

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПРОГНОЗОВ РАЗВИТИЯ ТЭК И РЕГИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ К ЭКОНОМИЧЕСКИМ УГРОЗАМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ*

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

^а доктор экономических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник, Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, Иркутск, Российская Федерация
kononov@isem.irk.ru
ORCID: отсутствует
SPIN-код: 7634-0211

^б кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН, Иркутск, Российская Федерация
dima@isem.irk.ru
ORCID: отсутствует
SPIN-код: отсутствует

* Ответственный автор

История статьи:

Reg. № 596/2019
Получена 10.09.2019
Получена в доработанном виде 30.09.2019
Одобрена 16.10.2019
Доступна онлайн 13.12.2019

УДК 621.311:338.27
JEL: Q43, Q47

Ключевые слова:

энергетическая безопасность, прогнозирование, ТЭК, устойчивость вариантов

Аннотация

Предмет. Свойство устойчивости систем энергетики и методы ее количественной оценки при сравнении вариантов развития ТЭК.

Тема. Ускоряющийся рост неопределенности будущего повышает важность для принятия стратегических решений оценки рассматриваемых вариантов развития энергетики с позиции энергетической безопасности и инвестиционных рисков. Эта оценка должна быть комплексной и учитывать устойчивость прогнозируемой системы к возможным изменениям внешних и внутренних условий: цен и спроса на топливо и энергию, возможности экспорта и импорта энергоресурсов, появление новых технологий и требований. Удовлетворительных и общепринятых методов такой оценки нет.

Цели. Развитие методов количественной оценки сравнительной устойчивости вариантов развития систем энергетики к возможным изменениям будущих условий.

Методология. Работа основана на системном анализе проблем энергетической безопасности и взаимосвязей энергетики и экономики с использованием оптимизационных и стохастических экономико-математических моделей.

Результаты. Обоснована целесообразность рассматривать свойство устойчивости системы как один из индикаторов энергетической безопасности и использовать его при сравнении вариантов развития ТЭК и региональных систем энергоснабжения. Предложены новые показатели для характеристики устойчивости вариантов развития ТЭК и систем энергоснабжения регионов и способы их оценки. Показан методический инструментарий для количественной оценки этих показателей. Проведены экспериментальные расчеты, подтвердившие возможность практического использования предлагаемого подхода и возможность его использования для оценки стратегических угроз энергетической безопасности.

Выводы. Учет устойчивости вариантов расширяет возможности их многокритериальной оценки с позиции энергетической безопасности. Предложенные показатели устойчивости и способы их количественной оценки способствуют повышению обоснованности долгосрочных прогнозов развития энергетики и принимаемых стратегических решений.

© Издательский дом ФИНАНСЫ и КРЕДИТ, 2019

Для цитирования: Кононов Ю.Д., Кононов Д.Ю. Оценка устойчивости прогнозов развития ТЭК и региональных систем энергоснабжения к экономическим угрозам энергетической безопасности // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. – 2019. – Т. 15, № 12. – С. 2317 – 2326.
<https://doi.org/10.24891/ni.15.12.2317>

Варианты развития ТЭК, как правило, определяются с помощью оптимизационных моделей по критерию минимума затрат (дисконтированной стоимости) на обеспечение заданной потребности в энергоносителях [1]. Многовариантные расчеты проводятся для нескольких сценариев развития экономики страны и конъюнктуры на внешних энергетических рынках. Для сужения диапазона неопределенности полученные варианты оцениваются и сравниваются по дополнительным критериям и требованиям. Важной самостоятельной задачей является оценка вариантов с позиции требований энергетической безопасности (ЭБ).

Для оценки текущего состояния ЭБ широко используются самые разные показатели. В зарубежной литературе приводится более 300 простых и 50 комплексных индикаторов [2]. При этом крайне ограничен круг агрегированных индексов для характеристики вероятного состояния ЭБ в прогнозируемом будущем¹.

Состав индикаторов и индексов, используемых для оценки вариантов развития энергетики с позиции ЭБ, зависит от рассматриваемой перспективы. В оценках состояния ЭБ различных стран на ближайшую перспективу, публикуемых ежегодно Международным энергетическим агентством², основное внимание уделяется вероятности и рискам физического, краткосрочного перерыва в энергоснабжении. В долгосрочных же прогнозах необходимо учитывать экономические и экологические угрозы ЭБ.

