

ЦЕЛИ И СПОСОБЫ ОЦЕНКИ ПОРОГОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ ИНДИКАТОРОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ПРОГНОЗАХ¹

КОНОНОВ Юрий Дмитриевич, д.э.н., профессор, kononov@isem.irk.ru,
Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

В статье рассматривается возможность повышения значимости долгосрочных прогнозов развития ТЭК путем учета влияния различных его вариантов на энергетическую безопасность (ЭБ). Для такой оценки возможно использовать комплексный показатель, характеризующий степень отклонения отдельных индикаторов ЭБ от их пороговых значений. Предлагаются индикаторы, характеризующие экономический аспект ЭБ, состав которых зависит от рассматриваемой перспективы. Рассматриваются разные способы определения предельно допустимых численных значений индикаторов. Приводятся результаты экспериментальных расчетов, показывающие взаимозависимость этих значений. Демонстрируется, что индикативному анализу порогов должны предшествовать оценка стратегических угроз ЭБ и выявление коридора устойчивости динамики основных прогнозируемых показателей.

Ключевые слова: прогнозирование, топливно-энергетический комплекс, энергетическая безопасность, индикативный анализ, стратегические угрозы, макроэкономика.

DOI: 10.47711/0868-6351-202-105-115

Понятие энергетической безопасности (ЭБ) имеет более общий и более широкий смысл, чем понятие надежности и живучести систем энергетики. В отличие от них, ЭБ не столько атрибут самой энергетики, сколько экономики, общества, государства [1].

Серьезное внимание разработке подходов к оценке и формированию устойчивого развития энергетики с точки зрения энергобезопасности начало уделяться еще в кризисные 1990-е годы. Научные наработки по этой проблеме были обобщены в двух монографиях [1; 2]. В них устойчивое и надежное функционирование ТЭК рассматривалось как главное условие обеспечения экономической и национальной безопасности. Однако задачи мониторинга состояния ЭБ и ее комплексной количественной оценки только ставятся [3; 4].

Оценки состояния энергобезопасности базируются на использовании различных индикаторов и индексов. Первые отражают отдельные стороны ЭБ, а вторые – являются ее комплексными характеристиками. Эти комплексные показатели могут состоять из двух-трех уровней, на каждом из которых индикаторы объединяются в группы с разными весами [5-7]. В качестве примера в табл. 1 показаны структура и состав индикаторов одного из широко используемых за рубежом (в том числе, для межстрановых сравнений) показателя – Индекса энергетической Трилеммы (World Energy Trilemma Index – WETI) [8].

В новых, меняющихся условиях все более актуальной становятся не только оценка текущего состояния ЭБ, но и комплексная характеристика и сравнение прогнозируемых вариантов развития ТЭК по критерию ЭБ.

В Доктрине энергетической безопасности Российской Федерации², утвержденной Президентом РФ в мае 2019 г., при мониторинге и систематической оценке состояния энергетической безопасности предлагается использовать систему индикаторов и отслеживать их отклонение от задаваемых предельно допустимых значений.

¹ Статья подготовлена в рамках проекта государственного задания (№ FWEU-2021-0003 рег. № АААА-А21-121012090014-5) программы фундаментальных исследований РФ на 2021-2030 гг.

² Доктрина энергетической безопасности Российской Федерации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201905140010>

Таблица 1

Структура Trilemma Index, используемого Мировым энергетическим Советом для комплексной оценки устойчивости энергетики отдельных стран

Категория индикаторов	Индикатор	Вес, %
Энергетическая безопасность (30%)	Разнообразие источников энергоснабжения	6,0
	Импортная зависимость	6,0
	Разнообразие способов генерации электроэнергии	6,0
	Хранение энергии	6,0
	Стабильность системы и способность к восстановлению	6,0
Энергетическое равенство (30%)	Доступность электроэнергии	6,0
	Доступность чистого пищевого приготовления	6,0
	Доступность «современной энергии»	6,0
	Доступность электроэнергии для населения	3,0
	Цена на электроэнергию	3,0
	Цены на моторное топливо	3,0
	Цены на газ	3,0
Экологическая устойчивость энергетики (30%)	Энергоемкость по конечному потреблению энергии	5,0
	Эффективность генерации электроэнергии	4,0
	Тенденция выбросов CO ₂	4,0
	Карбоноемкость	2,0
	Эмиссия CO ₂ на душу населения	1,0
	Эмиссия метана на душу населения	1,0
	Низкоуглеродная генерация электроэнергии	5,0
	Загрязнение окружающей среды (PM 2,5, PM 10)	8,0
Особенности страны (10%)	Макроэкономическая стабильность	2,0
	Эффективность государственного управления	1,0
	Политическая стабильность	1,0
	Верховенство закона	1,0
	Качество регулирования	1,0
	Возможности для инноваций	0,5
	Иностранные инвестиции (прямой поток)	1,0
	Восприятие коррупции	0,5
	Простота ведения бизнеса	1,0
	Защита интеллектуальной собственности	0,5
	Эффективность правовой базы и нормативных актов	0,5

Источник: [8].

