

pISSN 2073-2872
eISSN 2311-875X

Энергетическая безопасность

СПОСОБЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ПРОГНОЗАХ*

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 имени 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 имени 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. № 120/2023
Получена 06.04.2023
Получена в
доработанном виде
17.05.2023
Одобрена 14.06.2023
Доступна онлайн
17.07.2023

Специальность: 5.2.3

УДК 621.311:338.27
JEL: Q43, Q47

Ключевые слова:

прогнозирование,
топливно-
энергетический
комплекс,
энергетическая
безопасность,
индикативный анализ,
стратегические угрозы,
макроэкономика

Аннотация

Предмет. Развитие топливно-энергетического комплекса России.

Цели. Обосновать целесообразность и возможность использования комплексных показателей (индексов) энергетической безопасности в прогнозных исследованиях. Определить влияние различных факторов на численные значения этих показателей.

Методология. Применены экономико-математические модели.

Результаты. Предложены способы агрегирования индикаторов энергетической безопасности, в числе которых – индекс устойчивости, предназначенный для комплексной характеристики экономического аспекта энергетической безопасности. Выполнены экспериментальные расчеты, показывающие влияние различных факторов на численные значения индексов энергетической безопасности.

Выводы. Численная оценка состояния энергетической безопасности с помощью рассмотренных комплексных индексов может стать важной составляющей многокритериального анализа развития топливно-энергетического комплекса. Состав индикаторов энергетической безопасности и форма их обобщения зависят от решаемой задачи и рассматриваемой перспективы.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2023

Для цитирования: Кононов Ю.Д., Кононов Д.Ю. Способы комплексной оценки состояния энергетической безопасности в прогнозах // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2023. – Т. 19, № 7. – С. 1367 – 1386.
<https://doi.org/10.24891/ni.19.7.1367>

Энергетическая безопасность (ЭБ), понимаемая как надежное снабжение потребителей топливом и энергией в необходимых объемах и по экономически приемлемым ценам, стала одним из основных системных вызовов, с которыми столкнулась современная энергетика [1]. Для характеристики состояния энергетической безопасности используется индикативный анализ, включающий определение состава, численной оценки и значимости индикаторов, а также конструирование обобщающих показателей.

В зарубежной практике такие показатели – комплексные индексы энергетической безопасности (КИЭБ) – могут иметь иерархическую структуру, то есть состоять из двух-трех уровней, на каждом из которых индикаторы объединяются в группы с разными весами¹. Такой индекс можно представить следующим образом [2]:

$$КИЭБ = \sum_{i=1}^3 \left(s_i \sum_{j=1}^m \left(s_{ij} \sum_{k=1}^l s_{ijk} I_{ijk} \right) \right), \quad (1)$$

где I_{ijk} – значение индикатора i ; l – его номер в соответствующей группе; m – номер группы в определенном блоке; s_{ijk} – вес индикатора в группе; s_{ij} – вес группы в блоке.

В качестве примера на *рис. 1* показана структура КИЭБ, используемая Информационным энергетическим агентством США для ежегодной оценки состояния энергетической безопасности страны.

При конструировании интегральных показателей неизбежна значительная степень субъективизма как при выборе состава индикаторов, так и при определении их значимости (весов). Несмотря на этот недостаток, КИЭБ все шире используется в США, Китае, Индии. Ежегодную оценку и сравнение состояния энергетической безопасности разных стран проводят

^{*} Работа выполнена в рамках проекта государственного задания (№ FWEU-2021-0003 per. № AAAA-A21-121012090014-5) программы фундаментальных исследований РФ на 2021–2030 гг.

¹ Handbook on Constructing Composite Indicators: Methodology and User Guide.
 URL: <https://www.oecd.org/els/soc/handbookonconstructingcompositeindicatorsmethodologyanduserguide.htm>

Международный энергетический совет (WEC)², Мировой энергетический форум (WEF)³, Глобальный энергетический институт США⁴. В этих оценках Россия находится в середине списка из 125 стран.

В России обсуждение проблем собственной комплексной численной оценки состояния энергетической безопасности началось несколько лет назад [3]. Но еще в конце XX в. стала осознаваться необходимость комплексного рассмотрения и анализа существующих проблем ЭБ [4]. Большое количество исследований по индикативному анализу и проблемам мониторинга ЭБ выполнено и опубликовано в Институте систем энергетики Сибирского отделения РАН⁵ [5, 6]. Эти исследования в основном посвящены вопросам надежного энерго- и топливоснабжения потребителей.