Регулярную оценку ЭБ долгосрочных прогнозов разных стран делает Мировой

энергетический совет (WEC)³ с помощью комплексного показателя – Трилемма Индекса (WETI), объединяющего 35 индикаторов и характеризующего разнообразие источников первичной энергии, импортную зависимость, цены на топливо и электроэнергию, доступность электроэнергии для населения, устойчивость окружающей среды, особенности страны и другие факторы. По этой же методике Глобальный энергетический институт (GEI) определяет значение индекса WETI на перспективу до 2040 г., используя прогнозы развития энергетики информационного агентства Минэнерго США⁴.

Для оценки состояния ЭБ в прогнозируемом варианте развития ТЭК страны и определения возможности и способа ее повышения могут использоваться специальные оптимизационные модели с критерием максимума дефицита мощности. Такого рода модель разработана и используется в ИСЭМ СО РАН [3, 4].

Одной из важных характеристик, влияющих на состояние ЭБ систем, является их свойство реагировать на возможные изменения будущих условий. В число таких свойств входят гибкость, адаптивность, устойчивость. В работе [5] первое из них трактуется как способность восстановиться до прежнего состояния после серьезного стресса или подстроиться под изменение условий без привлечения дополнительных затрат, а второе допускает изменение устоявшегося варианта, но с привлечением дополнительных затрат. Оценка и учет обоих этих свойств значимы при анализе текущего состояния ЭБ или при краткосрочных прогнозах энергетики. С увеличением горизонта прогнозирования увеличивается диапазон неопределенности исходных данных и растет вероятность

^{*} Работа выполнена в рамках проекта государственного задания III.17.5.2 (рег. № АААА-А17-117030310432-7, тема проекта № 0349-2016-0012) фундаментальных исследований СО РАН и за счет средств гранта РФФИ, проект № 17-06-00102-а.

¹ Дополнительную информацию можно найти в статье: Кононов Ю.Д. Анализ опыта комплексной оценки состояния энергетической безопасности // Энергетическая политика. 2018. № 6. С. 98–107.

² Measuring Short-Term Energy Security. IEA, 2001. URL: <http://yumpu.com/en/document/view/19621056/measuring-short-term-energy-security-iea>

³ World Energy Trilemma Index: Monitoring the Sustainability of National Energy Systems. WEC, 2017. URL: <https://worldenergy.org/wp-content/uploads/2017/11/Energy-Trilemma-Index-2017-Report.pdf>

⁴ Global Energy Architecture Performance Index. WEF Report, 2017. URL: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Energy_Architecture_Performance_Index_2017.pdf

отклонений условий от первоначального прогноза. Соответственно, требуется оценка устойчивости рассматриваемого варианта к этим изменениям.

Общепринятого определения устойчивости развития систем энергетики нет. Оно, например, рассматривается как способность системы к достижению поставленной цели [6], свойство возвращаться из неравновесного состояния в равновесное [7], обеспечивать реализацию своих целевых установок. При решении задач стратегического управления и долгосрочного прогнозирования систем энергетики наиболее подходящим представляется понимание устойчивости как способность сохранять заданную траекторию развития при внешних и внутренних воздействиях или возвращаться на нее за приемлемый промежуток времени с приемлемыми затратами и потерями⁵. Похожая формулировка понимания устойчивости приведена и в работе [8].

Очевидно, что при прочих равных условиях с повышением устойчивости системы растет и ее ЭБ. Но для количественной оценки устойчивости вариантов, формируемых в результате прогнозных исследований систем энергетики, нужны свои индикаторы и свои подходы к оценке их численных значений.

По мнению академика РАН А.А. Макарова, устойчивость развития таких систем должна оцениваться мерой необходимости отклонения будущих траекторий от плановых при разных воздействиях (факторов риска), а также обусловленности этим потерями эффективности систем [8].

В работах ИНЭИ РАН в качестве количественной меры устойчивости развития ТЭК России используется отклонение ВВП страны от его значения в базовом сценарии при возможной реализации других сценарных

условий развития энергетики. Развивается идея использования изменения ВВП под воздействием разного рода рисков для интегральной количественной оценки устойчивости ТЭК⁶.