Примечание. Ссылка на индекс Трилемма содержится в Энергетической стратегии Российской Федерации до 2035 года³. Отмечается, что в 2018 г. по рейтингу Мирового энергетического Совета Россия была на 42 месте (из 125 стран) и что: «показателем решения задачи повышения эффективного участия в глобальной энергетической повестке является повышение этого рейтинга к 2035 г. до 20-30».

Пороговые значения показателей, характеризующие критический уровень угроз национальной, экономической и энергетической безопасности, используются на разных уровнях управления. Это важный инструмент системного анализа, прогнозирования и социально-экономического планирования [9].

На необходимость разработки количественно измеряемых пороговых значений индикаторов было указано еще в Государственной стратегии экономической безопасности России, утвержденной в 1996 г. В ней говорилось о необходимости разработки количественных и качественных параметров (пороговых значений) состояния национальной экономики, выход за пределы которых обозначает угрозу для экономической безопасности страны.

Наиболее часто используемая в отечественной литературе трактовка термина «пороговые значения экономической безопасности» определяет их как предельные величины, несоблюдение которых препятствует нормальному развитию экономики и социальной сферы и приводит к формированию разрушительных тенденций в области не только производства, но и потребления [9]. Достижение или превышение порогового

³ Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. М., Минэнерго России. 93 с. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026>

значения индикативного показателя экономической безопасности рассматривается как переход по данному показателю в область большой, в том числе, неприемлемой, опасности, нарушения нормального функционирования экономической системы.

Методические подходы к определению пороговых значений индикаторов экономической безопасности должны учитывать следующие факторы [10]: конкретные исторические условия развития; обострение проблем национальной безопасности в период кризисов и структурных преобразований; подвижность критериев и параметров национальной безопасности, их зависимость от уровня развития производительных сил, страновые различия; совокупность разных показателей, характеризующих состояние социально-экономической ситуации.

По аналогии с трактовками пороговых значений экономической безопасности, под пороговыми значениями энергетической безопасности можно понимать такие предельные значения показателей ЭБ, нарушение которых затрудняет устойчивое функционирование и развитие энергетики и экономики страны и может привести к формированию разрушительных тенденций в производстве и потреблении энергоносителей. С достижением пороговых значений система не перестает функционировать, но переходит в зону нестабильности, в которой велика вероятность чрезвычайных ситуаций.

В России теория и практика индикативного анализа ЭБ с использованием оценки пороговых значений отдельных индикаторов наиболее полно отражена в работах ИСЭМ СО РАН. В монографии 2022 г. [11] пороговыми называются такие значения показателей ЭБ, превышение или переход через которые (в общем случае – негативное отклонение от которых) признается сигналом опасности – реальной угрозы серьезного нарушения (опасного ослабления) надежности топливо- и энергоснабжения страны или отдельного региона.

В Методических рекомендациях по оценке состояния ЭБ России на федеральном уровне, разработанных в 2013 г. [12], при мониторинге этого состояния рекомендуется с определенной периодичностью пересматривать используемую систему индикаторов, а их численные значения сравнивать с задаваемыми предельно допустимыми пороговыми значениями. По степени отклонения отдельных индикаторов или их совокупности (свертки) от их пороговых значений состояние ЭБ определяется как нормальное, предкризисное или кризисное.

В качестве примера в табл. 2 приведены некоторые индикаторы и их пороговые значения, рекомендуемые в [13] для оценки текущего состояния ЭБ.

Эти показатели определялись для 2017 г. на основе анализа данных статистики за предшествующие десять лет. Так, значение индикатора «Выполнение инвестиционных программ отраслями ТЭК» было определено как предкризисное, если отношение фактического объема инвестиций к плановому составит 0,9 и как кризисное – при 0,8. Пороговое значение индикатора динамики средних по стране цен на газ в этот период рассматривалось как предкризисное, если их годовой прирост превышает 5% без учета инфляции. Кризисное значение соответствует повышению цен на 10%.

В [11] приводится перечень из 29 индикаторов, характеризующих надежность топливо- и энергоснабжения потребителей, и дана предварительная оценка их пороговых значений. Представляется, что в прогнозных исследованиях ТЭК этот состав индикаторов, с одной стороны, избыточный, а с другой – недостаточный для характеристики экономического и экологического аспектов ЭБ [14]. Следует отметить, что в структуре комплексных индексов, используемых за рубежом для характеристики состояния ЭБ страны, доля экономической составляющей – 25-30%.