Предложенная в работе [7] методика качественного анализа текущего состояния и мониторинга энергетической безопасности страны или регионов предусматривает сочетание индикативного и модельного подходов с использованием следующего обобщающего показателя:

$$Q = \begin{cases} H, \sum_{i=1}^n V_i^H \geq \delta_H \\ ПК, \sum_{i=1}^n V_i^K \geq \delta_K \text{ и } \sum_{i=1}^n V_i^H \leq \delta_H, i=1, n \\ K, \sum_{i=1}^n V_i^K \geq \delta_K \end{cases}, \quad (2)$$

где Q – интегральная оценка качественного состояния энергетической безопасности; V_i^H и V_i^K – удельные веса i -го индикатора, находящегося в области нормальных и кризисных значений, соответственно; δ_H и δ_K – коэффициенты, характеризующие уровень достижения нормального или кризисного состояния, соответственно.

² World Energy Trilemma Index 2017: Monitoring the Sustainability of National Energy Systems. URL: <https://www.worldenergy.org/publications/entry/world-energy-trilemma-index-2017-monitoring-the-sustainability-of-national-energy-systems>

³ Global Energy Architecture Performance Index. Report 2017. URL: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Energy_Architecture_Performance_Index_2017.pdf

⁴ International Index of Energy Security Risk. Assessing Risk in a Global Energy Market. URL: https://www.globalenergyinstitute.org/sites/default/files/energyrisk_intl_2018.pdf

⁵ Сендеров С.М., Рабчук В.И., Славин Г.Б. и др. Методические рекомендации по оценке состояния энергетической безопасности Российской Федерации на федеральном уровне. Иркутск: Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения РАН, 2013. 36 с.

Состояние энергетической безопасности оценивается как критическое, если доля индикаторов с такой оценкой в их совокупности превышает установленное допустимое значение (например, 40%). Анализ, проведенный по этой методике в 2018 г., показал улучшение состояния энергетической безопасности России – зафиксирован переход из кризисного состояния (2015 г.) в предкризисное (2016 г.). Состав индикаторов, использованных для такой оценки, включал:

- изменение энергоемкости ВВП;
- динамику цен на топливо внутри страны;
- долю природного газа в структуре первичных топливно-энергетических ресурсов (ТЭР);
- соотношения добычи и использования внутри страны разных видов топлива;
- долю экспорта ТЭР в общем объеме экспорта;
- долю в общем экспорте ТЭР продукции нефтепереработки и нефтехимии и др.

Очевидно, что в условиях энергетического перехода даже для оценки текущего состояния энергетической безопасности России потребуется расширить круг учитываемых факторов за счет таких, как эмиссия CO₂, разнообразие и стоимость источников энергоснабжения, доля импорта в энергетическом оборудовании и других, в том числе используемых в международной практике индикативного анализа. Представляется, что состав индикаторов энергетической безопасности должен зависеть от решаемой задачи и от рассматриваемой перспективы. С увеличением горизонта прогнозирования не только уменьшается их число, но и увеличивается значимость индикаторов, характеризующих экономический аспект энергетической безопасности [8].

В Доктрине энергетической безопасности Российской Федерации⁶, утвержденной Президентом Российской Федерации в мае 2019 г., при мониторинге и систематической оценке состояния ЭБ предлагается использовать систему индикаторов, отслеживая их отклонение от задаваемых предельно допустимых значений. Располагая пороговыми

⁶ Доктрина энергетической безопасности Российской Федерации (утв. Указом Президента Российской Федерации от 13.05.2019 № 216).

URL: <https://minenergo.gov.ru/node/14766?ysclid=ljlf6ybhvn209699455>

значениями индикаторов, комплексное состояние ЭБ можно оценивать, используя следующее выражение:

$$КИЭБ = \sum_i (1 - I_i / \bar{I}_i) \cdot \gamma_i, \quad (3)$$

где I_i и $\bar{I}_i$ – соответственно, располагаемое и пороговое значения индикатора i , γ_i – его удельный вес (относительная значимость).

В России при оценке состояния ЭБ важно учитывать территориальные различия в условиях энергоснабжения. При таком учете комплексный индекс ЭБ энергоснабжения страны упрощенно можно выразить следующим образом:

$$КИЭБ = \sum_r \left(\sum_i I_{ir} \gamma_{ri} \right) \cdot \gamma_r, \quad (4)$$

где I_i – значение индикатора i в регионе r , γ_{ri} – его вес, γ_r – доля региона в энергопотреблении страны.

