

УДК 621.311.1

## АНАЛИЗ УРОВНЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ЦЕНТРАЛЬНОМ И ЮЖНОМ ФЕДЕРАЛЬНЫХ ОКРУГАХ РОССИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НОРМИРОВАННЫХ ИНДИКАТИВНЫХ ОЦЕНОК

© 2023 г. С. М. Сендеров<sup>1, 2</sup>, Е. М. Смирнова<sup>1, \*</sup>, С. В. Воробьев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук, Иркутск, Россия

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

\*e-mail: smirnova.e.m@isem.irk.ru

Поступила в редакцию 28.12.2022 г.

После доработки 16.01.2023 г.

Принята к публикации 20.01.2023 г.

В статье приводятся подходы к оценке уровня энергетической безопасности регионов России с использованием аппарата свертки качественных оценок состояния важнейших индикаторов энергетической безопасности. Также представлен пример использования нового подхода к формированию нормализованных значений индикаторов энергетической безопасности и нормированных качественных оценок состояния энергетической безопасности. Показаны основные тенденции и масштабы энергетической безопасности субъектов РФ, расположенных на территориях Центрального и Южного федеральных округов.

*Ключевые слова:* энергетическая безопасность, топливо- и энергоснабжение, Центральный федеральный округ, Южный федеральный округ, индикативный анализ

**DOI:** 10.31857/S0002331023020073, **EDN:** KEDKRG

### ВВЕДЕНИЕ

Понятие энергетической безопасности (ЭБ) трактуется как “состояние защищенности граждан, общества, государства, экономики от угроз дефицита в обеспечении их потребностей в энергии экономически доступными энергетическими ресурсами приемлемого качества, от угроз нарушения бесперебойности энергоснабжения” [1–6].

Индикативная оценка уровня ЭБ конкретного региона страны в настоящее время осуществляется по трем, в значительной степени взаимосвязанным, блокам индикаторов: производственной и ресурсной обеспеченности системы топливо- и энергоснабжения региона; надежности системы топливо- и энергоснабжения региона; состояния основных производственных фондов (ОПФ) систем энергетики на территории региона, табл. 1 [1].

С учетом особенностей энергоснабжения отдельных регионов, ранее в ИСЭМ СО РАН [1, 4, 5 и др.], были экспертно определены пороговые значения индикативных показателей для разных групп субъектов РФ, также относительные удельные веса индикаторов в общей системе их ценности. С использованием метода свертки полученных значений анализируемых индикаторов формировались интегральные оценки состояния ЭБ субъектов РФ.

**Таблица 1.** Состав важнейших индикаторов энергетической безопасности регионального уровня

---

1. Блок производственной и ресурсной обеспеченности системы топливо- и энергоснабжения региона
1.1. Отношение суммарной располагаемой мощности электростанций региона к максимальной электрической нагрузке потребителей на его территории.
1.2. Отношение суммы располагаемой мощности электростанций и пропускной способности межсистемных связей региона с соседними к максимальной электрической нагрузке потребителей на его территории.
1.3. Возможности удовлетворения потребностей в КПП из собственных источников региона.
2. Блок надежности топливо- и энергоснабжения региона
2.1. Доля доминирующего ресурса в общем потреблении КПП на территории региона.
2.2. Доля наиболее крупной электростанции в установленной электрической мощности региона.
2.3. Уровень потенциальной обеспеченности спроса на топливо в условиях резкого похолодания (10% наброс потребления) на территории региона.
3. Блок состояния ОПФ систем энергетики на территории региона
3.1. Степень износа ОПФ энергетического хозяйства региона.
3.2. Отношение среднегодового ввода установленной мощности и реконструкции электростанций региона за предшествующий 5-летний период к установленной мощности региона.

---

В связи с тем, что отдельные индикаторы ЭБ измеряются в разных единицах, интегральная оценка ЭБ региона может быть получена с использованием принципа нормализации значений индикаторов в зависимости от соотношения их значений с пороговыми значениями. Для этого можно применить модернизированный аппарат нормализации, полученный на основе используемого ранее в [7]. Предлагаемый авторами подход отличается от изложенного в [7] тем, что позволяет работать как с возрастающими, так и с убывающими значениями индикаторов, то есть теми индикаторами, состояние которых улучшается по мере возрастания значения и с теми, состояние которых улучшается по мере убывания их значений.

Преобразование значений индикаторов, выраженных в различных единицах измерения, в нормализованные можно выполнить согласно следующему выражению:

$$X_i^H = \frac{X_{ПК,i} - X_i^f}{X_{К,i} - X_{ПК,i}}, \quad (1)$$

где  $X_i^H$  – нормализованное значение индикатора  $i$  в анализируемом периоде, отн. ед;  $X_i^f$  – фактическое значение индикатора в системе исходных единиц;  $X_{ПК,i}$ ,  $X_{К,i}$  – соответственно, пороговые значения предкризисного и кризисного состояний индикатора  $i$  в системе исходных единиц.

В соответствии с алгоритмом расчета нормализованное предкризисное пороговое значение любого индикатора  $X_{ПК,i}^H$  равно нулю, так как данное значение является точкой начала отсчета неблагоприятных состояний, а кризисное пороговое значение  $X_{К,i}^H$  равно  $-1$ .