Таблица 2

Пример предлагавшихся пороговых значений индикаторов энергетической безопасности России на федеральном уровне

Индикатор	Пороговое значение, %		Нормальный уровень по отношению к порогу
	Предкризисное	Кризисное	
Отношение годового прироста балансовых запасов ТЭР к объему их добычи (раз)	1,6	1,4	Не менее
Доля природного газа в балансе ТЭР	50,0	55,0	Не более
Динамика уровня цен внутри страны на основные виды ТЭР, годовой прирост:			
для всех видов топлива	1,0	3,0	Не выше (исключая инфляцию)
для газа	5,0	10,0	
Выполнение инвестиционных программ:			
в электроэнергетике	80,0	70,0	Не менее
в газовой отрасли	85,0	75,0	
Относительное изменение (требуемое снижение) энергоемкости ВВП	3,0	2,0	Не менее
Стабильность (недопоставка) обеспечения потребителей разными видами ТЭР	0,2	0,4	Не более

Источник: обобщение материалов [13].

Представляется, что состав используемых индикаторов ЭБ должен зависеть от рассматриваемой перспективы. С увеличением горизонта прогнозирования меняется число и значимость отдельных индикаторов.

Возможный состав некоторых индикаторов для комплексной оценки состояния ЭБ в прогнозных исследованиях ТЭК России показан в табл. 3. При его формировании учитывались: меняющиеся цели прогнозных исследований, зарубежный опыт и российские особенности (в том числе, независимость от импорта энергоресурсов).

Таблица 3

Возможный состав основных индикаторов для комплексной оценки вариантов прогноза развития ТЭК по состоянию ЭБ

Показатель	Индикаторы	Перспектива		
		до 5-7 лет	до 10-15 лет	более 15-20 лет
Экономические	Энергоемкость ВВП	+	+	+
	Доля в ВВП затрат на потребляемую энергию	+	+	+
	Душевое потребление ТЭР	+	+	
	Душевое потребление электроэнергии	+	+	
	Затраты на энергию и топливо в расходах населения	+		
	Цены на электроэнергию	+	+	+
	Динамика цен на топливо	+	+	
	Доля энергетического экспорта в ВВП	+		
	Отношение прироста запасов ТЭР к их добыче	+		
Экологические	Доля ТЭК в ВВП	+		
	Доля ТЭК в общих капиталовложениях	+		
	Карбоноемкость экономики	+	+	+
	Эмиссия CO ₂ от электростанций	+	+	+
Технологические	Доля безуглеродной генерации	+	+	
	Эмиссия CO ₂ на душу населения	+	+	
	Износ основных производственных фондов в отраслях ТЭК	+	+	
	Удельный расход топлива на электростанциях	+	+	
	Доля распределенной генерации	+	+	
Резервные мощности электростанций	+			

Примечание. Целесообразность использования того или иного индикатора при конструировании обобщенного индекса ЭБ отмечена знаком плюс. Эти индикаторы характеризуют в основном экономическую составляющую ЭБ.

Источник: предложение автора.

Для оценки и сравнения вариантов развития ТЭК по критерию ЭБ при задаваемых (ожидаемых) пороговых значениях индикаторов ЭБ можно использовать следующий комплексный индекс:

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

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

При численной оценке перспективных пороговых значений некоторых индикаторов ЭБ, относящихся в прогнозных расчетах к исходным данным, можно ориентироваться на имеющиеся директивные документы стратегического планирования и на целевые установки, определяемые энергетической стратегией и долгосрочной государственной энергетической политикой. Так, например, в Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 года, утвержденной Правительством РФ в 2020 г., приводятся такие предельные показатели: общие выбросы парниковых газов в 2035 г. – 70-75% по отношению к выбросам 1990 г.; поддержание установленной мощности электростанций – в диапазоне 251-264 ГВт; инвестиции в основной капитал ТЭК – на 80-100% выше уровня 2018 г.; снижение удельного расхода топлива на отпуск электроэнергии – на 17%; коэффициент воспроизводства запасов нефти должен быть не ниже единицы.

Полезным в определении некоторых пороговых значений индикаторов ЭБ может быть выявление устойчивых границ в динамике энергетики и экономики. Наглядным примером может служить так называемая константа Башмакова [15]. В его исследовании обнаружено, что, если в какой-либо стране объем расходов на все энергоносители, отнесенный к ВВП, больше 10-11%, то экономика этой страны будет терять способность к быстрому экономическому росту. Если эта пропорция ниже 8%, то практически гарантировано, что в такой экономике не сможет быстро повышаться энергоэффективность, потому что энергетический ресурс обходится очень дешево. Отношение расходов на энергию к ВВП как маятник колеблется в узком диапазоне с верхней границей, близкой к 10-11%, и нижней – близкой к 7-8%. Согласно анализу А. Конопляника [16], этот диапазон на длительных отрезках времени характерен как для стран-импортеров, так и стран-экспортеров энергоресурсов и проявляется не только в энергетике в целом, но и в отдельных ее секторах. Потеря устойчивости экономического роста при превышении константы Башмакова подтверждается анализом статистических данных разных стран. Результаты такого анализа, например, в США приведены в [17].