Устойчивость того или иного варианта развития ТЭК страны или его отраслевых систем можно оценивать также и по изменению конечного потребления товаров и услуг – комплексной макроэкономической характеристики жизненного уровня населения. Для такой оценки надо располагать взаимосвязанной системой иерархически организованных моделей, учитывающих сложные производственные и ценовые взаимосвязи энергетики и экономики страны. В России такого рода системы и модельно-информационные комплексы разработаны и используются в ИНЭИ РАН⁷, в ИОПП РАН [9], в ИСЭМ СО РАН [10].

Состав моделей, степень их агрегирования, а также требования к надежности оценки устойчивости зависят от рассматриваемой перспективы, от объекта и целей прогнозных исследований.

Анализировать устойчивость вариантов с позиции ЭБ можно по изменению показателей, характеризующих стратегические угрозы. К ним относятся угрозы длительного перерыва в электроснабжении (дефицита мощности электростанций) и неприемлемого удорожания энергоносителей⁸. Реализация этих угроз может повлиять не только на структуру ТЭК, но и на макроэкономику.

Следует отметить, что чем больше горизонт прогнозирования, тем важнее становится оценка устойчивости не отдельных вариантов, а траектория развития ТЭК в целом. Эти траектории, или расширяющаяся во времени

⁵ Лесных В.В., Тимофеева Т.Б. Методические подходы к оценке устойчивости ТЭК России и ее регионов: материалы XIII Международной научно-технической конференции «Проблемы совершенствования топливно-энергетического комплекса». Вып. 8: Совершенствование энергетических комплексов. Саратов, 2016. С. 14–17.

⁶ Там же.

⁷ SCANNER. Модельно-информационный комплекс / под ред. А.А. Макарова. М.: Изд-во ИНЭИ РАН, 2011. 72 с.

⁸ Подробная характеристика этих угроз и соответствующих индикаторов приведена в статье: Кононов Ю.Д. Подходы к количественной оценке стратегических угроз энергетической безопасности // Энергетическая политика. 2014. № 2. С. 74–82.

область (конус) неопределенности, формируются из множества вариантов, определяемых для каждого сценария развития экономики. Нижнюю границу динамики, например, цен на энергоносители или на ввод мощностей можно рассматривать как инвариантную (устойчивую). По степени отклонения от нее в том или ином варианте можно судить по его устойчивости по этому показателю.

Устойчивость прогнозов ТЭК страны можно также определять, обобщая и суммируя результаты прогнозирования развития региональных систем энергоснабжения. При этом надо учитывать, что прогнозные оценки таких систем менее надежны из-за особенно большой неопределенности будущего. Особенно условны и сложны оценки вероятных ущербов для экономики региона от изменения условий энергоснабжения. Представляется, что в первом приближении этот ущерб можно оценивать по вероятному изменению стоимости электроэнергии для потребителей при реализации того или иного варианта.

Об устойчивости варианта энергоснабжения региона можно судить, располагая представлениями об условиях его возможного развития и определяя последствия от их изменения (*рис. 1*).

Большая неопределенность будущих условий развития требует вероятностного подхода как к исходным данным, так и к результатам прогноза и к оценке их устойчивости. Этому требованию отвечает использование стохастических моделей, сочетающих оптимизацию с известным методом Монте-Карло [11]. Такая модель (точнее, компьютерная программа МИСС-ЭЛ) разработана в ИСЭМ СО РАН [12]. Она позволяет определять оптимальный вариант развития региональных систем энергоснабжения по критерию минимума дисконтированных затрат на обеспечение заданной потребности в электроэнергии. При этом все основные ограничения и исходные

данные задаются не однозначно (детерминировано), а интервально.

С помощью данной модели была проведена экспериментальная оценка устойчивости к изменению спроса на электроэнергию, цен на топливо и технико-экономических показателей электростанций одного из вариантов электроснабжения шести федеральных округов Европейской части России, включая Урал. Этот вариант близок к минимальному, представленному на Генеральной схеме ввода мощностей электростанций до 2035 г.⁹. Определялось изменение показателей устойчивости: стоимость электроэнергии, инвестиционных рисков, структуры ввода мощностей новых электростанций при двух вариантах распределения вероятности значений исходных данных внутри интервалов их неопределенности: нормальном (близком к среднему значению вероятности) и равновероятном распределении (интервальная неопределенность).