Ниже представлены результаты оценки уровня энергетической безопасности субъектов РФ, расположенных на территориях Центрального (ЦФО) и Южного (ЮФО) федеральных округов, полученные без использования аппарата нормализации значений индикаторов. Затем, с целью более адекватного сопоставления результатов анализа и формирования интегральных оценок состояния ЭБ в разных регионах, будет показано применение подхода нормализации значений индикаторов.

**Таблица 2.** Состояние индикаторов на территории субъектов ЮФО округа по блоку производственной и ресурсной обеспеченности системы топливо- и энергоснабжения за 2016, 2020 гг.

Край, область	Индикатор <sup>1</sup>	Ед. изм.	Границы перехода качественных значений <sup>2</sup>		Значение и состояние индикатора, год			
			Н	К	2016		2020	
Краснодарский край и Республика Адыгея	1.1	ед.	0.5	0.3	0.46	ПК	0.43	ПК
	1.2	ед.	1.5	1.2	1.78	Н	1.66	Н
	1.3	%	60	40	134.7	Н	88.9	Н
Астраханская область	1.1	ед.	0.5	0.3	1.14	Н	1.62	Н
	1.2	ед.	1.5	1.2	3.99	Н	4.58	Н
	1.3	%	60	40	463.5	Н	391.9	Н
Волгоградская область	1.1	ед.	0.5	0.3	1.85	Н	1.66	Н
	1.2	ед.	1.5	1.2	4.08	Н	3.53	Н
	1.3	%	40	20	24.13	ПК	21.66	ПК
Ростовская область	1.1	ед.	0.5	0.3	2.15	Н	2.08	Н
	1.2	ед.	1.5	1.2	3.44	Н	3.34	Н
	1.3	%	40	20	32.45	ПК	50.56	Н
Республика Калмыкия	1.1	ед.	0.7	0.5	0.22	К	3.43	Н
	1.2	ед.	1.5	1.2	3.36	Н	2.84	Н
	1.3	%	60	40	18.92	К	19.29	К
Республика Крым и г. Севастополь	1.1	ед.	1.2	1.1	0.86	К	1.37	Н
	1.2	ед.	1.5	1.2	2.05	Н	2.26	Н
	1.3	%	100	80	35	К	35	К

<sup>1</sup> Номер индикатора соответствует нумерации в табл. 1.

<sup>2</sup> Границы перехода значения индикатора в состояние (“Н” – приемлемое (нормальное); “К” – кризисное состояние ЭБ). Промежуточная ситуация признается предкризисным состоянием (“ПК”).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИНДИКАТИВНОГО АНАЛИЗА ЭБ ПО РЕГИОНАМ ЮФО

В табл. 2–4 представлена информация о качественном состоянии индикаторов ЭБ по субъектам РФ на территории Южного ФО, а также качественная характеристика состояния энергетической безопасности данных субъектов за 5 лет: с 2016 по 2020 гг., в соответствии со статистической информацией [8–10] (табл. 2–5). В этом анализе Республика Адыгея учитывается внутри Краснодарского края, а г. Севастополь внутри Крымского полуострова.

По итогам 2020 г. по первому блоку индикаторов (табл. 2) наблюдается приемлемая ситуация только в Астраханской и Ростовской области за счет достаточного количества электрической мощности в регионе и наличия межсистемных электрических связей.

В Краснодарском крае и Республике Адыгея наблюдается предкризис по инд. 1.1, однако заметна положительная динамика благодаря увеличению электрогенерирующей мощности региона в 2020 г. за счет ввода ряда СЭС. При этом обеспечение максимальной электрической нагрузки достигается наличием достаточных по мощности возможных перетоков связей с соседними регионами.

В Волгоградской области предкризисная ситуация связана с недостаточными возможностями покрытия требуемых объемов КПП из собственных источников. Производство топочного мазута и добыча природного газа составляют менее 30% от требуемых объемов потребляемого топлива в регионе.

**Таблица 3.** Характеристика состояния индикаторов на территории субъектов ЮФО по блоку надежности топливо- и энергоснабжения за 2016, 2020 гг.

Край, область	Индикатор	Ед. изм.	Границы перехода качественных значений		Значение и состояние индикатора, год			
			Н	К	2016		2020	
Краснодарский край и Республика Адыгея	2.1	%	40	70	98.69	К	97.93	К
	2.2	%	50	70	45.8	Н	45.54	Н
Астраханская область	2.1	%	>90		97.75	Н	97.83	Н
	2.2	%	50	70	51.08	ПК	33.08	Н
Волгоградская область	2.1	%	40	70	95.41	К	86.71	К
	2.2	%	50	70	65.5	ПК	58.9	ПК
Ростовская область	2.1	%	40	70	80.29	К	79.58	К
	2.2	%	50	70	36.07	Н	30.49	Н
Республика Калмыкия	2.1	%	40	70	99.6	К	99.7	К
	2.2	%	50	70	94.7	К	28	Н
Республика Крым и г. Севастополь	2.1	%	40	70	93.54	К	96.77	К
	2.2	%	50	50	7.05	Н	23.21	Н

В Ростовской области наблюдается улучшение ситуации по индикатору 1.3 с увеличением доли собственных источников в балансе КПП с 30 до 50%. С достаточным запасом обеспечивается максимальная электрическая нагрузка.

Значительно изменилась ситуация в Республике Калмыкия к 2020 г., и на данный момент регион достаточно обеспечен собственными источниками электроэнергии для покрытия требуемых объемов. Производства КПП в регионе недостаточно, поэтому ситуация, описываемая данным индикатором, оценивается как кризисная.