При определении пороговых значений рассматриваемых индикаторов важен анализ тенденций их изменения (с учетом их связи с условиями развития экономики и энергетики). Ориентиром может быть верхняя граница колебания показателя – среднеквадратичное отклонение от тренда (σ). При этом за его пороговое значение можно принимать, например, отклонение на 2σ .

Важным методическим инструментом численной оценки пороговых значений многих определяемых в прогнозах индикаторов ЭБ являются оптимизационные модели ТЭК, его отраслевых систем и макроэкономики. Они позволяют определять влияние на используемый критерий оптимальности (функционал модели) изменения исходных и искомых показателей в заданных условиях и требованиях сбалансированного развития. В зависимости от целей и объекта прогнозных исследований функционалом могут быть, например, минимум стоимости энергоснабжения или максимум ВВП. При этом, однако, возникает проблема определения допустимых границ изменения самого этого критерия.

Прогнозные исследования развития ТЭК и входящих в него отраслевых систем требуют рассмотрения нескольких сценариев и множества вариантов. Результаты

многовариантных расчетов позволяют сформировать расширяющийся во времени «конус неопределенности» возможной динамики отдельных ключевых показателей. Его границы могут давать представление о пороговых значениях некоторых индикаторов ЭБ.

В качестве иллюстрации применения такого подхода ниже приводится упрощенная оценка порогового значения стоимости электроэнергии – одного из важных индикаторов, используемых (с высоким весом) во всех зарубежных комплексных оценках состояния ЭБ.

Рассматривались четыре возможных сценария электроснабжения Европейской части РФ и Урала при разных ценах на газ для электростанций и разных штрафах за выбросы CO₂. Потребности в электроэнергии и ограничения на мощности новых электростанций принимались с ориентировкой на базовый вариант «Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики до 2035 года»⁴, утвержденной Правительством РФ в 2017 г.

Расчеты проводились на модели МИСС-ЭЛ [18], сочетающей оптимизацию развития региональных систем энергоснабжения с методом Монте-Карло [19]. Другая особенность модели (компьютерной программы) – возможность задания всех исходных данных и ограничений интервалами их вероятных значений. Эти особенности позволяют получать и обобщать множество (сотни) сбалансированных вариантов по критерию минимума затрат на электроснабжение рассматриваемой территории. Результаты расчетов показаны в табл. 4; 5.

Удорожание газа и штрафы за выбросы CO₂ влияют на рациональную структуру ввода мощностей электростанций и производства электроэнергии. Увеличивается роль относительно дорогих возобновляемых источников энергии и АЭС. Соответственно растут средняя и маргинальная стоимость генерации. Последняя характеризует стоимость 1 кВт·ч на электростанциях, замыкающих баланс электроэнергии. В рыночной экономике маргинальная, а не средняя стоимость является основой формирования цены электроэнергии (с учетом сетевых и прочих надбавок).

Таблица 4

Влияние на стоимость электроэнергии изменения условий развития региональных систем энергоснабжения, в % к базовому варианту

Сценарий	Европейская часть РФ				Урал
	Северо-Запад	Центр	Поволжье	Юг	
Базовый	100	100	100	100	100
Цена газа выше на 25%	103(106)	107(108)	105(106)	105(102)	109(113)
Штраф за эмиссию CO ₂ 20 долл./т	103(106)	106(107)	107(102)	105(104)	117(120)
Штраф за эмиссию CO ₂ 40 долл./т	110(112)	116(114)	112(103)	112(106)	131(140)

Примечание. Результаты экспериментальных расчетов на перспективу 2035 г. при среднегодовых темпах прироста ВВП – 2,6% и при нормальном распределении всех исходных данных внутри заданных интервалов неопределенности. Показаны отношения к данным базового сценария средневзвешенной и маргинальной (в скобках) стоимости производства и межрегионального транспорта электроэнергии.

Источник: результаты экспериментальных расчетов автора на модели МИСС-ЭЛ.

В табл. 4 видны заметные региональные различия в реакции изменения стоимости электроэнергии на изменение сценарных условий. Так, максимальное отклонение средней стоимости от его значения в базовом сценарии составляет: в Северо-Западном регионе (энергосистеме) – 10%, в Центральном регионе – 16%, на Урале – 31%. Эти отклонения (верхняя и нижняя граница диапазона неопределенности) могут

⁴ Генеральная схема размещения объектов электроэнергетики до 2035 года. 80 с. URL: <http://static.government.ru/media/files/zzvuhfq2f3OJK8AzKV5XrGlbW8ENGp.pdf>

служить ориентиром для численной оценки возможных пороговых значений стоимости электроэнергии в рассматриваемых прогнозных условиях 2035 г. (табл. 5).

