

Особенности исследования влияния угроз энергетической безопасности на надежность энергоснабжения потребителей в современных условиях

Пяткова Наталья Ивановна, Мамедов Тимур Габилевич

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,

Россия, Иркутск, nata@isem.irk.ru

Аннотация. Надежность энергоснабжения потребителей – важнейшая составляющая энергетической безопасности (ЭБ). Недопоставки энергоресурсов, их срывы приводят к негативным последствиям у потребителей энергоресурсов с значительными экономическими ущербами, это повышает актуальность исследований обеспечения надежности энергоснабжения. Учет изменяющихся условий функционирования и развития энергетики под влиянием внешних и внутренних факторов требует значительных усовершенствований в модельно-инструментальных средствах, которые могут применяться для исследований по оценке надежности энергоснабжения потребителей в условиях возможных нештатных ситуаций. В статье представлен краткий анализ ситуации на мировых энергетических рынках и в России, приведена схема модификации разработанной экономико-математической модели, приведена схема работы с моделью и тестовый пример.

Ключевые слова: энергетическая безопасность, надежность энергоснабжения, угрозы энергетической безопасности, экономико-математическая модель

Цитирование. Пяткова Н.И. Особенности исследования влияния угроз на надежность энергоснабжения в современных условиях / Н.И. Пяткова, Т.Г. Мамедов // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2025. – № 4(40). – С. 128-137. – DOI:10.25729/ESI.2025.40.4.010.

Введение. Надежность энергоснабжения потребителей является одной из важнейших задач обеспечения энергетической безопасности (ЭБ). Недопоставки энергоресурсов, их срывы приводят к негативным последствиям у потребителей энергоресурсов с значительными экономическими ущербами.

Одним из важнейших требований ЭБ страны является бесперебойное топливо- и энергоснабжение внутренних потребителей топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), как в условиях штатного функционирования систем энергетики, так и в условиях реализации нештатных ситуаций в энергетике [1]. Основное влияние на выполнение этого требования оказывают угрозы и негативные факторы [2]. Эти угрозы были классифицированы на следующие группы: экономические, социально-политические, внешнеэкономические, техногенные, природные и военно-политические [3, 4]. Кроме того, были сформированы стратегические угрозы, реализация которых может вызвать значительный ущерб в экономике страны в перспективе. С течением времени и изменениями на внешних энергетических рынках эти угрозы могут трансформироваться, их приоритетность и значимость для функционирования энергетики и экономики страны изменяется [5, 6].

С 2022 года резко изменилась ситуация на мировых энергетических рынках под воздействием санкций и различного рода ограничений на экспорт российских энергоресурсов и товаров. Под влиянием этих негативных факторов меняется приоритетность угроз надежному энергоснабжению, а значимость отдельных угроз усиливается.

Характеристика изменений в ТЭК России в современных условиях. Анализ современного состояния мировых энергетических рынков за последние три года показывает неблагоприятное положение дел с экспортом российских энергоресурсов:

- I. Ограничение экспорта:
 - а) природного газа (рис. 1);