Расчеты показали, что увеличение неопределенности условий развития (исходных данных) систем энергоснабжения по-разному влияет на показатели устойчивости рассматриваемого варианта.

В наименьшей степени растет стоимость электроэнергии. По сравнению с исходным (детерминированным) вариантом ее изменение колеблется от 1 до 2%, и только в одном регионе доходит до 4% (*табл. 1*). Следует отметить, что при других заданных ограничениях на мощности отдельных типов электростанций, на доступные ресурсы и цены природного газа ценовой индикатор устойчивости мог бы быть более значимым.

Структура ввода мощностей электростанций более чувствительна к изменению задаваемых условий. Это видно на примере доли ГЭС и ВИЭ (*табл. 2*). Она заметно меняется не только по сравнению с детерминированным вариантом, но и при сравнении между собой вариантов с разным характером

⁹ Эта схема принята Правительством РФ в июне 2017 г. и доступна в формате .pdf. URL: <http://pravo.gov.ru>

неопределенности. При этом в одних регионах изменение неопределенности исходных данных приводит к увеличению роли этих электростанций, а в других – к снижению.

Самое заметное влияние характер неопределенности условий развития оказывает на такой предлагаемый показатель устойчивости варианта, как риски для потенциальных инвесторов. Из *табл. 1* видно, что при минимальной неопределенности исходных данных (нормального распределения их вероятности) средневзвешенный риск суммарного ввода новых электростанций в отдельных регионах колеблется от 3 до 15%, а при интервальной неопределенности – от 10 до 20%. При этом

рискованность инвестирования строительства отдельных станций может превышать 50%.

В заключение следует отметить условность (экспериментальный характер) как выбранного варианта развития региональных систем энергосбережения, так и полученных численных оценок влияния на него неоднозначности условий (неопределенности исходных данных). Однако представляется, что результаты расчетов подтверждают возможность и целесообразность использования предлагаемых показателей при комплексном анализе устойчивости вариантов развития систем энергетики и при оценке стратегических угроз энергетической безопасности.

Таблица 1

Влияние характера неопределенности исходных данных на стоимость электроэнергии и инвестиционные риски

Table 1

The impact of uncertain input on energy prices and investment risks

Показатель устойчивости	Характер неопределенности	Регион						Макрорегион в среднем
		1	2	3	4	5	6	
Стоимость электроэнергии, цент/кВт·ч	Нормальное распределение	7,3	7,7	7,8	8,1	7,7	7	7,7
	Интервальная неопределенность	7,3	8	8	8,6	8,3	7,3	7,9
Инвестиционные риски варианта энергоснабжения, %	Нормальное распределение	9	15	15	2,5	4	7	9
	Интервальная неопределенность	19,5	20	19,5	10	12	17	16
Доля мощностей станций с риском более 50%, %	Нормальное распределение	2,5	2,2	3	1,2	–	7,3	3
	Интервальная неопределенность	6,5	9,3	5,5	–	–	6	6

Примечание. Расчеты для предполагаемых сценарных условий развития ЕЭС Европейской части РФ в период 2025–2030 гг.

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Таблица 2

Влияние способа задания условий развития региональных систем энергоснабжения на долю ГЭС и ВИЭ в структуре новых электростанций, %

Table 2

The impact of methods used to ensure the development of regional power supply system on the percentage of hydropower plants and renewable energy sources of total new power plants, percentage

Характер исходных данных	Регион						Макрорегион в целом
	1	2	3	4	5	6	
Детерминированные	1,7	11,3	0,7	11	16,9	7,3	6,9
Нормальное распределение вероятности	1,2	11,1	2,1	12,9	16,5	7,4	7,1
Интервальная неопределенность	1,2	10,7	3,3	10,5	15,8	11,5	7,5

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Рисунок 1

Основные показатели, определяющие устойчивость развития региональных систем энергоснабжения

Figure 1

Key metrics determining the sustainable development of regional power supply systems

Условия развития (исходные данные)	Результаты прогноза	Показатели устойчивости
Спрос на энергию. Цены на топливо. Ограничения на ввод мощностей. Ограничения на ресурсы газа. Ограничения на межсистемные потоки электроэнергии. Существующие мощности электростанций. Технико-экономические показатели электростанций	Стоимость электроэнергии. Структура ввода мощностей электростанций. Требуемые инвестиции. Потребности в топливе	Изменение стоимости электроэнергии. Изменение структуры электростанций. Дефицит мощности (вероятность и величина). Риски для потенциальных инвесторов. Ущерб для экономики и экологии региона