Таблица 5

Пороговые значения стоимости генерации электроэнергии, цент/кВт·ч

Стоимость	Нижняя граница		Верхняя граница	
	Европейская часть РФ	Урал	Европейская часть РФ	Урал
Средняя	7,1	6,6	8,6	8,4
Маржинальная	8,4	7,1	9,9	9,7

Примечание. Обобщение результатов оценки четырех сценариев. Стоимость электроэнергии по курсу рубля 2020 г. Нижняя граница соответствует условиям базового сценария, верхняя – сценария со штрафом 40 долл./т CO₂.

Источник: результаты экспериментальных расчетов автора на модели МИСС-ЭЛ.

Нарушение нижней границы пороговых значений может приводить к появлению дефицита мощностей во всех сценариях из-за снижения рентабельности инвестиций в новые электростанции. Превышение верхней границы негативно отразится на экономике потребителей электроэнергии и на макроэкономике в целом.

Очевидна условность приведенных численных оценок пороговых значений стоимости электроэнергии. При их определении не учитывались: ценовая эластичность спроса, влияние (через обратные связи) изменений в ТЭК на макроэкономику, способность энергетики и экономики к адаптации к стратегическим угрозам ЭБ.

Прогнозы вероятной динамики цен на электроэнергию с оценкой их пороговых значений при разных сценариях внешних и внутренних условий – важная самостоятельная задача. Для ее решения требуется более совершенный методический инструментарий и развитие методологии системных исследований.

При определении пороговых значений многих индикаторов важно учитывать их взаимозависимость. Ее демонстрирует рис. 1, построенный по результатам оценки возможных последствий предполагаемых штрафов за выбросы CO₂ от электростанций. Расчеты проводились на системе моделей [18], включая модель макродинамики.

Из этих экспериментальных расчетов следует, что, если заданное допустимое снижение ВВП не превышает 1%, то рост стоимости электроэнергии не должен быть выше ориентировочно 15%. Это требование означает, что штраф за эмиссию не может быть больше 30 долл./т CO₂, и что в этом случае пороговое значение, характеризующее снижение эмиссии этого парникового газа, не должно превышать 40%.

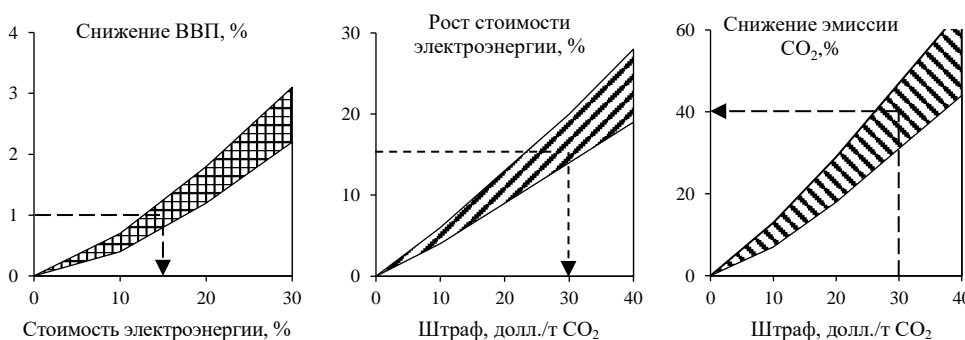


Рис. 1. Иллюстрация взаимозависимости индикаторов ЭБ и их пороговых значений

Примечание. Результаты экспериментальных расчетов при заданном допустимом снижении ВВП на 1%.

Численная оценка пороговых значений индикаторов ЭБ в кратко- и среднесрочной перспективе зависит от рассматриваемого сценария развития экономики и от соответствующих ему вариантов развития ТЭК. На нее так же оказывают влияние результаты выявления стратегических угроз. Их пороговые значения, в свою очередь, зависят от коридора устойчивости динамики ключевых показателей, определяемых в долгосрочных прогнозах (рис. 2).