Улучшилась ситуация в Республике Крым, перейдя в область приемлемых значений, за счет увеличения установленной электрической мощности региона.

По второму блоку индикаторов (табл. 3) в Краснодарском крае и Республике Адыгея кризисная ситуация по инд. 2.1 обусловлена долей газа в балансе КПП – 98%.

В Астраханской области показатели инд. 2.2 перешли в область приемлемых значений за счет снижения доли Астраханской ТЭЦ-2 при увеличении установленной мощности региона на 150 МВт в связи с вводом в эксплуатацию ряда солнечных электростанций. В Волгоградской и Ростовской областях, Республике Крым и Калмыкия наблюдается кризисная ситуация с точки зрения ЭБ по индикатору 2.1 из-за слишком высокой доли газа в балансе потребления КПП.

Переход из кризисных значений в область приемлемых отмечен в Республике Калмыкия (инд. 2.2). Благодаря вводу Целинской и Салынской ВЭС общей мощностью 200 МВт доля доминирующего источника в располагающей мощности региона снизилась с 95 до 28%.

В состав важнейших индикативных показателей входит еще один индикатор – 2.3, отражающий уровень потенциальной обеспеченности спроса на ТЭР в условиях резкого похолодания (10% наброс потребления) на территории региона. Оценивается он по результатам специализированных модельных исследований, описанных в [2, 3] как величина обеспеченности потребителей котельно-печным топливом при возможном похолодании, с увеличением потребления КПП на 10%.

Субъекты ЮФО относятся к регионам с умеренным (умеренно холодным) климатом (температура наиболее холодной пятидневки от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $-30^{\circ}\text{C}$  [11]). Кризисное пороговое значение для таких регионов принято 90% [4]. Исследования проводились

**Таблица 4.** Характеристика состояния индикаторов на территории субъектов ЮФО по блоку состояния ОПФ систем энергетики за 2016, 2020 гг.

Край, область	Индикатор	Ед. изм.	Границы перехода качественных значений		Значение и состояние индикатора, год			
			Н	К	2016		2020	
Краснодарский край и Республика Адыгея	3.1	%	40	60	37	Н	44.7	ПК
	3.2	%	2	1	13.6	Н	1.4	ПК
Астраханская область	3.1	%	40	60	45.3	ПК	51.7	ПК
	3.2	%	2	1	7.4	Н	2.7	Н
Волгоградская область	3.1	%	40	60	59.4	ПК	62	К
	3.2	%	2	1	0.8	К	0.3	К
Ростовская область	3.1	%	40	60	38	Н	43.7	ПК
	3.2	%	2	1	5.5	Н	2.1	Н
Республика Калмыкия	3.1	%	40	60	51	ПК	47	ПК
	3.2	%	2	1	2.5	Н	26.3	Н
Республика Крым и г. Севастополь	3.1	%	40	60	55.7	ПК	42.7	ПК
	3.2	%	2	1	8.3	Н	0	К

при одновременном гипотетическом понижении средней температуры января на большинстве территорий Южного ФО.

Почти для всех субъектов ЮФО увеличенное потребление может быть полностью обеспечено, что соответствует зоне приемлемых состояний. Исключение составляют Краснодарский край и Республика Адыгея, где ситуация оценивается как предкризисная. Республика Крым относится к регионам со сравнительно мягким климатом (температура наиболее холодной пятидневки  $-17^{\circ}\text{C}$  [11]), однако из-за слишком большой зависимости от природного газа по данному индикатору ситуация кризисная.

По третьему блоку индикаторов полностью приемлемой ситуацию нельзя назвать ни в одном из рассматриваемых субъектов, табл. 4.

В Краснодарском крае и Республике Адыгея были проведены капитальные ремонты и модернизация на Сочинской ТЭС и на Краснополянской ГЭС с общим увеличением мощности на 10 МВт, а также ввод ветроустановок в 2020 г. на Адыгейской ВЭС мощностью 150 МВт и ввод Адыгейской СЭС мощностью 4 МВт. Однако по результатам пятилетнего периода значения индикаторов перешли в предкризисную и кризисную области по обоим индикаторам блока.

В Астраханской области значения индикатора износа ОПФ энергетики находятся в области предкризисных значений. По инд. 3.2 состояние приемлемое, обусловленное развитием в регионе возобновляемых источников энергии, таких как солнечные электростанции: ввод в 2017 г. СЭС Заводская (15 МВт), в 2019 г. – Ахтубинская, Михайловская и Лиманская, общей мощностью 105 МВт; в 2020 г. – Октябрьская и Песчаная СЭС, общей мощностью 30 МВт.

В Волгоградской области ухудшается ситуация по третьему блоку индикаторов. Отсутствие серьезных капитальных ремонтов, демонтаж и выводы оборудования, недостаточная модернизация, все это усугубило общее состояние ОПФ энергетического хозяйства региона. Из последних вводов мощностей до 2019 г. была запущена в работу только Волгоградская СЭС (25 МВт) в 2017 г.

Ростовская область в предкризисное состояние перешла из приемлемых по показателям износа ОПФ энергетического хозяйства. При этом ввод мощностей за последние пять лет позволяет оставаться региону в области приемлемых значений: ввод 324 МВт Новочеркасской ГРЭС, модернизация на Ростовской ТЭЦ 2 (20 МВт), в 2020 г. ввод четырех ВЭС общей мощностью 350 МВт.