Важной и сложной проблемой, возникающей при конструировании комплексного индекса ЭБ, является определение весов отдельных индикаторов. В настоящее время они, как правило, задаются экспертно. Однако если варианты развития топливно-энергетического комплекса определяются с помощью оптимизационных моделей, то появляется возможность оценивать значимость некоторых индикаторов по их влиянию на решение (критерий оптимальности) модели.

Другая проблема построения КИЭБ – разная размерность используемых индикаторов. Для сопоставимости (нормирования) следует рассматривать не их численные значения, а различия, выраженные в процентах. В этом случае формула (4) преобразуется следующим образом:

$$КИЭБ = \sum_r \left(\sum_i \Delta I_{ri} \gamma_{ri} \right) \gamma_i, \quad (5)$$

где ΔI_{ri} – отличие индикатора I_{ri} от его значения в альтернативном или базовом варианте.

Иллюстративный пример использования такого показателя для сравнительной оценки энергетической безопасности вариантов энергоснабжения приводится в *табл. 1–3*. Решалась задача определения возможного влияния изменения стоимости топлива для электростанций на

величину КИЭБ в объединенных энергетических системах (ОЭС) Европейской части страны, включая ОЭС Урала. При этом состав индикаторов был ограничен только отражающими экономическую составляющую энергетической безопасности.

Ориентируясь на Генеральную схему размещения объектов электроэнергетики до 2035 года⁷, авторы рассчитали два условных варианта. Они получены с помощью оптимизационных расчетов на модели МИСС-ЭЛ [9]. Исходные данные отличались между собой только стоимостью газа для электростанций.

Удорожание топлива снижает долю газовой генерации (*табл. 1*), уменьшая выбросы CO₂. Однако при этом увеличивается стоимость производства и межсистемной транспортировки электроэнергии. Рост стоимости электроэнергии негативно влияет на потребителей, но снижает риски инвестиций в новые электростанции. Эффект разнонаправленного изменения этих и других индикаторов ЭБ позволяет определить предлагаемый комплексный показатель (5).

Условный состав индикаторов ЭБ, выбранный для примера, приведен в *табл. 2*. Принятые значения их весов также условны. Иллюстративный характер носят также и результаты оценки влияния удорожания газа на величину индикаторов. Это влияние, как показывают результаты оптимизационных расчетов, заметно отличается по регионам: стоимость генерации увеличивается на 5–8%, а эмиссия CO₂ снижается на 1–10%. Особенно велики региональные различия в изменении индикаторов, характеризующих инвестиционные риски. В наших расчетах их численные значения определяются как величина, обратная вероятности попадания той или иной электростанции в оптимальное решение (чем выше вероятность, тем, при прочих равных условиях, меньше риск для потенциальных инвесторов).

В *табл. 3* показано совокупное влияние изменения отдельных индикаторов на значение комплексного индекса ЭБ отдельного региона и макрорегиона в целом. По сравнению с базовым вариантом, величина КИЭБ практически во всех регионах увеличилась. Это может говорить об ожидаемом негативном влиянии удорожания газа на состояние ЭБ. Очевидно, что численные результаты такой оценки во многом зависят от состава индикаторов и их принимаемых весов.

⁷ Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2035 года (утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 09.06.2017 № 1209-р).
URL: <http://static.government.ru/media/files/zzvuuhfq2f3OJIK8AzKV5XrGibW8ENGp.pdf>

Используемый в приведенном примере КИЭБ предлагается применять (при меняющемся составе индикаторов) в качестве одного из критериев эффективности сравниваемых вариантов развития систем энергетики при кратко- и среднесрочных прогнозах. При рассмотрении долгосрочной перспективы важнее оценивать устойчивость вариантов (траекторий динамики ключевых показателей) к возможным стратегическим угрозам, выделяя экономический и экологический аспекты энергетической безопасности.

По мнению академика А.А. Макарова [10], из размытого «конуса» неопределенности прогнозируемых показателей для практических целей надо выделить узкий пучок их траекторий (конус объективных возможностей), то есть определенную стратегию развития энергетики. Представляется, что еще на стадии формирования той или иной стратегии долгосрочного развития должен определяться уровень ее устойчивости. Соответствующий показатель – индекс устойчивости (ИУС) – можно выразить следующим образом:

$$\text{ИУС} = \sum_i I_i \gamma_i \lambda_i, \quad (6)$$

где I_i – нормированный показатель i , характеризующий ту или иную составляющую энергетической безопасности; γ_i – вес (значимость) такого показателя; λ_i – коэффициент, учитывающий неопределенность принимаемых в расчетах численных значений i -го показателя.