Источник: авторская разработка

Source: Authoring

Список литературы

1. Лагерева А.В. Динамическая территориально-производственная модель для формирования сценариев взаимосогласованного развития энергетики России по федеральным округам // Известия РАН. Сер. Энергетика. 2004. № 4. С. 26–32.
2. 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>
3. Сендеров С.М., Пяткова Н.И. Применение двухуровневой технологии исследований при решении проблем энергетической безопасности // Известия РАН. Сер. Энергетика. 2000. № 6. С. 31–39.
4. Senderov S.M., Edelev A.V. Technology to Ensure Energy Security in Development of Russia's Energy Strategy. *Energy Systems Research*, 2018, vol. 1, no. 1, pp. 1–7.
URL: <https://doi.org/10.25729/esr.2018.01.0004>

5. Локтионов В.И. Адаптивность вариантов развития энергетических систем как показатель энергетической безопасности // *Экономический анализ: теория и практика*. 2015. Т. 14. Вып. 40. С. 11–21. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/adaptivnost-variantov-razvitiya-energeticheskikh-sistem-kak-pokazatel-energeticheskoy-bezopasnosti/viewer>
6. Зорина Т.Г. Устойчивость развития энергетики: сущность и методический подход к оценке // *Современные технологии управления*. 2015. № 1. С. 1–17.
7. Фёдорова Л.А. Специфические особенности оценки уровня устойчивости наукоемких производств // *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2010. Т. 6. Вып. 17. С. 15–28. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/spetsificheskie-osobennosti-otsenki-urovnya-ustoychivosti-naukoemkih-proizvodstv>
8. Макаров А.А., Воронай Н.И. и др. Подходы к оценке устойчивости и рисков развития энергетики России. В кн.: *Системные исследования в энергетике: методология и результаты* / под ред. А.А. Макарова и Н.И. Вороной. М.: Изд-во ИНЭИ РАН, 2018, 309 с.
9. Кулешов В.В., Чернышов А.А. Многоотраслевые комплексы: современные тенденции моделирования // *Экономика и математические методы*. 1987. № 6. С. 1021–1028.
10. Кононов Ю.Д., Гальперова Е.В., Кононов Д.Ю. и др. Методы и модели прогнозных исследований взаимосвязей энергетики и экономики. Новосибирск: Наука, 2009. 178 с.
11. Ермаков С.М. Метод Монте-Карло и смежные вопросы. М.: Наука, 1975. 472 с.
12. Кононов Ю.Д., Тиртышный В.Н., Кононов Д.Ю. Использование стохастического моделирования при выборе вариантов энергоснабжения регионов с учетом инвестиционных рисков // *Информационные и математические технологии в науке и управлении*. 2018. № 2. С. 80–87.

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.

EVALUATING THE SUSTAINABILITY OF DEVELOPMENT FORECASTS CONCERNING THE FUEL AND ENERGY COMPLEX AND REGIONAL SYSTEMS AGAINST ECONOMIC THREATS TO ENERGY SECURITY

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. 596/2019
Received 10 September 2019
Received in revised form
30 September 2019
Accepted 16 October 2019
Available online
13 December 2019

JEL classification: Q43, Q47

Keywords: energy security, forecast, energy sector, sustainability, development options

Abstract

Subject The article investigates the sustainability of energy systems and methods to quantify it when comparing development scenarios of the fuel and energy complex.

Objectives The study aims to forge methods for quantifying the sustainability of development scenarios of energy systems and their resilience against possible changes in the future.

Methods The study is based on a systems analysis of energy security issues and the relationship of power engineering, involving optimization and stochastic economic-mathematical models.

Results We proved that the systemic sustainability should be considered as a metric of energy security and used to compare development scenarios of the fuel and energy complex and regional power supply systems. The article sets out new metrics describing the sustainability of development options of the fuel and energy complex and power supply systems in regions and methods to evaluate them. We display methodological toolkit to quantify the metrics and did experimental computations, proving that the approach is feasible for evaluating strategic threats to energy security.