Республика Калмыкия находится в предкризисном состоянии по степени износа ОПФ (инд. 3.1). Благодаря вводу в эксплуатацию ряда СЭС общей мощностью 330 МВт по инд. 3.2 ситуация оценивается как приемлемая.

В Республике Крым проходит обновление и модернизация ОПФ энергетического хозяйства с 2016 г., однако к 2020 г. по индикатору 3.2 в республике отмечено кризисное состояние. Энергосистема Крыма была подключена к ЕЭС России за счет ввода энергомоста мощностью 800 МВт в 2015–2016 гг. В 2019 г. было введено 970 МВт (ПГУ на Балаклавской, Таврической ТЭС и Сакской ТЭЦ). В ноябре 2020 г. для передачи мощности с Ростовской АЭС на юг Таманского полуострова в эксплуатацию введена высоковольтная линия 500 кВ, в результате чего степень износа ОПФ энергетического хозяйства по региону значительно изменилась, но общее состояние оценивается как предкризисное.

### ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭБ ПО РЕГИОНАМ ЮФО

Для того, чтобы получить качественную оценку уровня ЭБ того или иного региона, необходимо использовать механизм свертки значений индикаторов, то есть произвести некую интегральную оценку уровня ЭБ. Каждый из перечисленных выше индикаторов имеет экспертно сформированное и обоснованное пороговое значение с учетом условий энергоснабжения рассматриваемого региона. Таким образом, при сопоставлении количественного значения индикатора с его пороговым значением можно качественно оценить уровень ЭБ в аспекте, описываемом данным индикатором.

Состояние того или иного индикатора, в зависимости от расположения его значений на шкале состояний, можно оценить следующим образом:

$$f(S_i) = \begin{cases} \text{Н, } S_i < S_i^{\text{ПК}} \\ \text{ПК, } S_i^{\text{ПК}} \leq S_i < S_i^{\text{К}} & i = 1, n, \\ \text{К, } S_i \geq S_i^{\text{К}} \end{cases} \quad (2)$$

где  $n$  – количество оцениваемых индикаторов;  $S_i$  – фактическое (ожидаемое) значение  $i$ -го индикатора;  $S_i^{\text{ПК}}$ ,  $S_i^{\text{К}}$  – значения предкризисного и кризисного пороговых значений  $i$ -го индикатора; Н, ПК, К – качественная оценка состояния индикатора: нормальное, предкризисное и кризисное соответственно.

Для получения комплексной оценки уровня энергетической безопасности по региону важным шагом является определение значимости конкретного ( $i$ -го) индикатора в общей шкале индикаторов или вычисление его “удельного веса” в общей системе ценности индикаторов. Удельный вес конкретного индикатора в общей сумме “весов” определяется следующим образом:

$$V_i = \sum_{j=1}^n v_{ij} / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n v_{ij}, \quad (3)$$

где  $V_i$  – удельный вес  $i$ -го индикатора в системе оцениваемых индикаторов;  $v_{ij}$  – условная значимость  $i$ -го индикатора в сравнении с  $j$ -м индикатором.

**Таблица 5.** Интегральная качественная оценка состояния энергетической безопасности на территории субъектов ЮФО за 2016, 2020 гг.

Год	Индикаторы ЭБ								Сумма удельных весов по состояниям			Качественное состояние ЭБ
	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	Границы состояний			
	Удельные веса индикаторов								К <sup>3</sup>	ПК	Н <sup>4</sup>	
	0.104	0.138	0.133	0.120	0.079	0.170	0.127	0.129				
Краснодарский край и Республика Адыгея												
2016	ПК	Н	Н	К	Н	ПК	Н	Н	0.12	0.274	0.606	ПК
2020	ПК	Н	Н	К	Н	ПК	ПК	ПК	0.12	0.53	0.35	ПК
Астраханская область												
2016	Н	Н	Н	Н	ПК	Н	ПК	Н	0	0.206	0.794	Н
2020	Н	Н	Н	Н	Н	Н	ПК	Н	0	0.127	0.873	Н
Волгоградская область												
2016	Н	Н	ПК	К	ПК	Н	ПК	К	0.249	0.339	0.412	ПК
2020	Н	Н	ПК	К	ПК	Н	К	К	0.376	0.212	0.412	ПК
Ростовская область												
2016	Н	Н	ПК	К	Н	Н	Н	Н	0.12	0.133	0.747	Н
2020	Н	Н	Н	К	Н	Н	ПК	Н	0.12	0.127	0.753	Н
Республика Калмыкия												
2016	К	Н	К	К	К	Н	ПК	Н	0.436	0.127	0.437	К
2020	Н	Н	К	К	Н	Н	ПК	Н	0.253	0.127	0.62	ПК
Республика Крым и г. Севастополь												
2016	К	Н	К	К	Н	К	ПК	Н	0.527	0.127	0.346	К
2020	Н	Н	К	К	Н	К	ПК	Н	0.423	0.127	0.45	К

<sup>3</sup> Состояние ЭБ в регионе признается кризисным, если сумма удельных весов индикаторов в состоянии “К” превышает 0.4.

<sup>4</sup> Состояние ЭБ в регионе признается нормальным, если сумма удельных весов индикаторов в состоянии “Н” превышает 0.7.