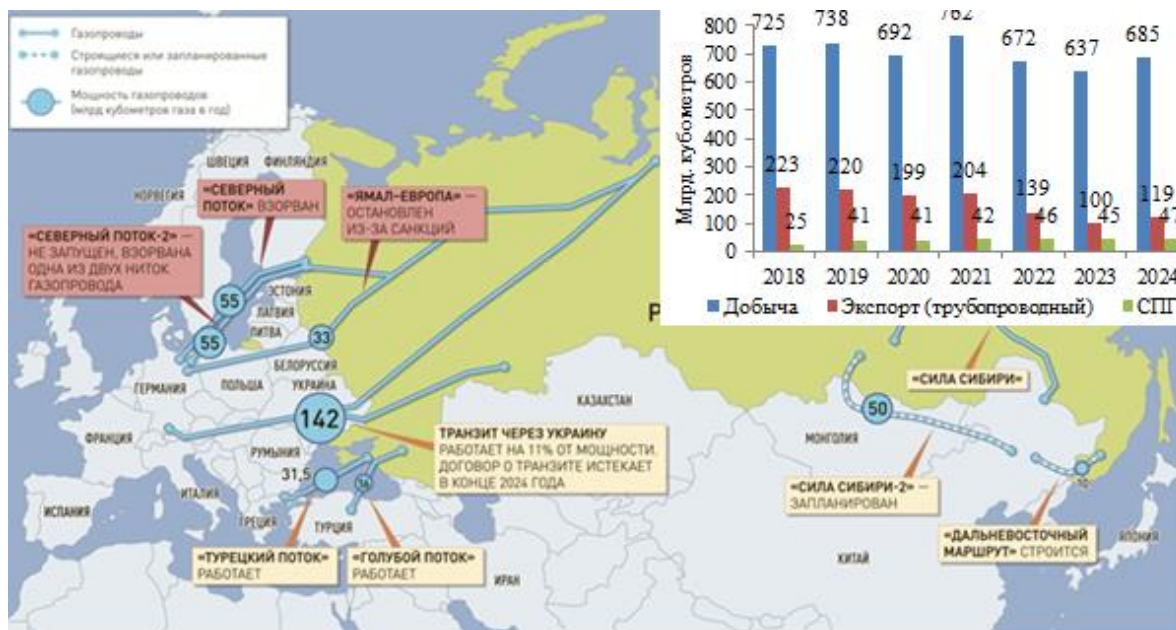


Рис. 1. Добыча, экспорт газа в 2018-2024 гг. [7, 8]

б) нефти (рис. 2);

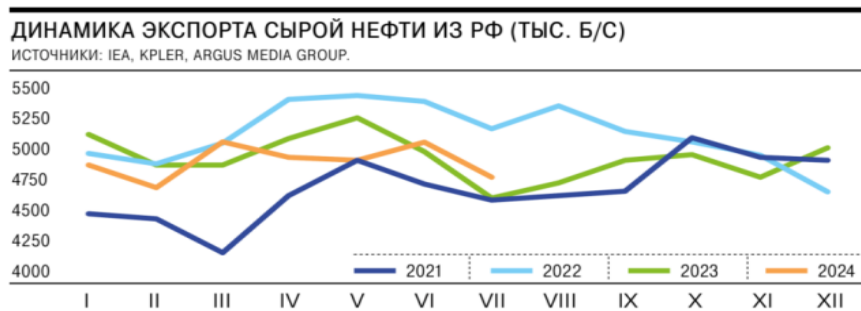


Рис. 2. Динамика экспорта нефти в 2021-2024 гг. [9]

в) угля (рис.3,4).



Рис. 3. Добыча и экспорт российского угля в 2010-2024 гг. [10]

В 2021 году российские угольные компании отправили на экспорт 216 млн тонн угля, из которых 125 млн тонн ушло на рынки АТР, 50 млн тонн – в Европу, 17 млн тонн – в СНГ, 6 млн тонн – в Северную Америку. В августе 2022 года вступило в силу европейское эмбарго на российский уголь. Существенно сократили/отказались от закупок угля из России полностью ряд стран АТР – Япония, Южная Корея, Тайвань, что создало риск недопоставок на внешние рынки еще для примерно 55 млн тонн в год.

Добыча угля в России по итогам 2023 года составила 438 млн тонн, экспорт достиг примерно около 200 млн тонн. В 2024 году добычу и экспорт сохраняется на уровне 440 млн тонн и 210–220 млн тонн соответственно (рис. 3).

Экспортерам удалось нарастить поставки в азиатские страны, в том числе за счет скидок, которые они предоставляли покупателям. В результате российские угольные компании заняли нишу на рынках АТР и являются конкурентоспособными поставщиками (рис. 4).



Рис. 4. Поставка угля на экспорт, внутренний рынок, импорт угля в 2020-2023 гг. [11]

В 2024 году угольные компании работали в условиях низких экспортных цен и высоких логистических затрат, что негативно сказалось на их работе. Удаленные от восточных портов угольщики Кузбасса сократили добычу в этом году на 5,6%, до 118,3 млн тонн. Отгрузка угля в июле сократилась на 12,5%, до 13,9 млн тонн [11].

II. Значительные трудности по импортозамещению для российских промышленных предприятий электроэнергетики, транспорта нефти и газа (долговременное воздействие) (рис. 5) [12, 13].