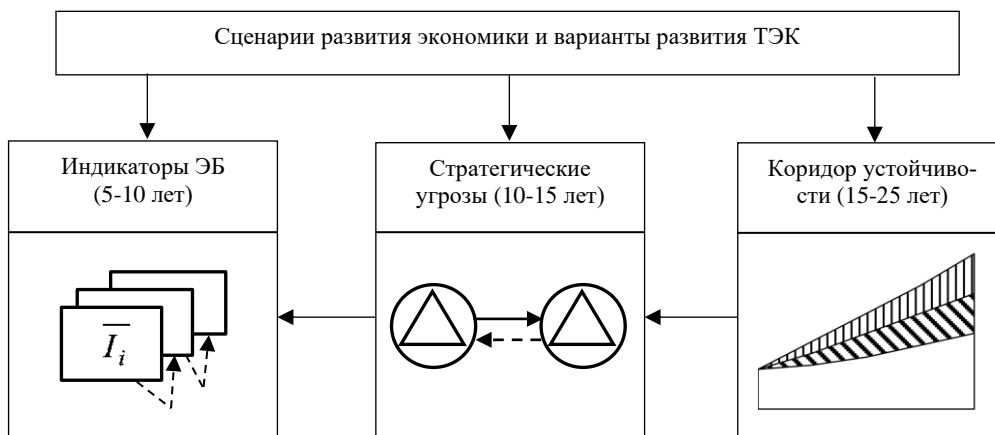


Рис. 2. Схема оценки и корректировки пороговых значений показателей ЭБ

Следует отметить, что с увеличением горизонта прогнозирования уменьшается как важность некоторых индикаторов, так и необходимость определения их пороговых значений. При этом снижается ценность количественных оценок будущего состояния ЭБ и большую роль начинает играть анализ устойчивости развития систем энергоснабжения и стратегических угроз. Среди них выделяются три взаимосвязанные угрозы: 1) дефицит мощностей в ТЭК (в том числе, из-за ограничения инвестиционных ресурсов); 2) неблагоприятная для развития производственной и социальной сферы динамика цен на энергоносители; 3) энергетический переход к низкоуглеродному развитию, порождающий серьезные экономические, геополитические и технологические риски. Численная оценка возможных негативных макроэкономических последствий этого перехода дана, например, в [20-23].

* * *

Развитие методологии и методов долгосрочного прогнозирования ТЭК в условиях трансформации энергетики должно сопровождаться исследованием и количественной оценкой (для разных временных периодов): новых тенденций во взаимосвязях энергетики, экономики и социальной сферы; изменения силы и значимости прямых и обратных связей между системами энергетики разного иерархического уровня; устойчивости этих систем к возможным стратегическим угрозам энергоснабжению страны и регионов.

Рассматриваемые в прогнозах ТЭК варианты развития предлагается оценивать не только по их экономической эффективности, но и по влиянию на стратегические угрозы энергетической и экономической безопасности. При этом важную роль может играть численная оценка пороговых значений индикаторов и индексов ЭБ.

Представляется, что методы анализа проблем ЭБ и рациональные способы численной оценки ее вероятного и допустимого состояния должны зависеть от рассматриваемой перспективы.

В долгосрочных прогнозах (более 10-15 лет) особое внимание должно уделяться выделению коридора объективных возможностей развития (конуса крайних стратегий) и определению наиболее устойчивых траекторий ключевых показателей, характеризующих достижение задаваемых целевых установок. Ими могут быть, например, стратегия выхода на траекторию углеродной нейтральности или достижение определенного высокого уровня энергетической безопасности.

В прогнозных исследованиях на перспективу 10-15 лет особенно важна задача выявления и анализа стратегических угроз ЭБ. Оценка их пороговых значений означает выявление неприемлемого и длительного макроэкономического или социального ущерба в случае реализации той или иной стратегии развития ТЭК. Этот ущерб можно выразить в снижении темпов ВВП и (или) в значительном увеличении роста стоимости электроэнергии в непродуцированной сфере.

В прогнозах на перспективу до 5-10 лет приоритетным является индикативный анализ энергобезопасности страны и регионов. Его итогом должен стать обобщающий индекс ЭБ. Он может формироваться не только в виде суммы разнозначимых индикаторов (как это делается в зарубежной практике), но и определяться с учетом отклонения их от задаваемых пороговых значений.

Пороговые значения индикаторов ЭБ пока, в основном, задаются экспертно. Но для принятия стратегических решений государственной важности и для повышения качества прогнозов нужны научно обоснованные численные оценки вероятности и значимости стратегических угроз ЭБ и характеризующих их предельно допустимых (критических) значений основных прогнозируемых показателей. При этом, как показывают приведенные результаты экспериментальных расчетов, надо учитывать их взаимозависимость.

Очевидно, что основным инструментарием системных исследований стратегических угроз ЭБ являются комплексы экономико-математических моделей, учитывающих взаимосвязи энергетики и экономики на разных иерархических уровнях. Примером может служить известный модельно-информационный комплекс SCANNER [24].

Представляется, что одной из значимых и еще нерешенных задач исследования проблем ЭБ является оценка функциональной зависимости пороговых значений показателей, характеризующих экономический аспект ЭБ, от сценариев социально-экономического развития страны, прогнозов научно-технического прогресса и других факторов.

Особого внимания заслуживает разработка методов оценки пороговых значений стоимости электроэнергии не только для ее производителей, но и для потребителей.