Таким образом, качественная интегральная оценка общего состояния ЭБ в регионе по индикаторам имеет следующий вид:

$$Q_u = \begin{cases} \text{Н, } \sum_{i=1}^n V_i^H \geq \delta_n \\ \text{ПК, } \sum_{i=1}^n V_i^K < \delta_k \text{ и } \sum_{i=1}^n V_i^H < \delta_n, \quad i = 1, n \\ \text{К, } \sum_{i=1}^n V_i^K \geq \delta_k \end{cases} \quad (4)$$

где  $Q_u$  – интегральная оценка качественного состояния энергетической безопасности по индикативной оценке;  $V_i^H, V_i^K$  – удельный вес  $i$ -го индикатора, находящегося в области нормальных и кризисных значений, соответственно;  $\delta_n, \delta_k$  – коэффициенты, характеризующие уровень достижения нормального или кризисного состояния соответственно.

Результаты интегральной оценки состояния ЭБ по регионам ЮФО, полученные на основании выражений (2–4) [1, 5, 6], представлены ниже (табл. 5).

По результатам проведенного индикативного анализа субъектов ЮФО приемлемое состояние энергетической безопасности можно отметить в Астраханской и Ростов-

ской областях. Кризисную ситуацию в Республике Крым определяют следующие факторы: за счет собственной добычи газа республика обеспечивает только 35% потребностей; в республике не могут быть обеспечены пиково возрастающие потребности в ТЭР в условиях возможных резких похолоданий; доля газа в балансе КПП составляет 97%.

В Республике Калмыкия состояние перешло в предкризис из кризиса за счет ввода большого количества СЭС.

Особенностью данного подхода является сведение в одну интегральную оценку состояния ЭБ по сути только качественных оценок состояния отдельных индикаторов. Но, следует заметить, значение индикатора может находиться в начальном кризисном состоянии, а может быть и в состоянии глубокого кризиса. В этом случае ситуация с обеспечением ЭБ в данном аспекте значительно различается. Чем хуже состояние какого-то конкретного индикатора, чем оно более кризисное, тем сильнее это должно влиять на общую интегральную оценку ЭБ региона.

Справиться с этой погрешностью подхода поможет использование нормализованных значений индикаторов.

### НОРМАЛИЗАЦИЯ ЗНАЧЕНИЙ ИНДИКАТОРОВ ЭБ

Следующим этапом в работе была нормализация полученных значений индикаторов по всем субъектам Южного ФО с использованием выражения (1). На базе полученных значений за 5-летний период были построены графики состояний ЭБ регионов по соответствующим блокам индикаторов, рис. 1–3. Пороговые значения здесь также были учтены как нормализованные, где “предкризисное пороговое значение” = 0, “кризис” = –1. Таким образом, все состояния, находящиеся в области значений ниже “–1”, являются кризисными, в области от “–1” до “0” – предкризисными и в области выше “0” – приемлемыми.

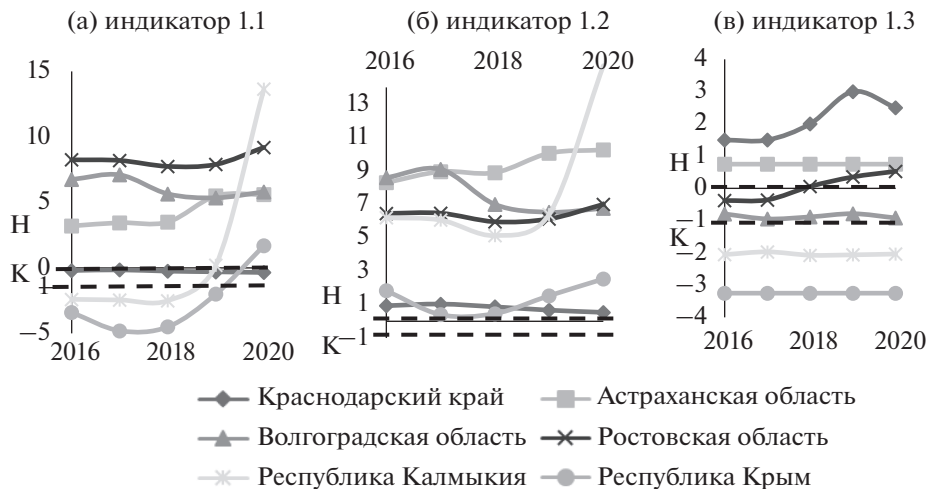
При сравнении данных рис. 1 и ранее приведенной табл. 2 можно увидеть, что показанные тенденции в обеспечении ЭБ схожи, но картина представления результатов в последнем случае гораздо адекватнее в силу учета степени кризисности индикаторов.

Как видно из графиков, в сравнении с таблицами, данный подход позволяет более детально отследить динамику состояния ЭБ как по каждому конкретному индикатору, так и комплексно. Так, например, по индикатору 1.1 – отношение суммарной располагаемой мощности электростанций региона к максимальной электрической нагрузке потребителей на его территории (рис. 1, а), в Республике Калмыкия и Республике Крым к 2020 г. улучшилась ситуация за счет увеличения располагаемой электрической мощности в регионах. В связи с этим и по индикатору 1.2 ситуация изменилась в лучшую сторону: Республика Крым находится в устойчивом приемлемом состоянии, показатели в Республике Калмыкия выросли в 2.5 раза, и в целом по данному индикатору ситуация оценивается как приемлемая по всем субъектам ЮФО. Что касается возможностей удовлетворения потребителей в КПП из собственных источников, приемлемая ситуация отмечена в Краснодарском крае и Астраханской области за счет производства мазута и добычи природного газа соответственно, а также в Ростовской области за счет развития угольной промышленности в регионе (инд. 1.3, рис. 1, в).