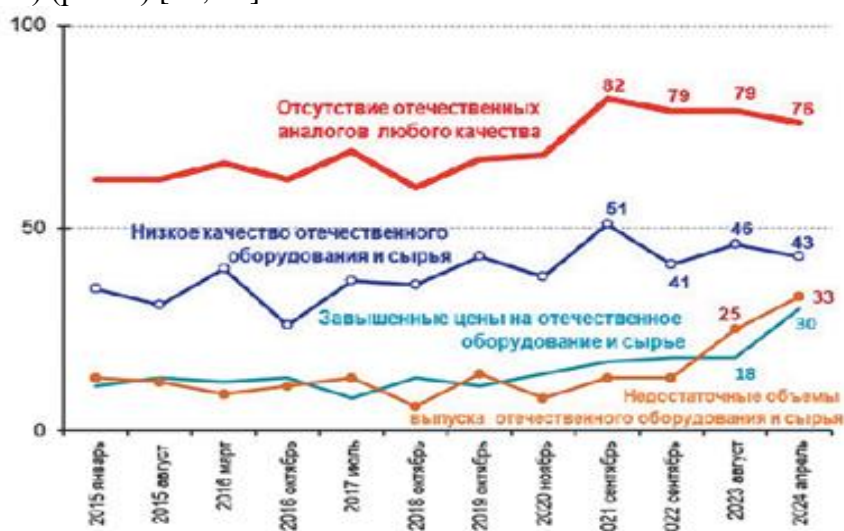


Рис. 5. Барьеры реализации импортозамещения для российских промышленных предприятий, % [13]

Электроэнергетика страны примерно на 80% зависима от импорта газовых турбин и компонентов к ним. Что касается паровых и гидравлических турбин, котлов, то доля западных компаний на энергетическом рынке РФ составляла около 30%. Электростанции на этом оборудовании вырабатывают около 70% электроэнергии страны, требуется поддержание его в рабочем состоянии. Снятия санкций в ближайшей перспективе не ожидается, поэтому, наряду с запуском программ импортозамещения, необходимо решать вопросы замены поставщиков оборудования.

Сохраняется тенденция недофинансирования отрасли и роста устаревшего парка оборудования. Эксперты оценивают износ оборудования и коммуникаций 60-70%. Создаются предпосылки к техногенным авариям. Препятствием к модернизации инженерных систем и комплексов является недостаток инвестиций.

III. Интенсификация ввода объектов возобновляемых источников энергии в европейских странах.

Сформировавшиеся за последние три года негативные тенденции на мировых энергетических рынках трансформируют стратегические угрозы энергетической безопасности, меняют их приоритетность и усиливают значимость некоторых угроз:

- усиление угрозы недостатка инвестиций в развитие энергетических отраслей – это происходит за счет снижения доли нефтегазовых доходов в бюджете страны (рис. 6). В 2023г. нефтегазовые доходы уменьшились в 2 раза по сравнению с 2022 годом. Незначительно увеличилась эта доля в 2024 году за счет роста цен на нефть;

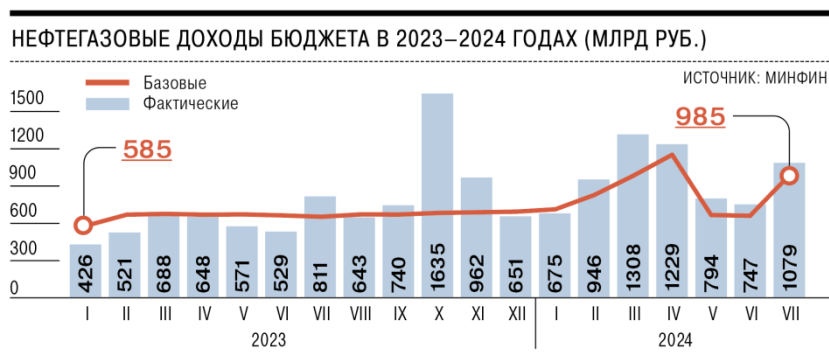


Рис. 6. Нефтегазовые доходы бюджета [14]

- задержку освоения и ввода в эксплуатацию новых нефтяных и газовых месторождений;
- затруднения по импортозамещению оборудования на объектах энергетики;
- увеличение сложностей в изменениях экспортных направлений энергоресурсов;
- негативная волатильность цен на уголь и влияние на спрос на уголь.

Модификация модели и программного комплекса ИНТЭК-А с учетом новых вызовов. Учет изменений в энергетических отраслях под влиянием внешних и внутренних факторов требует значительных усовершенствований в модельно-инструментальных средствах, которые могут применяться для исследований по оценке надежности энергоснабжения потребителей в условиях возможных нештатных ситуаций.

Для проведения подобных исследований модифицированы экономико-математическая модель развития и функционирования ТЭК с учетом требований ЭБ [15] и программный комплекс (ПК) ИНТЭК-А [16].

В модели представлены следующие уровни иерархии:

- технологический уровень – состоит из энергетических отраслей: газовой, угольной, нефтеперерабатывающей промышленности, электро- и теплоэнергетической отрасли, а также отдельно выделен потребительский блок, в котором представлены внутренние и экспортные потребители;

- территориальный уровень представлен федеральными округами страны;
- временной уровень модели – описывает функционирование энергетики в годовом режиме, развитие энергетики по периодам в 5 лет до 2035 г.