Степень неопределенности рассматриваемого показателя можно охарактеризовать верхней и нижней границами его вероятных значений:

$$\lambda_i = 0,5 \left(\frac{\bar{I}_i}{\underline{I}_i} + 1 \right) \epsilon_i, \quad (7)$$

где $\bar{I}_i$ и $\underline{I}_i$ – верхняя и нижняя границы диапазона значений i -го показателя, ϵ_i – коэффициент, характеризующий его отклонение от среднего значения, а также учитывающий корректирующее влияние на ИУС возможной взаимозависимости принимаемых значений показателей.

При формировании ИУС в состав индикаторов следует включить не обычные, а комбинированные (обобщающие) индикаторы энергетической безопасности, отражающие наиболее устойчивые тенденции. Их численные значения должны учитывать результаты анализа многих вариантов,

предполагающих в том числе и разные темпы развития экономики и спроса на энергоносители. Такими показателями могут, например, быть:

- эластичность энергопотребления по ВВП;
- ценовая эластичность спроса на электроэнергию;
- доля топливно-энергетического комплекса в ВВП;
- доля топливно-энергетического комплекса в общем экспорте;
- углеродоемкость экономики.

Последний показатель, характеризующий выбросы CO₂ на единицу ВВП, при построении ИУС может быть заменен на процент возможного отклонения эмиссии CO₂ от задаваемой цели. Такая замена облегчает нормирование показателей с разной размерностью.

Эти показатели выбраны для иллюстрационного примера комплексной оценки устойчивости одной гипотетической стратегии долгосрочного развития топливно-энергетического комплекса. Их численные значения (*табл. 3*) условны, но правдоподобно отражают ожидаемое изменение (уменьшение) через 20–30 лет по сравнению с настоящим временем.

Рассматривались три сценария. В первом (исходном) сценарии предполагался одинаковый вес указанных показателей. В двух других сценариях значимость показателя, характеризующего эмиссию CO₂, увеличивается в 2 раза. При этом во втором сценарии, как и в первом, не учитывалась взаимозависимость численных значений рассматриваемых показателей. Она реально существует и учтена в третьем сценарии. Ужесточение требований к выбросам CO₂ влияет на структуру электростанций, на стоимость электроэнергии и на ВВП, поэтому учет этого влияния в третьем сценарии отразился на используемых в нем численных характеристиках показателей.

Результаты иллюстративных расчетов (*табл. 4*) свидетельствуют, что даже при постоянном составе показателей ИУС реагирует на изменение их значимости. Рост величины этого комплексного индекса означает снижение устойчивости сценария (стратегии). В рассматриваемом примере одно только повышение веса цели достижения низкоуглеродного развития в 2 раза увеличивает величины ИУС на 8%. С учетом же взаимозависимости значений используемых показателей этот рост, согласно расчетам, составляет 18%. Это подтверждает высказываемые соображения о

возможных негативных последствиях форсирования реализации такой стратегии для экономики [11–13].

Представляется, что описанный методический подход может быть полезен на начальном этапе прогнозных исследований, то есть для предварительной оценки намечаемых стратегий достижения целей долгосрочного развития топливно-энергетического комплекса с позиции энергетической безопасности.

Численная оценка состояния энергетической безопасности может расширить возможности и практическую значимость многокритериального анализа и выбора вариантов в прогнозных исследованиях систем энергоснабжения страны и регионов. Для этой цели могут использоваться предлагаемые способы обобщения (агрегирования) индикаторов, характеризующих разные (в том числе и экономические) аспекты энергетической безопасности. Рациональный состав индикаторов и комплексных индексов энергетической безопасности зависит от решаемой задачи и рассматриваемой перспективы.

Таблица 1

Изменение региональной структуры производства электроэнергии при удорожании газа, п.п.

Table 1

Changes in the regional structure of electricity production with an increase in gas prices, percent point

Электростанции	Европейская часть России				Урал
	Северо-Запад	Центр	Поволжье	Юг	
Газовые	–5,9	–9,7	–0,9	–0,7	–4
Угольные	0,2	0,6	0,4	0,2	9
ГЭС	0,1	0,1	0,1	0	1,4
АЭС	5,9	9,1	0,4	0,4	0,3
Солнечные и ветровые	0,1	0	0,1	2	0,1

Примечание. Условный пример для прогнозируемых условий на 2035 г. при увеличении цены газа для электростанций на 25% по сравнению с базовым вариантом.