По индикатору – доля крупнейшего электрогенерирующего источника, в Республике Калмыкия можно проследить уверенную динамику улучшения ситуации с выходом в приемлемое состояние (рис. 2, б), а также динамику изменения ситуации с долей крупнейшей электростанции в Республике Крым за последние пять лет. По инд. 2.3 (рис. 2, в) уровень обеспеченности спроса на топливо в условиях резкого похолодания, положение может быть оценено как стабильное, хотя и не везде приемлемое.

По третьему блоку индикаторов в связи с недостаточно активной политикой в обновлении ОПФ энергетики значения располагаются в основном в зоне предкризисных и кризисных значений (рис. 3). По инд. 3.2 наблюдаются резкие изменения значе-





**Рис. 1.** Анализ ситуации с обеспечением требований ЭБ по первому блоку индикаторов в регионах Южного федерального округа (а, б, в).



**Рис. 2.** Анализ ситуации с обеспечением требований ЭБ по второму блоку индикаторов в регионах Южного федерального уровня (а, б, в).

ний, в связи с большими перерывами между вводом новых мощностей и обновлением существующих основных производственных фондов в регионах.

Для получения итоговой интегральной оценки уровня ЭБ была произведена свертка нормализованных значений индикаторов с учетом их удельных весов (5).

$$Q_i^H = \sum_{i=1}^n X_i^H V_i, \quad (5)$$

где  $Q_i^H$  – итоговая нормализованная интегральная оценка индикаторов;  $X_i^H$  – нормализованное значение индикатора  $i$  в анализируемом периоде, отн. ед;  $V_i$  – удельный вес  $i$ -го индикатора в системе оцениваемых индикаторов.

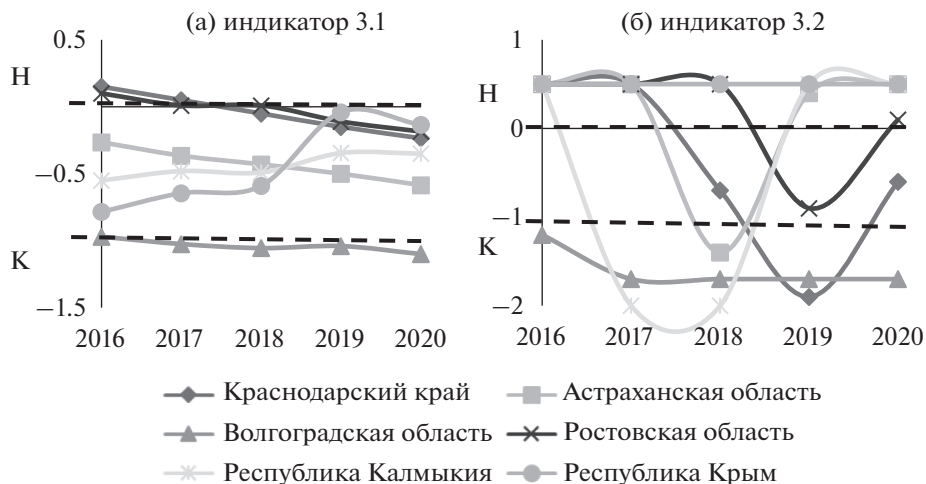


Рис. 3. Анализ ситуации с обеспечением требований ЭБ по третьему блоку индикаторов в регионах Южного федерального округа (а, б).

В ходе расчета полученные графики состояний показали, что слишком большое перекрытие приемлемых пороговых значений отдельных индикаторов вызывает существенный перекокс в общей оценке. В связи с этим было принято следующее допущение: любое значительное перекрытие приемлемого порогового значения учитывать на уровне достаточного запаса: 25% для приемлемых состояний. Значительное ухудшение значения индикатора по отношению к кризисному пороговому значению при этом не нивелируется и считается таким, как есть, для того, чтобы учитывать уровень кризисности этого значения. Полученная комплексная интегральная оценка состояния ЭБ субъектов Южного ФО представлена на рис. 4.

Из данных рисунка видно, что по совокупности значений индикаторов интегрально приемлемое состояние по ЭБ можно фиксировать только в Астраханской и Ростовской областях. Ситуация в Республике Крым улучшается, но по-прежнему остается в области кризисных значений (подробности этого видны при рассмотрении рисунков по отдельным индикаторам). Республика Калмыкия к 2019 г. перешла из кризисного состояния в предкризисное и находится там вместе с Краснодарским краем и Волгоградской областью. Причины такой ситуации кроются в оценках конкретных индикаторов по блокам 1, 2, 3.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИНДИКАТИВНОГО АНАЛИЗА ЭБ ПО РЕГИОНАМ ЦЕНТРАЛЬНОГО ФО

Оценка уровня ЭБ субъектов Центрального ФО была также проведена с учетом нормализованных значений индикаторов. Для визуализации полученных данных было принято представить результаты индикативной оценки в графическом формате (рис. 5–8).

Состояние индикаторов на территории субъектов ЦФО округа по блоку производственной и ресурсной обеспеченности системы топливо- и энергоснабжения представлено на рис. 5.

По инд. 1.1 в зоне предкризисных значений находится Липецкая область из-за недостаточного количества располагаемой мощности в регионе. Брянская, Калужская и Белгородская области в зоне кризиса (рис. 5, а). По индикатору 1.3 можно отметить



Рис. 4. Интегральная качественная оценка состояния энергетической безопасности в регионах Южного федерального округа.



