВтч	Европейская часть России	7,8	8,1
		Урал	7,6	7,9
Инвестиционный риск варианта (вероятность дефицита)	%	Европейская часть России	3–6	8–15
		Урал	1–4	4–10
Доля станций с риском для инвесторов более 50%	%	Европейская часть России	2–5	4–8
		Урал	0	1
Выбросы CO ₂	млн т	Европейская часть России	3	2,9
		Урал	1,4	1,3

Примечание. Представлены результаты оптимизационных расчетов для прогнозируемых условий энергоснабжения Урала и шести (объединенных в таблице) федеральных округов Европейской части России в период 2025–2030 гг. В варианте Б стоимость топлива выше, чем в варианте А (газа на 25%, угля – на 5%). Использована модель МИСС-ЭЛ, сочетающая оптимизацию с методом Монте-Карло.

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Таблица 3**Оценка состояния энергетической безопасности регионов при удорожании топлива****Table 3****Assessment of the regions' energy security performance with the rise in fuel price**

Показатель	Вес индикатора	Изменение показателя, %	
		Европейская часть России	Урал
Стоимость электроэнергии	0,5	3,8	3,6
Выбросы CO ₂	0,3	-3	-7
Инвестиционный риск варианта	0,1	6,5	4,5
Доля станций с риском более 50%	0,1	2,5	1,5
Комплексный (обобщающий) индекс энергетической безопасности	-	2	0,3

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Список литературы

1. *Pohekar S.D., Ramachandran M.* Application of Multi-criteria Decision Making to Sustainable Energy Planning – A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2004, vol. 8, iss. 4, pp. 365–381. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2003.12.007>
2. *Afgan N.H., Carvalho M.G.* Multi-criteria Assessment of New and Renewable Energy Power Plants. *Energy*, 2002, vol. 27, iss. 8, pp. 739–755. URL: [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(02\)00019-1](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(02)00019-1)
3. *Brand B., Missaoui R.* Multi-criteria Analysis of Electricity Generation Mix Scenarios in Tunisia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, vol. 39, pp. 251–261. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.069>
4. *Diakoulaki D., Karangelis F.* Multi-criteria Decision Analysis and Cost-Benefit Analysis of Alternative Scenarios for the Power Generation Sector in Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2007, vol. 11, iss. 4, pp. 716–727. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.06.007>
5. *Беляев Л.С.* Решение сложных оптимизационных задач в условиях неопределенности. Новосибирск: Наука, 1978. 126 с.
6. *Воропай Н.И., Подковальников С.В., Труфанов В.В. и др.* Обоснование развития электроэнергетических систем: методология, модели, методы, их использование: монография. Новосибирск: Наука, 2015. 448 с.
7. *Voropai N.I.* Multi-criteria Problems in Electric Power System Expansion Planning. *Energy Systems Research*, 2018, vol. 1, no. 2, pp. 27–34. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/multi-criteria-problems-in-electric-power-system-expansion-planning/viewer>
8. *Кононов Ю.Д.* Анализ зарубежного опыта комплексной оценки энергетической безопасности // Энергетическая политика. 2018. № 6. С. 98–107. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-zarubezhnogo-opyta-kompleksnoy-otsenki-sostoyaniya-energeticheskoy-bezopasnosti/viewer>
9. *Кононов Ю.Д., Кононов Д.Ю.* Возможное влияние платы за выбросы парниковых газов на стоимость электроэнергии // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2021. Т. 17. Вып. 9. С. 1612–1624. URL: <https://doi.org/10.24891/ni.17.9.1612>

10. *Sovacool B.K., Mukherjee I.* Conceptualizing and Measuring Energy Security: A Synthesized Approach. *Energy*, 2011, vol. 36, iss. 8, pp. 5343–5355.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.06.043>
11. *Badea A.C., Rocco C.M.S., Tarantola S., Bolado R.* Composite Indicators for Security of Energy Supply Using Ordered Weighted Averaging. *Reliability Engineering & System Safety*, 2011, vol. 96, iss. 6, pp. 651–662.
URL: <https://doi.org/10.1016/j.res.2010.12.025>
12. *Кононов Ю.Д.* Подходы к количественной оценке стратегических угроз энергетической безопасности // *Энергетическая политика*. 2014. № 2. С. 74–82. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/podhody-k-kolichestvennoy-otsenke-strategicheskikh-ugroz-energeticheskoy-bezopasnosti/viewer>
13. *Макаров А.А.* Подходы к оценке устойчивости и рисков долгосрочного развития энергетики России. В кн. *Системные исследования в энергетике: методология и результаты: сборник статей*. М.: Институт энергетических исследований РАН, 2018. С. 113–126.

Информация о конфликте интересов

Мы, авторы данной статьи, со всей ответственностью заявляем о частичном и полном отсутствии фактического или потенциального конфликта интересов с какой бы то ни было третьей стороной, который может возникнуть вследствие публикации данной статьи. Настоящее заявление относится к проведению научной работы, сбору и обработке данных, написанию и подготовке статьи, принятию решения о публикации рукописи.

pISSN 2073-2872
eISSN 2311-875X

Energy Security

MULTI-CRITERIA ANALYSIS OF OPTIONS FOR THE FUEL AND ENERGY SECTOR'S DEVELOPMENT: TAKING INTO ACCOUNT THE ENERGY SECURITY PERFORMANCE

Yurii D. KONONOV ^{a,*},
Dmitrii Yu. KONONOV ^b

^a Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch
of Russian Academy of Sciences (ESI SB RAS),
Irkutsk, Russian Federation
kononov@isem.irk.ru
ORCID: not available

^b Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch
of Russian Academy of Sciences (ESI SB RAS),
Irkutsk, Russian Federation
dima@isem.irk.ru
ORCID: not available

* Corresponding author

Article history:

Article No. 95/2022
Received 28 Feb 2022
Received in revised
form 23 March 2022
Accepted 8 April 2022
Available online
16 May 2022

JEL classification:
Q43, Q47

Keywords: energy
system, projection,
multiple-criteria
analysis, energy safety

Abstract

Subject. This article discusses the methods of multi-criteria analysis of the effectiveness of energy development options.