Conclusions Considering the sustainability of development options, users expand a number of criteria to evaluate the options from perspectives of energy security. The proposed metrics of sustainability and quantification methods will reinforce long-term forecasts concerning the power engineering development and strategic decisions.

© Publishing house FINANCE and CREDIT, 2019

Please cite this article as: Kononov Yu.D., Kononov D.Yu. Evaluating the Sustainability of Development Forecasts Concerning the Fuel and Energy Complex and Regional Systems Against Economic Threats to Energy Security. *National Interests: Priorities and Security*, 2019, vol. 15, iss. 12, pp. 2317–2326.
<https://doi.org/10.24891/ni.15.12.2317>

Acknowledgments

The study was conducted as part of State job III.17.5.2 (Reg. № AAAA-A17-117030310432-7, project subject № 0349-2016-0012) of basic research assigned to the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences and supported with grants of the Russian Foundation for Basic Research (RFBR), project № 17-06-00102-a.

References

1. Lagerev A.V. [A dynamic territorial-production model to form the scenarios of inter-coordinated energy development of Russia for federal okrug]. *Izvestiya RAN. Ser. Energetika = News of Russian Academy of Sciences. Ser. Energy*, 2004, no. 4, pp. 26–32. (In Russ.)
2. 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>
3. Senderov S.M., Pyatkova N.I. [The use of a two-tiered technique for research to address energy security issues]. *Izvestiya RAN. Ser. Energetika = News of Russian Academy of Sciences. Ser. Energy*, 2000, no. 6, pp. 31–39. (In Russ.)
4. Senderov S.M., Edelev A.V. Technology to Ensure Energy Security in Development of Russia's Energy Strategy. *Energy Systems Research*, 2018, vol. 1, no. 1, pp. 1–7.
URL: <https://doi.org/10.25729/esr.2018.01.0004>
5. Loktionov V.I. [Adaptability of energy systems' development scenarios as an indicator of energy security]. *Ekonomicheskii analiz: teoriya i praktika = Economic Analysis: Theory and Practice*, 2015, vol. 14, iss. 40, pp. 11–21. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/adaptivnost-variantov-razvitiya-energeticheskikh-sistem-kak-pokazatel-energeticheskoy-bezopasnosti/viewer> (In Russ.)
6. Zorina T.G. [Sustainable energy development: Essence and methodological approaches to assessment]. *Sovremennye tekhnologii upravleniya = Modern Management Technology*, 2015, no. 1, pp. 1–17. (In Russ.)
7. Fedorova L.A. [Specific characteristics of valuation the level steadiness high technology manufactures]. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost' = National Interests: Priorities and Security*, 2010, vol. 6, iss. 17, pp. 15–28.
URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/spetsificheskie-osobennosti-otsenki-urovnya-ustoychivosti-naukoemkikh-proizvodstv> (In Russ.)
8. Makarov A.A., Voropai N.I. et al. *Podkhody k otsenke ustoichivosti i riskov razvitiya energetiki Rossii. V kn.: Sistemnye issledovaniya v energetike: metodologiya i rezul'taty* [Approaches to evaluating the sustainability and risks of power engineering development in Russia. In: Systemic requirements in power engineering: Methodology and results]. Moscow, Energy Research Institute of RAS Publ., 2018, 309 p.
9. Kuleshov V.V., Chernyshov A.A. [Multiple industry complexes: Contemporary modeling trends]. *Ekonomika i matematicheskie metody = Economics and Mathematical Methods*, 1987, no. 6, pp. 1021–1028. (In Russ.)
10. Kononov Yu.D., Gal'perova E.V., Kononov D.Yu. et al. *Metody i modeli prognoznykh issledovaniy vzaimosvyazei energetiki i ekonomiki* [Methods and models for forecasting research into the relationship of power engineering and economy]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2009, 178 p.
11. Ermakov S.M. *Metod Monte-Karlo i smezhnye voprosy* [The Monte Carlo method and related issues]. Moscow, Nauka Publ., 1975, 472 p.

12. Kononov Yu.D., Tyrtysnyi V.N., Kononov D.Yu. [Stochastic modeling for a choice of power supply options in line with investment risks]. *Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii = Information and Mathematical Technology in Science and Management*, 2018, no. 2, pp. 80–87. (In Russ.)

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.