Результатом решения с использованием описанной модели являются: 1) оценка последствий возможных нештатных ситуаций в системах энергетики и ТЭК в виде дефицита энергоресурсов у потребителей, выявление «узких» мест в системах; 2) оценка вариантов развития отраслевых систем и ТЭК в целом с учетом соответствия требованиям надежности энергоснабжения.

Для формирования модели и возможных нештатных ситуаций используются:

- технико-экономические показатели работы электростанций, расходы топлива (газа, мазута, угля), электро- и тепло- энергии, отчетные данные по производству и потреблению промышленной продукции, отчетные данные Госкомстата;
- характеристики возможных угроз, которые могут реализоваться в виде нештатных ситуаций в отраслях ТЭК и СЭ [15].

Используя данные характеристики и показатели, формируются исходные условия для экспериментальных расчетов, которые проводятся с использованием модели оптимизации развития ТЭК с учетом фактора энергетической безопасности для оценки влияния той или иной угрозы на надежность энергоснабжения потребителей.

Разрабатываемый вариант модели учитывает следующие изменения (рис. 7):

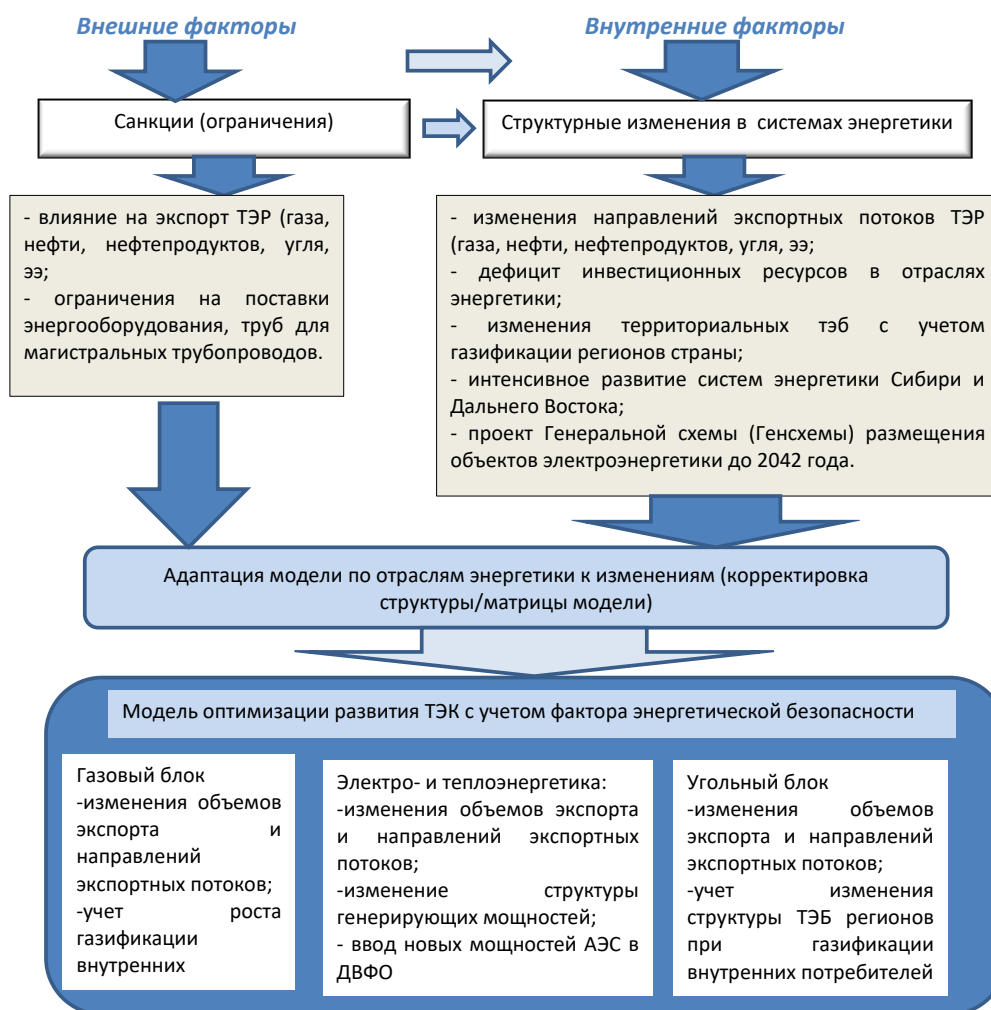


Рис. 7. Схема трансформации модели оптимизации развития ТЭК с учетом фактора энергетической безопасности

- переориентация экспорта топливно-энергетических ресурсов (газа, нефти, нефтепродуктов, угля, электроэнергии);
- учет интенсивной газификации регионов страны через модификацию блока потребителей;
- интенсивное развитие систем энергетики Сибири и Дальнего Востока;
- блок электро- и теплоэнергетики дополняется и модифицируется с учетом доработанного проекта Генеральной схемы (Генсхемы) размещения объектов электроэнергетики до 2042 года;
- введение инвестиционных составляющих в явном виде (дополнительных уравнений и переменных, описывающих удельные капиталовложения по всем технологическим этапам) – это затраты на реконструкцию, модернизацию действующих мощностей, затраты на вывод устаревшего оборудования, затраты на ввод новых мощностей предприятий.