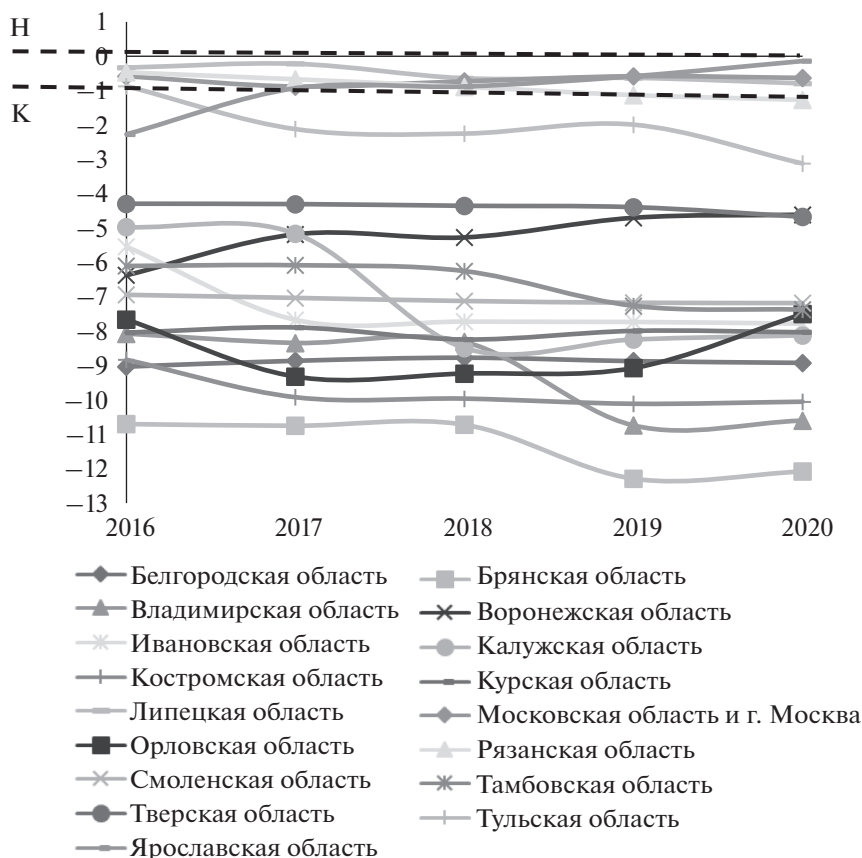
Рис. 5. Анализ ситуации с обеспечением требований ЭБ по первому блоку индикаторов в регионах Центрального федерального округа (а, б, в).



Рис. 6. Анализ ситуации с обеспечением требований ЭБ по второму блоку индикаторов в регионах Центрального федерального округа (а, б, в).



Рис. 7. Анализ ситуации с обеспечением требований ЭБ по третьему блоку индикаторов в регионах Центрального федерального округа (а, б).



**Рис. 8.** Интегральная качественная оценка состояния энергетической безопасности в регионах Центрального федерального округа.

Ярославскую область, где наглядно видно снижение показателей, при этом регион находится в зоне приемлемых значений (рис. 5, в).

В целом анализ полученных данных по 2020 г. позволил определить Рязанскую и Ярославскую области, как регионы с приемлемым состоянием ЭБ по первому блоку индикаторов. В большинстве остальных регионов наблюдается кризисная ситуация по уровню возможностей обеспечения КПП из собственных источников.

По второму блоку индикаторов в 2020 г. в кризисной ситуации находится большинство субъектов (рис. 6).

В Брянской и Тульской областях ухудшилась ситуация из-за увеличения доли крупнейшей электростанции (до 100%) в общей установленной мощности регионов. А в Воронежской области, наоборот, перешла в приемлемые значения и с 2019 г. составляет 40% в связи с увеличением мощности Нововоронежской АЭС.

По индикатору 2.3 в 2020 г. все субъекты Центрального ФО располагаются в зоне кризисных и предкризисных значений, кроме Московской области (рис. 6, в). В связи с тем, что относится к регионам с холодным климатом: средняя температура наиболее холодной 5-дневки от минус 20 до минус 30 [11]. При этом высокая доля природного газа в балансе КПП и зависимость от внешних поставок при недостаточном количе-

стве собственных топливных ресурсов приводит к недостаточному покрытию пиково возрастающего спроса на топливо в условиях резких похолоданий на территории европейской части страны.

По третьему блоку индикаторов (рис. 7), несмотря на общее понимание необходимости проведения более активной политики в отношении обновления электрогенерирующего оборудования, значения индикаторов состояния ОПФ энергетического хозяйства регионов находятся в основном в области предкризисных и кризисных значений.

Улучшилась ситуация в Воронежской и Ярославской областях по индикатору 3.2, перейдя из предкризисных в область приемлемых значений. В Воронежской области были запущены в строй реакторные установки на Нововоронежской АЭС общей мощностью 2400 МВт, в 2020 г. на Воронежской ТЭЦ-1 была установлена ПГУ мощностью 220 МВт. В Ярославской области был осуществлен ввод ПГУ на ТЭС области общей мощностью 515 МВт за пятилетний период. Владимирская область, наоборот, перешла в кризисное состояние из приемлемого (рис. 7, б) из-за отсутствия достаточного количества реконструкций ОПФ и ввода генерирующих мощностей.

Итоговая интегральная оценка уровня ЭБ регионов Центрального федерального округа выполнена с использованием выражения (5) и представлена на рис. 8.