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Таблица 2**Объединенные энергетические системы: относительное изменение значений индикаторов экономической безопасности****Table 2****United Energy Systems: Relative change in economic security indicators**

Индикатор	Вес индикатора	Регионы	
		Северо-Западный	Центральный
Средняя стоимость электроэнергии	0,5	1,07	1,08
Выбросы CO ₂	0,35	0,9	0,86
Инвестиционный риск варианта	0,1	0,89	0,75
Доля новых электростанций с риском более 50%	0,05	0,1	0,16

Продолжение

Индикатор	Вес индикатора	Регионы		
		Волжский	Южный	Уральский
Средняя стоимость электроэнергии	0,5	1,06	1,05	1,08
Выбросы CO ₂	0,35	0,98	0,98	0,99
Инвестиционный риск варианта	0,1	0,94	0,87	0,69
Доля новых электростанций с риском более 50%	0,05	0,89	1,1	0,7

Примечание. Выбранные индикаторы отражают экономический и экологический аспекты энергетической безопасности. Индикаторы здесь даны как соотношение абсолютных значений в сравниваемых вариантах.

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Таблица 3**Изменение значения комплексного индекса энергетической безопасности при удорожании газа, %****Table 3****Changes in the value of the comprehensive energy security index with an increase in gas prices, percent**

Показатель	Регионы		
	Северо-Западный	Центральный	Волжский
Место региона в электропотреблении макрорегиона, %	12,7	31	13,1
Комплексный индекс энергетической безопасности	1,03	0,99	1,01

Продолжение

Показатель	Регионы		Макрорегион
	Южный	Уральский	
Место региона в электропотреблении макрорегиона, %	13,2	30	100
Комплексный индекс энергетической безопасности	1,02	1,03	1,01

Примечание. Значение комплексного индекса энергетической безопасности в исходном варианте равно 1.

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Таблица 4

Влияние неопределенности значений и веса показателей энергетической безопасности на индекс устойчивости гипотетической стратегии низкоуглеродного развития топливно-энергетического комплекса

Table 4

Influence of uncertainty in the values and weight of energy security indicators on the sustainability index of a hypothetical strategy for low-carbon development of the fuel and energy complex

Показатель	Единицы измерения	Возможное значение в рассматриваемой перспективе
Эластичность энергопотребления по ВВП	%/%	0,4–0,5
Ценовая эластичность спроса на энергию	%/%	0,05–0,07
Доля топливно-энергетического комплекса в ВВП	%	4–6
Доля топливно-энергетического комплекса в экспорте	%	20–30
Отклонение эмиссии CO ₂ от целевой установки	%	1–5
Устойчивость стратегии (значение индекса устойчивости)	–	

Продолжение

Показатель	Сценарий 1 принимается значение (отклонение среднего значения показателя от его нижней границы)
Эластичность энергопотребления по ВВП	1,13
Ценовая эластичность спроса на энергию	1,2
Доля топливно-энергетического комплекса в ВВП	1,25
Доля топливно-энергетического комплекса в экспорте	1,25
Отклонение эмиссии CO ₂ от целевой установки	1,75
Устойчивость стратегии (значение индекса устойчивости)	–

Продолжение

Показатель	Сценарий 1 вес показателя
Эластичность энергопотребления по ВВП	0,2
Ценовая эластичность спроса на энергию	0,2
Доля топливно-энергетического комплекса в ВВП	0,2
Доля топливно-энергетического комплекса в экспорте	0,2
Отклонение эмиссии CO ₂ от целевой установки	0,2
Устойчивость стратегии (значение индекса устойчивости)	–

Продолжение

Показатель	Сценарий 1 устойчивость
Эластичность энергопотребления по ВВП	0,23
Ценовая эластичность спроса на энергию	0,24
Доля топливно-энергетического комплекса в ВВП	0,25
Доля топливно-энергетического комплекса в экспорте	0,25
Отклонение эмиссии CO ₂ от целевой установки	0,25
Устойчивость стратегии (значение индекса устойчивости)	1,32