Исследования по оценке реализации угроз проводятся на обновленном ПК ИНТЭК-А [16]. Веб-версия ПК ИНТЭК-А (ПК ИНТЭК-SAW) – это новая версия ПК, которая может использоваться для проведения исследований развития ТЭК в различных аспектах в on-line режиме. Расчёты выполняются при помощи решателя линейных оптимизационных моделей. ПК позволяет моделировать технологические и территориальные связи ТЭК, реализации угроз развитию ТЭК и мероприятия по недопущению или ликвидации последствий реализации угроз развития ТЭК. Последовательность работы с моделью и ПК ИНТЭК-SAW осуществляется по определенной схеме (рис.8).



Рис. 8. Блок-схема последовательности работы с моделью и ПК ИНТЭК-SAW

Для проверки адекватности и корректности, проводимых программных и модельных усовершенствований (корректировок) проведен тестовый экспериментальный расчет по оценке влияния снижения генерации ГЭС Сибири на надежное энергоснабжение потребителей.

Оценка влияния снижения генерации сибирских ГЭС на надежность снабжения потребителей с помощью модифицированных модели и ПК «ИНТЭК-SAW». В последнее время в Сибири, на Дальнем Востоке и южных районах России наблюдается рост

потребления электроэнергии и ее дефицит, связанный, в частности, с увеличением потребности в электроэнергии Центров обработки данных (майнингом) [17]. Поэтому для тестирования модели и модифицированного ПК ИНТЭК-SAW проведены экспериментальные расчеты по возможному снижению генерации ГЭС в Сибирском ФО и оценке возможных дефицитов.

При этом ставились следующие задачи:

- проверка адекватности модели и корректного описания моделируемых систем энергетики, соответствие технико-экономических показателей модели исходной информации;
- тестирование ПК ИНТЭК-SAW на достоверность получаемых результатов, отладка средств (табличных, графических) для проведения анализа получаемых результатов, их визуализация.

Анализ расчетов по сформированной ситуации со снижением генерации на ГЭС Сибирского федерального округа показал, что разработанная версия модели нуждается в корректировке блока электроэнергетики в части взаимосогласованной работы различных типов электростанций с учетом диверсификации их работы при ограничениях, вызванных реализацией возможных угроз.

Формальная оценка ситуации со снабжением электроэнергией потребителей показала, что возможное снижение выработки электроэнергии на ГЭС Сибирского ФО вызвала дефицит в отдельных регионах страны (рис. 9): Приволжском – 1,5%, Южном – 2,5%, Уральском – 1,2%, Сибирском – 19,5%.

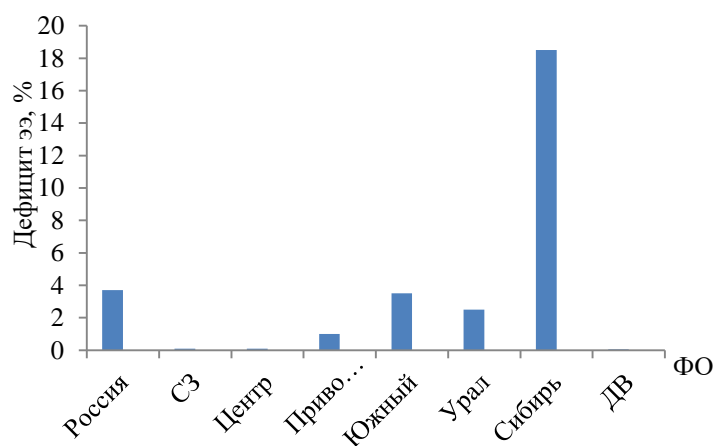


Рис. 9. Дефицит электроэнергии, в % от потребности

Анализ полученных результатов на версии модели показал дальнейшее направление по модификации модели, корректировке блока электро- и теплоэнергетики на основе статистических данных Госкомстата и разработанного проекта Генеральной схемы (Генсхемы) размещения объектов электроэнергетики до 2042 года.