Objectives. The article aims to determine the range of criterion indicators taken into account in the comprehensive assessment of options for the development of the fuel and energy complex.

Methods. For the study, we used a systems analysis applying optimization and stochastic economic and mathematical models.

Results. The article offers different methodological approaches to assessing the probable status of energy security when comparing options for the energy development at different time frames of forecast research. The article also presents certain author-developed metrics that characterize the energy security performance.

Conclusions. A numerical assessment of the energy security performance should become an important component of multi-criteria analysis and selection of options for the energy systems' development. The assessment methods and metrics used depend on the perspective and the task in hand.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2022

Please cite this article as: Kononov Yu.D., Kononov D.Yu. Multi-Criteria Analysis of Options for the Fuel and Energy Sector's Development: Taking into Account the Energy Security Performance. *National Interests: Priorities and Security*, 2022, vol. 18, iss. 5, pp. 977–990. <https://doi.org/10.24891/ni.18.5.977>

Acknowledgments

The study was carried out within State job project № FWEU-2021-0003 registration № AAAA-A21-121012090014-5 of Basic Research Programme of the Russian Federation for 2021–2030, and partially supported by the Russian Foundation for Basic Research (RFBR) within research project № 20-010-00204.

References

1. Pohekar S.D., Ramachandran M. Application of Multi-criteria Decision Making to Sustainable Energy Planning – A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2004, vol. 8, iss. 4, pp. 365–381. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2003.12.007>
2. Afgan N.H., Carvalho M.G. Multi-criteria Assessment of New and Renewable Energy Power Plants. *Energy*, 2002, vol. 27, iss. 8, pp. 739–755. URL: [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(02\)00019-1](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(02)00019-1)
3. Brand B., Missaoui R. Multi-criteria Analysis of Electricity Generation Mix Scenarios in Tunisia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, vol. 39, pp. 251–261. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.069>
4. Diakoulaki D., Karangelis F. Multi-criteria Decision Analysis and Cost-Benefit Analysis of Alternative Scenarios for the Power Generation Sector in Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2007, vol. 11, iss. 4, pp. 716–727. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.06.007>
5. Belyaev L.S. *Reshenie slozhnykh optimizatsionnykh zadach v usloviyakh neopredelennosti* [Solving complex optimization problems under conditions of uncertainty]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1978, 126 p.
6. Voropai N.I., Podkoval'nikov S.V., Trufanov V.V. et al. *Obosnovanie razvitiya elektroenergeticheskikh sistem: metodologiya, modeli, metody, ikh ispol'zovanie: monografiya* [Substantiation of the development of electric power systems: methodology, models, methods, their use: a monograph]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2015, 448 p.
7. Voropai N.I. Multi-criteria Problems in Electric Power System Expansion Planning. *Energy Systems Research*, 2018, vol. 1, no. 2, pp. 27–34. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/multi-criteria-problems-in-electric-power-system-expansion-planning/viewer>
8. Kononov Yu.D. [An analytical review of the best foreign practices in the comprehensive energy security assessment]. *Energeticheskaya politika* =

Energy Policy, 2018, no. 6, pp. 98–107.

URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-zarubezhnogo-opyta-kompleksnoy-otsenki-sostoyaniya-energeticheskoy-bezopasnosti/viewer> (In Russ.)

9. Kononov Yu.D., Kononov D.Yu. [The possible impact of the introduction of the greenhouse gas emissions charge on the electricity cost]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost' = National Interests: Priorities and Security*, 2021, vol. 17, iss. 9, pp. 1612–1624. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.24891/ni.17.9.1612>
10. Sovacool B.K., Mukherjee I. Conceptualizing and Measuring Energy Security: A Synthesized Approach. *Energy*, 2011, vol. 36, iss. 8, pp. 5343–5355. URL: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.06.043>
11. Badea A.C., Rocco C.M.S., Tarantola S., Bolado R. Composite Indicators for Security of Energy Supply Using Ordered Weighted Averaging. *Reliability Engineering & System Safety*, 2011, vol. 96, iss. 6, pp. 651–662. URL: <https://doi.org/10.1016/j.res.2010.12.025>
12. Kononov Yu.D. [Approaches to the qualitative estimation of strategic threats to energy security]. *Energeticheskaya politika = Energy Policy*, 2014, no. 2, pp. 74–82. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/podhody-k-kolichestvennoy-otsenke-strategicheskikh-ugroz-energeticheskoy-bezopasnosti/viewer> (In Russ.)
13. Makarov A.A. *Podkhody k otsenke ustoichivosti i riskov dolgosrochnogo razvitiya energetiki Rossii. V kn.: Sistemnye issledovaniya v energetike: metodologiya i rezul'taty: sbornik statei* [Approaches to assessing the sustainability and risks of long-term development of the Russian energy sector. In: System studies in energy: methodology and results: a collection of articles]. Moscow, Energy Research Institute of RAS Publ., 2018, pp. 113–126.

Conflict-of-interest notification

We, the authors of this article, bindingly and explicitly declare of the partial and total lack of actual or potential conflict of interest with any other third party whatsoever, which may arise as a result of the publication of this article. This statement relates to the study, data collection and interpretation, writing and preparation of the article, and the decision to submit the manuscript for publication.