Продолжение

Показатель	Сценарий 2 принимаемое значение (отклонение среднего значения показателя от его нижней границы)
Эластичность энергопотребления по ВВП	1,13
Ценовая эластичность спроса на энергию	1,2
Доля топливно-энергетического комплекса в ВВП	1,25
Доля топливно-энергетического комплекса в экспорте	1,25
Отклонение эмиссии CO ₂ от целевой установки	1,75
Устойчивость стратегии (значение индекса устойчивости)	–

Продолжение

Показатель	Сценарий 2 вес показателя
Эластичность энергопотребления по ВВП	0,15
Ценовая эластичность спроса на энергию	0,15
Доля топливно-энергетического комплекса в ВВП	0,15
Доля топливно-энергетического комплекса в экспорте	0,15
Отклонение эмиссии CO ₂ от целевой установки	0,4
Устойчивость стратегии (значение индекса устойчивости)	–

Продолжение

Показатель	Сценарий 2 устойчивость
Эластичность энергопотребления по ВВП	0,17
Ценовая эластичность спроса на энергию	0,18
Доля топливно-энергетического комплекса в ВВП	0,19
Доля топливно-энергетического комплекса в экспорте	0,19
Отклонение эмиссии CO ₂ от целевой установки	0,4
Устойчивость стратегии (значение индекса устойчивости)	1,43

Продолжение

Показатель	Сценарий 3 принимаемое значение (отклонение среднего значения показателя от его нижней границы)
Эластичность энергопотребления по ВВП	1,19
Ценовая эластичность спроса на энергию	1,2
Доля топливно-энергетического комплекса в ВВП	1,15
Доля топливно-энергетического комплекса в экспорте	1,26
Отклонение эмиссии CO ₂ от целевой установки	1,7
Устойчивость стратегии (значение индекса устойчивости)	–

Продолжение

Показатель	Сценарий 3 вес показателя
Эластичность энергопотребления по ВВП	0,16
Ценовая эластичность спроса на энергию	0,14
Доля топливно-энергетического комплекса в ВВП	0,15
Доля топливно-энергетического комплекса в экспорте	0,15
Отклонение эмиссии CO ₂ от целевой установки	0,4
Устойчивость стратегии (значение индекса устойчивости)	–

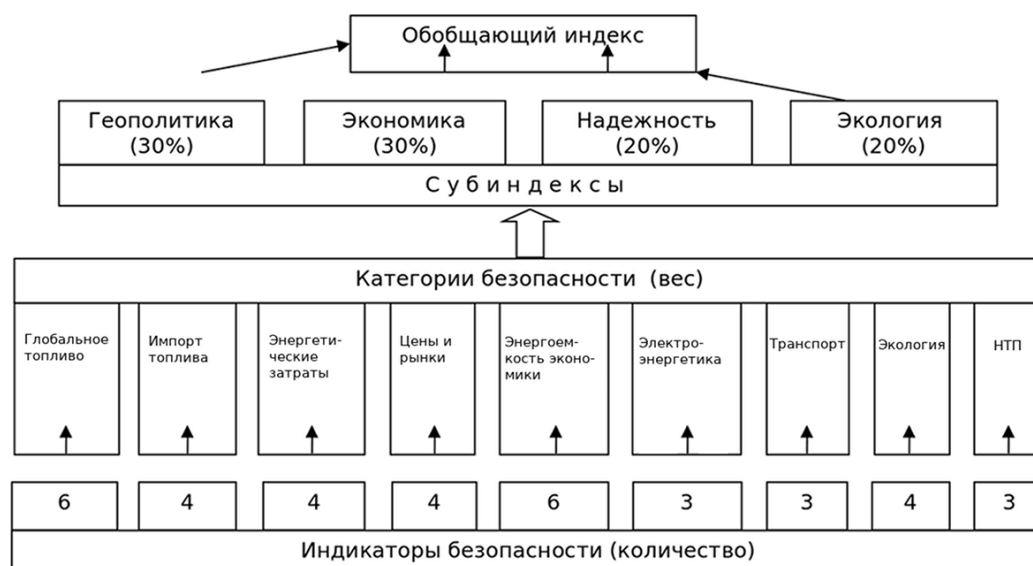
Продолжение

Показатель	Сценарий 3 устойчивость
Эластичность энергопотребления по ВВП	0,19
Ценовая эластичность спроса на энергию	0,23
Доля топливно-энергетического комплекса в ВВП	0,22
Доля топливно-энергетического комплекса в экспорте	0,24
Отклонение эмиссии CO ₂ от целевой установки	0,68
Устойчивость стратегии (значение индекса устойчивости)	1,56

Примечание. Рост индекса устойчивости означает снижение устойчивости стратегии.