Заключение. В статье выполнен анализ негативных тенденций текущей ситуации в энергетике России, влияющих на угрозы энергетической безопасности и их трансформацию. Приведена схема модификации существующей версии модели для исследований проблем энергетической безопасности с учетом влияния внешних и внутренних факторов изменения рынков энергоресурсов.

Новая версия модели учитывает следующие изменения:

- направления экспортных потоков топливно-энергетических ресурсов (газ, нефть, нефтепродукты, уголь, электроэнергия);

- влияние учета газификации регионов страны на изменение структуры территориальных топливно-энергетических балансов;
- интенсивное развитие энергосистем Сибири и Дальнего Востока;
- блок электро- и теплоэнергетики дополнен и изменен с учетом доработанного проекта Генеральной схемы (Генеральной схемы) размещения объектов электроэнергетики до 2042 года;
- введение инвестиционных составляющих в явном виде (дополнительных уравнений и переменных, описывающих удельные капиталовложения по всем технологическим этапам)

С учетом этих изменений проведен тестовый экспериментальный расчет для проверки адекватности модели и корректности описания моделируемых энергосистем, соответствия технико-экономических показателей модели исходной информации.

Вычислительные эксперименты проведены на новой версии ПК ИНТЭК-SAW с целью тестирования: на достоверность полученных результатов, для отладки аналитических средств (табличных, графических) при анализе полученных результатов, их визуализация.

Благодарности. Работа выполнена в рамках проекта государственного задания № FWEU-2021-0003 (рег. номер: АААА-А21-121012090014-5) Программы фундаментальных исследований РФ на 2021-2025 гг.

Список источников

1. Бушуев В.В. Энергетическая безопасность России / В.В. Бушуев, Н.И. Воропай, А.М. Мастепанов, Ю.К. Шафраник и др. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 1998. – 302 с.
2. Пяткова Н.И. Энергетическая безопасность России: проблемы и пути решения / Н.И. Пяткова и др.; отв. ред. Н.И. Воропай, М.Б. Чельцов; Рос. акад. наук, Сиб. Отд-ние, Ин-т систем энергетики им. Л.А. Мелентьева. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. – 198 с.
3. Сендеров С.М. Обеспечение энергетической безопасности России: выбор приоритетов / С.М. Сендеров, В.И. Рабчук, Н.И. Пяткова, и др.; отв. ред. С.М. Сендеров. Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т систем энергетики им. Л.А. Мелентьева. – Новосибирск: Наука, 2017. – 116 с. – ISBN 978-5-02-038735-5.
4. Доктрина энергетической безопасности Российской Федерации. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201905140010?index=0&rangeSize=1> (дата обращения: 16.05.2019).
5. Рабчук В.И. Стратегические угрозы энергетической безопасности России до 2030 г.: характер трансформации и приоритетные меры по минимизации последствий реализации / В.И. Рабчук, С.М. Сендеров // Известия РАН. Энергетика, 2019. – № 1. – С. 50-58.
6. Сендеров С.М., Рабчук В.И. Ожидаемые направления и масштабы трансформации стратегических угроз энергетической безопасности России в ближайшей и среднесрочной перспективе // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Вып. 71. Надежность энергоснабжения потребителей в условиях их цифровизации, 2020. – С.49-59.
7. Тихонов С. Эксперты: Россия сможет компенсировать потерю газового рынка ЕС уже к 2030 году / С.Тихонов // Российская газета – Федеральный выпуск: №221(9463) 01.10.2024. – URL: <https://rg.ru/2024/09/26/eksperty-rossiya-mozhet-kompensirovat-poteriu-gazovogo-rynka-es-uzhe-k-2030-godu.html>.
8. Белогорьев А. Перспективы экспорта российского газа. / А.Белогорьев // Энергетическая политика, 2023. – 11(190). – С.42-54.
9. Едовина Т. Меньше, но дороже. Экспорт нефти из РФ потерял в объеме, но вырос в деньгах / Т.Едовина // Газета «Коммерсантъ» №145 от 14.08.2024
10. Министерство энергетики РФ. Поставки российского угля. – URL: <https://minenergo.gov.ru/industries/coal/main-indicators/russian-coal-supplies>.
11. Зайнуллин Е. Кокс под запретом / Е. Зайнуллин // Газета «Коммерсантъ», 2024. – №185.
12. Башкатова А. Отечественным производителям не хватило отечественного / А. Башкатова // Независимая газета, 2024. – №106(9021).
13. ИНП РАН. Российская промышленность в мае 2024: обзор. – М.: ИНП РАН, 2024.
14. Вислогузов В. Июль добавил триллион / В. Вислогузов // Газета «Коммерсантъ», 2024. – №139.
15. Сендеров С.М. Надежность топливо- и энергоснабжения потребителей с позиций обеспечения энергетической безопасности/ С.М. Сендеров и др. // ИСЭМ СО РАН. – Новосибирск: СО РАН, 2022. – 132 с.