Литература / References

1. Бушуев В.В., Воронай Н.И., Мастепанов А.М. и др. *Энергетическая безопасность России*. Новосибирск: Наука, 1998. 302 с. [V.V. Bushuev, N.I. Voronai, A.M. Mastepanov, et al. *Energy security of Russia*. Novosibirsk: Nauka, 1998, 302 p. (In Russ.)]
2. *Безопасность России. Энергетическая безопасность (ТЭК и государство)*. М., МГФ «Знание». 2000. 304 с. [Security of Russia. *Energy security (the energy sector and the state)*. M., MGF Znanie. 2000. 304 p. (In Russ.)]
3. Мастепанов А.М. Проблемы обеспечения энергетической безопасности в новых геополитических условиях // *Энергетическая политика*. 2017. № 1. С. 20-37. [Mastepanov A.M. *Problems of energy security assurance under new geopolitical conditions* // *Energy Policy*. 2017. No. 1. Pp. 20-37. (In Russ.)]
4. Мастепанов А.М., Чигарев Б.Н. *The Energy Trilemma Index как оценка энергетической безопасности* // *Энергетическая политика*. 2020. № 8. С. 66-83. [Mastepanov A.M., Chigarev B.N. *The Energy Trilemma Index as a measure of energy security* // *Energy Policy*. 2020. No. 8. Pp. 66-83. (In Russ.)]
5. *Handbook on Constructing Composite Indicators: methodology and user guide* / OESD, 2018. 152 p. URL: <http://composite-indicators.jrc.ec.europa.eu/>
6. Augutis J., et al. *Integrated energy security assessment* // *Energy*. 2017. Vol. 138. Pp. 890-901.
7. *Index of U.S. Energy Security Risk (2018 Edition)* / Global Energy Institute, U.S. Chamber of Commerce, 2018. 92 p. URL: <https://www.globalenergyinstitute.org/sites/default/files/2019-07/us-energy-security-risk-2018.pdf>
8. WEC. *World Energy Trilemma Index 2020*. URL: <https://www.trilemma.worldenergy.org/reports/main/2020/2020%20Energy%20Trilemma%20Index.pdf>
9. Сенчагов В.К. *Экономическая безопасность России: общий курс, учебник*. М., Дело. 2005. 896 с. [Senchagov V.K. *Economic Security of Russia: A General Course, Textbook*. M., Delo. 2005. 896 p. (In Russ.)]