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 1**Построение обобщенного индекса риска энергетической безопасности США****Figure 1****Building a Generalized U.S. Energy Security Risk Index**

Источник: Index of U.S. Energy Security Risk (2018 Edition).

URL: <https://www.globalenergyinstitute.org/energysecurityrisk>

Source: Index of U.S. Energy Security Risk (2018 Edition).

URL: <https://www.globalenergyinstitute.org/energysecurityrisk>

Список литературы

1. Масепенанов А.М. Проблемы обеспечения энергетической безопасности в новых геополитических условиях // Энергетическая политика. 2017. № 1. С. 20–37. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-obespecheniya-energeticheskoy-bezopasnosti-v-novyh-geopoliticheskikh-usloviyah/viewer>
2. Augutis J., Krikštolaitis R., Martišauskas L. et al. Integrated Energy Security Assessment. *Energy*, 2017, vol. 138, pp. 890–901. URL: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.113>
3. Масепенанов А.М., Чигаев Б.Н. The Energy Trilemma Index как оценка энергетической безопасности // Энергетическая политика. 2020. № 8. С. 66–83. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/the-energy-trilemma-index-kak-otsenka-energeticheskoy-bezopasnosti/viewer>
4. Телегина Е.А., Бушнев В.В., Воронай Н.И. и др. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты.

- Энергетическая безопасность (ТЭК и государство): монография. М.: Знание, 2000. 304 с.
5. *Пяткова Н.И., Рабчук В.И., Сендеров С.М. и др.* Энергетическая безопасность России: проблемы и пути решения: монография. Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2011. 197 с.
 6. *Сендеров С.М., Рабчук В.И., Крупенёв Д.С. и др.* Надежность топливо- и энергоснабжения потребителей с позиции обеспечения энергетической безопасности: монография. Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2022. 132 с.
 7. *Сендеров С.М., Рабчук В.И.* Состояние энергетической безопасности России на федеральном уровне: методические подходы к оценке и основные результаты // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2018. № 2. С. 3–12.
 8. *Кононов Ю.Д.* Оценка и учет в прогнозных исследованиях ТЭК экономической составляющей энергетической безопасности // Проблемы прогнозирования. 2021. № 2. С. 56–62.
URL: <https://doi.org/10.47711/0868-6351-185-56-62>
 9. *Кононов Ю.Д., Тыртышный В.Н., Кононов Д.Ю.* Использование стохастического моделирования при выборе вариантов энергоснабжения регионов с учетом инвестиционных рисков // Информационные и математические технологии в науке и практике. 2018. № 2. С. 80–87.
URL: <https://doi.org/10.25729/2413-0133-2018-2-08>
 10. *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.: Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», 2018. С. 113–126.
 11. *Порфирьев Б.Н., Широков А.А., Колпаков А.Ю., Единак Е.А.* Возможности и риски политики климатического регулирования в России // Вопросы экономики. 2022. № 1. С. 72–89.
URL: <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2022-1-72-89>
 12. *Малахов В.А., Несытых К.В.* Долгосрочные макроэкономические потери и выгоды России от низкоуглеродного развития мира и отечественной

энергетики // Проблемы прогнозирования. 2022. № 4. С. 55–67.

URL: <https://doi.org/10.47711/0868-6351-193-55-67>

13. Кононов Ю.Д., Кононов Д.Ю. Возможное влияние введения 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>

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

METHODS FOR INTEGRATED ENERGY SECURITY PERFORMANCE ASSESSMENT AS PART OF PROJECTION STUDIES

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

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

* Corresponding author

Article history:

Article No. 120/2023
Received 6 April 2023
Received in revised
form 17 May 2023
Accepted 14 June 2023
Available online
17 July 2023

JEL classification:
Q43, Q47

Keywords: projections,
energy sector, energy
security, indicator-based
analysis, strategic
threats,
macroeconomics

Abstract

Subject. This article discusses the issues of development of the fuel and energy complex of Russia.

Objectives. The article aims to substantiate the expediency and possibility of using complex indicators (indices) of energy security in predictive studies and determine the influence of various factors on the numerical values of these indicators.

Methods. For the study, we used economic and mathematical models.

Results. The article proposes methods for aggregating energy security indicators, including the sustainability index, designed to comprehensively characterize the economic aspect of energy security. It presents experimental calculations describing the influence of various factors on the numerical values of energy security indices.