16. Пяткова Н.И. Технология вычислительного эксперимента в исследованиях работы энергетических отраслей при реализации угроз энергетической безопасности / Н.И. Пяткова, А.Г., Массель Т.Г. Мамедов // Информационные и математические технологии в науке и управлении, 2021. – №3(23). – С. 62-71.
17. Сергеев М. Летом энергетикам мешала жара, а зимой – майнеры / М. Сергеев // Независимая газета, 2024. – №215(9130).

Пяткова Наталья Ивановна. Старший научный сотрудник ИСЭМ СО РАН, кандидат технических наук. Область научных интересов: разработка и применение математических моделей для исследований развития и функционирования ТЭК с учетом факторов энергетической безопасности. AuthorID: 417598, SPIN: 5513-5044, ORCID: 0000-0001-7751-1130, nata@isem.irk.ru. Россия, Иркутск, Лермонтова, д.130.

Мамедов Тимур Габилевич. Младший научный сотрудник ИСЭМ СО РАН. AuthorID: 1040958, SPIN: 2011-2120, Scopus AuthorID: 58026460700, ORCID: 0000-0002-3396-5074, mamedowtymur@yandex.ru. Россия, Иркутск, Лермонтова, д.130.

UDC 004.8:620.9

DOI:10.25729/ESI.2025.40.4.010

Features of the threats impact study on the energy supply reliability in modern conditions

Natalia I. Pyatkova, Timur G. Mamedov

Melentiev Energy systems institute of SB RAS,

Russia, Irkutsk, nata@isem.irk.ru

Abstract. The relevance of studying threats to energy security in modern conditions is increasing and imposes new requirements on models and tools for conducting research on analyzing the impact of threats to the normal functioning and development of energy industries and ensuring reliable energy supply to consumers. Taking into account external and internal factors forms the requirements for the applied models and tools for conducting research on assessing the impact of threats on the energy supplies reliability to consumers. The article presents a description of the factors taken into account in the model, a diagram of working with the model and a test example.

Keywords: energy security, energy supply reliability, threats to energy security, economic and mathematical model

Acknowledgments. The work was carried out within the framework of the state assignment project No. FWEU-2021-0003 (reg. number: AAAA-A21-121012090014-5) of the Fundamental Research Program of the Russian Federation for 2021-2030.

References

1. Bushuev V.V., Voropai N.I., Masterpanov A.M., Shafranik Yu.K. et al. Energeticheskaya bezopasnost' Rossii [Energy Security of Russia]. Novosibirsk, Nauka. Sibirskaya izdatel'skaya firma RAN [Nauka. Siberian Publishing Firm of RAS] Publ., 1998, 302 p.
2. Pyatkova N.I., et al. Energeticheskaya bezopasnost' Rossii: problemy i puti resheniya [Energy Security of Russia: Problems and Solutions]. Ed. by N.I. Voropai, M.B. Chel'tsov. Novosibirsk, Izdatel'stvo SO RAN [SB RAS Publishing House] Publ., 2011, 198 p.
3. Senderov S.M., Rabchuk V.I., Pyatkova N.I. [et al.]. Obespecheniye energeticheskoy bezopasnosti Rossii: vybor prioritetov [Ensuring Russia's Energy Security: Priority Selection]. Ed. by S.M. Senderov. Novosibirsk, Nauka [Science] Publ., 2017, 116 p. ISBN 978-5-02-038735-5.
4. Doktrina energeticheskoy bezopasnosti Rossiyskoy Federatsii [Energy Security Doctrine of the Russian Federation], available at: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201905140010?index=0&rangeSize=1> (accessed: 05/16/2019).
5. Rabchuk V.I., Senderov S.M. Strategicheskiye ugrozy energeticheskoy bezopasnosti Rossii do 2030 g.: kharakter transformatsii i prioritetye mery po minimizatsii posledstviy realizatsii [Strategic threats to Russia's energy security until 2030: the nature of transformation and priority measures to minimize the consequences of their realization]. Izvestiya RAN. Energetika [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering], 2019, no. 1, pp. 50-58.