10. Попов А.И. Система индикаторов и пороговые значения экономической безопасности России // Экономическая теория: Учебник для ВУЗов. СПб., Питер, 2006. 544 с. С. 483-491. [Popov A.I. The system of metrics and thresholds of economic security of Russia. In *Economic Theory: Textbook for Higher Education Institutions*. St. Petersburg, Piter. 2006. 544 p. Pp. 483-491. (In Russ.)]
11. Сендеров С.М., Рабчук В.И., Крупнев Д.С. и др. Надежность топливо- и энергоснабжения потребителей с позиций обеспечения энергетической безопасности. Новосибирск. СО РАН. 2022. 132 с. [Senderov S.M., Rabchuk V.I., Krupnev D.S. et al. *Reliability of fuel and energy supply to consumers from the standpoint of energy security*. Novosibirsk. SB RAS. 2022. 132 p. (In Russ.)]
12. Методические рекомендации по оценке состояния энергетической безопасности Российской Федерации на федеральном уровне / Под ред. С.М. Сендерова. Иркутск. ИСЭМ СО РАН. 2013. 35 с. [Methodological guidelines for energy security performance assessment of the Russian Federation at the federal level / Ed. by S.M. Senderov. Irkutsk. ISEM SB RAS. 2013. 35 p. (In Russ.)]
13. Сендеров С.М., Рабчук В.И., Пяткова Н.И., Воробьев С.В. Обеспечение энергетической безопасности России: выбор приоритетов. Новосибирск. Наука. 2017. 116 с. [Senderov S.M., Rabchuk V.I., Pyatkova N.I., Vorob'ev S.V. *Ensuring Russia's energy security: setting priorities*. Novosibirsk. Nauka. 2017. 116 p. (In Russ.)]
14. Кононов Ю.Д., Кононов Д.Ю. Оценка и учет в прогнозных исследованиях экономического и экологического аспектов энергетической безопасности // Системные исследования в энергетике: энергетический переход / Под ред. А.А. Макарова и Н.И. Воропая. ИСЭМ СО РАН, 2021. 490 с. С. 120-131. [Kononov Yu.D., Kononov D.Yu. *Assessment and factoring in of the economic and environmental aspect of energy security in projections // Systems Studies in Energy: Energy transition* / Ed. by A.A. Makarov and N.I. Voropai. ESI RAN, 2021. 490 p. Pp. 120-131. (In Russ.)]
15. Bashmakov I. Three Lows of Energy Transition // *Energy Policy*. July 2007. Pp. 3583-3594.
16. Конопляник А.А. Энергетическое самоубийство Европы // Эксперт. 2022. № 11. С. 80-84. [Konoplyanik A.A. *Energy suicide of Europe* // *Ekspert*. 2022. No. 11. Pp. 80-84. (In Russ.)]
17. Fizaine F., Court V. Energy expenditure, economic growth, and the minimum EPOI of Society // *Energy Policy*. 2015. No. 95. Pp. 172-186.
18. 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 управлении. 2018. № 2 (10). С. 80-87. [Kononov Yu.D., Tyrtysny V.N., Kononov D.Yu. *Application of stochastic modeling in choosing regional energy supply options while addressing investment risks // Information and mathematical technologies in science and management*. 2018. No. 2 (10). Pp. 80-87. (In Russ.)]
19. Ермаков С.М. Метод Монте-Карло и смежные вопросы. М., Наука. 1985. 472 с. [Ermakov S.M. *Monte Carlo methods and related problems*. M., Nauka. 1985. 472 p. (In Russ.)]
20. Порфирьев Б.Н., Широков А.А., Колпаков А.Ю. Стратегия низкоуглеродного развития: перспективы для экономики России // Мировая экономика и международные отношения. 2020. Т. 64. № 9. С. 15-25. [Porfiriev B.N., Shirov A.A., Kolpakov A.Yu. *Low-carbon development strategy: prospects for the Russian economy // Mirovaya ekonomika i mezhdunarodnye otnosheniya*. 2020. Vol. 64. No. 9. Pp. 15-25. (In Russ.)]
21. 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. [Porfiriev B.N., Shirov A.A., Kolpakov A.Yu., Edinak E.A. *Opportunities and risks of the climate change policy in Russia // Voprosy ekonomiki*. 2022. No. 1. Pp. 72-89. (In Russ.)]
22. Малахов В.А., Несытых К.В. Долгосрочные макроэкономические потери и выгоды России от низкоуглеродного развития мира и отечественной энергетики // Проблемы прогнозирования. 2022. № 4. С. 55-66. [Mala-khov V.A., Nesytykh K.V. *Long-term macroeconomic losses and gains of Russia from the low-carbon development of the world and domestic energy industry // Problemy prognozirovaniya*. 2022. No. 4. Pp. 55-66. (In Russ.)]
23. 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. № 9 (402). С. 1612-1624. [Kononov Yu.D., Kononov D.Yu. *Possible impact of the introduction of a greenhouse gas emission fee on the cost of electricity // National Interests: Priorities and Security*. 2021. Vol. 17. No. 9 (402). Pp. 1612-1624. (In Russ.)]
24. Макаров А.А., Веселов Ф.В., Елизеев О.А. и др. SCANER – модельно-информационный комплекс. М., ИИЭИ РАН. 2011. 72 с. [Makarov A.A., Veselov V.F., Eliseev O.A., et al. *SCANER – an integrated model and information system*. M., ERI RAS. 2011. 72 p. (In Russ.)]



Статья поступила в редакцию 28.04.2023. Статья принята к публикации 05.06.2023.

Для цитирования: Ю.Д. Кононов. Цели и способы оценки пороговых значений индикаторов энергетической безопасности в прогнозах // Проблемы прогнозирования. 2024. № 1 (202). С. 105-115.
DOI: 10.47711/0868-6351-202-105-115

Summary

GOALS AND METHODS OF ESTIMATING ENERGY SECURITY INDICATOR THRESHOLDS IN FORECASTS

Yu.D. KONONOV, Doct. Sci (Econ.), Professor, Melentiev Energy Systems Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

Abstract: This article considers the possibility of increasing the significance of long-term forecasts of the development of the FEC by taking into account the influence of its various industries on energy security (ES). This estimate is made using an integrated index which characterizes the degree of deviation of specific ES indicators from their thresholds. Indicators characterizing the economic aspect of ES, which set depend on the considered perspective are proposed. Different methods of determining the maximal allowed values of the indicators are considered. Experimental calculation results are provided showing the interdependency of these values. It is shown that the indicative analysis of thresholds must be preceded by the estimation of strategic ES threats and detecting the stable behavior region of the main forecast indicators.

Keywords: forecasting, fuel and energy complex, energy security, indicative analysis, strategic threats, macroeconomy.

Received 28.04.2023. Accepted 05.06.2023.

For citation: *Yu.D. Kononov*. Goals and Methods of Estimating Energy Security Indicator Thresholds in Forecasts // *Studies on Russian Economic Development*. 2024. Vol. 35. No. 1. Pp. 72–79. DOI: 10.1134/S1075700724010064