Conclusions. Numerical assessment of the energy security status through the considered complex indices can become an important component of the multi-criteria analysis of the fuel and energy complex' development. The composition of energy security indicators and the form of their generalization depend on the problem to be solved and the perspective under consideration.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2023

Please cite this article as: Kononov Yu.D., Kononov D.Yu. Methods for Integrated Energy Security Performance Assessment as Part of Projection Studies. *National Interests: Priorities and Security*, 2023, vol. 19, iss. 7, pp. 1367–1386.
<https://doi.org/10.24891/ni.19.7.1367>

Acknowledgments

The study was performed within the framework of State job project № FWEU-2021-0003, reg. № AAAA-A21-121012090014-5 of the Programme of Fundamental Research in the Russian Federation for 2021–2030.

References

1. Mastepanov A.M. [Problems of energy security assurance under new geopolitical conditions]. *Energeticheskaya politika = Energy Policy*, 2017, no. 1, pp. 20–37. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-obespecheniya-energeticheskoy-bezopasnosti-v-novyh-geopoliticheskikh-usloviyah/viewer> (In Russ.)
2. Augutis J., Krikštolaitis R., Martišauskas L. et al. Integrated Energy Security Assessment. *Energy*, 2017, vol. 138, pp. 890–901. URL: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.113>
3. Mastepanov A.M., Chigarev B.N. [Using the energy trilemma index to assess energy security]. *Energeticheskaya politika = Energy Policy*, 2020, no. 8, pp. 66–83. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/the-energy-trilemma-index-kak-otsenka-energeticheskoy-bezopasnosti/viewer> (In Russ.)
4. Telegina E.A., Bushuev V.V., Voropai N.I. et al. *Bezopasnost' Rossii. Pravovye, sotsial'no-ekonomicheskie i nauchno-tekhnicheskie aspekty. Energeticheskaya bezopasnost' (TEK i gosudarstvo): monografiya* [Russia's security. Legal, socio-economic and scientific-technical aspects. Energy security (fuel and energy complex and the state): a monograph]. Moscow, Znanie Publ., 2000, 304 p.
5. Pyatkova N.I., Rabchuk V.I., Senderov S.M. et al. *Energeticheskaya bezopasnost' Rossii: problemy i puti resheniya: monografiya* [Russia's energy security: problems and solutions: a monograph]. Novosibirsk, Siberian Branch of RAS Publ., 2011, 197 p.
6. Senderov S.M., Rabchuk V.I., Krupenev D.S. et al. *Nadezhnost' toplivo- i energosnabzheniya potrebiteli s pozitsii obespecheniya energeticheskoi bezopasnosti: monografiya* [Reliability of fuel and energy supply to consumers from the standpoint of ensuring energy security: a monograph]. Novosibirsk, Siberian Branch of the RAS Publ., 2022, 132 p.

7. Senderov S.M., Rabchuk V.I. [The state of Russia's energy security at the federal level: a methodological approach to evaluation and main results]. *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Energetika = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering*, 2018, no. 2, pp. 3–12. (In Russ.)
8. Kononov Yu.D. [Assessment and factoring in the economic component of energy security in projection studies of the energy sector]. *Problemy prognozirovaniya = Studies on Russian Economic Development*, 2021, no. 2, pp. 56–62. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.47711/0868-6351-185-56-62>
9. Kononov Yu.D., Tyrtysnyi V.N., Kononov D.Yu. [Using stochastic modelling for risk assessment and ranking of regional energy supply options]. *Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i praktike = Informational and Mathematical Technologies in Science and Management*, 2018, no. 2, pp. 80–87. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.25729/2413-0133-2018-2-08>
10. 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: Systems Research in energy: methodology and results: collection of articles]. Moscow, National Research University Moscow Power Engineering Institute Publ., 2018, pp. 113–126.
11. Porfiriev B.N., Shirov A.A., Kolpakov A.Yu., Edinak E.A. [Opportunities and risks of the climate policy in Russia]. *Voprosy Ekonomiki*, 2022, no. 1, pp. 72–89. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2022-1-72-89>
12. Malakhova V.A., Nesytykh K.V. [Russia's long-term macroeconomic losses and benefits from the low-carbon development of the world and domestic energy industry]. *Problemy prognozirovaniya = Studies on Russian Economic Development*, 2022, no. 4, pp. 55–67. (In Russ.)
URL: <https://doi.org/10.47711/0868-6351-193-55-67>
13. 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>

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.