6. Senderov S.M., Rabchuk V.I. Ozhidayemyye napravleniya i masshtaby transformatsii strategicheskikh ugroz energeticheskoy bezopasnosti Rossii v blizhayshey i srednesrochnoy perspektive [Expected directions and scale of transformation of strategic threats to Russia's energy security in the near and medium term]. Metodicheskiye voprosy issledovaniya nadezhnosti bol'shikh sistem energetiki: Vyp. 71. Nadezhnost' energosnabzheniya potrebiteley v usloviyakh ikh tsifrovizatsii [Methodological issues of research on the reliability of large energy systems: Issue 71. Reliability of consumer energy supply in the context of their digitalization], 2020, pp. 49-59.
7. Tikhonov S. Eksperty: Rossiya smozhet kompensirovat' poteryu gazovogo rynka ES uzhe k 2030 godu [Experts: Russia will be able to compensate for the loss of the EU gas market by 2030]. Rossiyskaya gazeta – Federal'nyy vypusk [Russian Newspaper – Federal Issue], 2024, no. 221(9463). Available at: <https://rg.ru/2024/09/26/eksperty-rossiia-mozhet-kompensirovat-poteriu-gazovogo-rynka-es-uzhe-k-2030-godu.html> (accessed: 10/01/2024).
8. Belogor'ev A. Perspektivy eksporta rossiyskogo gaza [Prospects for Russian gas exports]. Energeticheskaya politika [Energy Policy], 2023, no. 11(190), pp. 42-54.
9. Edovina T. Men'she, no dorozhe. Eksport nefiti iz RF poteryal v ob'eme, no vyros v den'gakh [Less, but more expensive. Russian oil exports lost in volume but grew in money]. Gazeta “Kommersant”, 2024, no. 145.
10. Ministerstvo energetiki RF. Postavki rossiyskogo uglya [Ministry of Energy of the Russian Federation. Supplies of Russian coal], available at: <https://minenergo.gov.ru/industries/coal/main-indicators/russian-coal-supplies> (accessed: [add access date]).
11. Zaynullin E. Koks pod zapretom [Coke under ban]. Gazeta “Kommersant”, 2024, no. 185.
12. Bashkatova A. Otechestvennym proizvoditelyam ne khvatilo otechestvennogo [Domestic producers lacked domestic products]. Nezavisimaya gazeta [Independent Newspaper], 2024, no. 106(9021).
13. INP RAN. Rossiyskaya promyshlennost' v maye 2024: obzor [Russian Industry in May 2024: Review]. Moscow, INP RAN [Institute for National Economic Forecasting of RAS] Publ., 2024.
14. Visloguzov V. Iyul' dobavil trillion [July added a trillion]. Gazeta “Kommersant”, 2024, no. 139.
15. Senderov S.M. [et al.]. Nadezhnost' toplivo- i energosnabzheniya potrebiteley s pozitsiy obespecheniya energeticheskoy bezopasnosti [Reliability of fuel and energy supply to consumers from the standpoint of ensuring energy security]. Novosibirsk, ISEM SO RAN [Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences] Publ., 2022, 132 p.
16. Pyatkova N.I., Massel' A.G., Mamedov T.G. Tekhnologiya vychislitel'nogo eksperimenta v issledovaniyakh raboty energeticheskikh otrasley pri realizatsii ugroz energeticheskoy bezopasnosti [Technology of computational experiment in studies of the energy sectors' operation under the realization of energy security threats]. Informatsionnyye i matematicheskiye tekhnologii v nauche i upravlenii [Information and Mathematical Technologies in Science and Management], 2021, no. 3(23), pp. 62-71.
17. Sergeyev M. Letom energetikam meshala zhara, a zimoy – maynery [In summer, energy workers were hindered by heat, in winter – by miners]. Nezavisimaya gazeta [Independent Newspaper], 2024, no. 215(9130).

Pyatkova Natalia Ivanovna. Senior Researcher at the Institute of Economics and Management SB RAS, PhD in Engineering. Research interests: development and application of mathematical models for studying the development and operation of the fuel and energy complex, taking into account energy security factors. AuthorID: 417598, SPIN: 5513-5044, ORCID: 0000-0001-7751-1130, nata@isem.irk.ru Russia, Irkutsk, Lermontov St., 130.

Mamedov Timur Gabilovich. Junior Researcher at the Institute of Economics and Management SB RAS. AuthorID: 1040958, SPIN: 2011-2120, Scopus AuthorID: 58026460700, ORCID: 0000-0002-3396-5074, mamedowtimur@yandex.ru. Russia, Irkutsk, Lermontov St., 130.

Статья поступила в редакцию 12.07.2025; одобрена после рецензирования 17.09.2025; принята к публикации 04.10.2025.

The article was submitted 07/12/2025; approved after reviewing 09/17/2025; accepted for publication 10/04/2025.