В целом на основании полученных данных можно сделать вывод, что ситуация с обеспечением энергетической безопасности в Центральном ФО требует особого внимания и принятия мер по ее улучшению. Исходя из данных, представленных на графике, в зоне предкризисных значений по уровню ЭБ находятся Липецкая, Ярославская и Московская области. Из предкризисного состояния в кризис перешла к 2020 г. Тульская область. Все остальные субъекты также находятся ниже кризисного порогового значения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренный в статье подход нормализации значений индикаторов отличается от прежнего тем, что в нем при интегральной оценке учитываются не только качественные, но и количественные оценки ситуации с обеспечением ЭБ по отдельным индикаторам. Применение этого подхода позволяет получать нормализованные значения индикаторов, которые в свою очередь корректно отражают полученные результаты оценки состояния ЭБ регионов, а также более наглядно и детально показывают динамику изменения ситуации с обеспечением ЭБ как по каждому отдельному индикатору, так и в целом по субъектам.

Анализ показал, что в регионах ЦФО в большей степени не обладающих собственными источниками ТЭР продолжает ухудшаться ситуация с долей газа в общем потреблении КПП: >70% в большей части субъектов и со старением ОПФ энергетики. В целом по ЦФО с точки зрения ЭБ приемлемой ситуации в рассмотренном периоде нет, из 17 субъектов три находятся в зоне предкризисного состояния (Московская, Липецкая и Ярославская области) и остальные в кризисе.

В Южном ФО наблюдается более положительная динамика: состояние Астраханской и Ростовской областей оценивается как приемлемое, остальные – предкризисные и кризис в Республике Крым. Здесь, кроме выделенных по ЦФО острых моментов с точки зрения ЭБ, можно добавить недостаточные возможности удовлетворения потребностей в КПП из собственных источников региона.

В целом следует отметить, что практически во всех регионах быстрыми темпами ухудшается ситуация со старением ОПФ энергетики, а, следовательно, и с возможностями увеличения числа ЧС с топливо- и энергоснабжением потребителей по причинам выхода из строя того или иного оборудования.

Статья подготовлена в рамках проектов государственного задания № FWEU-2021-0003 (рег. номер: АААА-А21-121012090014-5) и № FWEU-2021-0001 Программы фундаментальных исследований РФ на 2021–2030 гг. с использованием ресурсов ЦКП “Высокотемпературный контур” (Минобрнауки России, проект № 13.ЦКП.21.0038).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сендеров С.М., Пяткова Н.И., Рабчук В.И., Славин Г.Б., Воробьев С.В., Смирнова Е.М. Методика мониторинга состояния энергетической безопасности России на региональном уровне, Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2014. С. 146.
2. Бушуев В.В., Воропай Н.И., Мастепанов А.М., Шафраник Ю.К. и др. Энергетическая безопасность России. Новосибирск: Наука. Сиб. Изд. Фирма РАН, 1998. С. 302.
3. Пяткова Н.И., Сендеров С.М., Чельцов М.Б. и др. Применение двухуровневой технологии исследований при решении проблем энергетической безопасности // Известия РАН. Энергетика. 2000. № 6. С. 31–39.
4. Пяткова Н.И., Рабчук В.И., Сендеров С.М., Славин Г.Б., Чельцов М.Б. Энергетическая безопасность России: проблемы и пути решения. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2011. С. 198.
5. Сендеров С.М. Оценка уровня энергетической безопасности регионов России и основные принципы создания системы мониторинга энергетической безопасности // Безопасность объектов топливно-энергетического комплекса. 2012. №1(1). С. 125–130.
6. Сендеров С.М., Смирнова Е.М. Анализ тенденций изменения состояния энергетической безопасности регионов на примере Сибирского федерального округа // Энергетическая политика. 2019. № 1. С. 75–83.
7. Надежность топливо- и энергоснабжения и живучесть систем энергетики регионов России / Под науч. ред. Воропай Н.И., Татаркина А.И. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2003. С. 392.
8. Статистическая форма Росстата: Сведения об остатках, поступлении и расходе топлива и теплоэнергии, сборе и использовании отработанных нефтепродуктов за 2016–2020 гг.
9. Статистическая форма Росстата: Сведения об использовании топливно-энергетических ресурсов за 2016–2020 гг.
10. Статистическая форма Росстата: Техничко-экономические показатели электростанций, районных котельных за 2015–2019 гг.
11. Свод правил СП 131.13330.2018 “Строительная климатология” СНиП 23-01-99, Москва, 2019. С. 110.

### **Analysis of the Level of Energy Security in the Central and Southern Federal Districts of Russia Using Normalized Indicative Estimates**

**S. M. Senderov<sup>a, b</sup>, E. M. Smirnova<sup>a, \*</sup>, and S. V. Vorobev<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>*Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia*

<sup>b</sup>*Federal State Budget Educational Institution of Higher Education “Irkutsk National Research Technical University”, Irkutsk, Russia*

*\*e-mail: smirnova.e.m@isem.irk.ru*

The article presents approaches to assessing the level of energy security of Russian regions using the apparatus for convolution of qualitative assessments of the state of the most important indicators of energy security. An example of using a new approach to the formation of normalized values of energy security indicators and normalized qualitative assessments of the state of energy security is also presented. The main trends and scales of the energy security of the constituent entities of the Russian Federation located in the territories of the Central and Southern federal districts are shown.

*Keywords:* energy security, fuel and energy supply, Central Federal District, Southern Federal District, indicative analysis