
УДК 621.311.1

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В РАБОТЕ ГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ НА ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕГИОНОВ СЗФО

© 2024 г. С. М. Сендеров¹, Е. М. Смирнова^{1, *}, С. В. Воробьев¹

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

**e-mail: smirnova.e.m@sem.irk.ru*

Поступила в редакцию 08.11.2024 г.

После доработки 11.11.2024 г.

Принята к публикации 12.11.2024 г.

В статье представлена оценка уровня энергетической безопасности на примере субъектов РФ, расположенных на территории Северо-Западного федерального округа. Подход к оценке основывается на использовании аппарата мониторинга и индикативного анализа энергетической безопасности (ЭБ), разработанного в ИСЭМ СО РАН. Проводится оценка уровня ЭБ в регионах на основе моделирования ситуации с прекращением работы важнейших объектов газовой отрасли, а также проведен анализ динамики, масштабов и тенденций изменения состояния уровня ЭБ при моделировании ситуации с использованием пиковых ПХГ, предусмотренных Генеральной схемой развития газовой отрасли на период до 2030 г. для анализируемых субъектов РФ.

Ключевые слова: энергетическая безопасность, индикативный анализ, подземные хранилища газа, топливо- и энергоснабжение, газовая отрасль, Северо-Западный федеральный округ

DOI: 10.31857/S0002331024050039

ВВЕДЕНИЕ

Энергетическая безопасность – это 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. То есть, другими словами, любого уровня энергетическая безопасность – это сбалансированность спроса и предложения энергии или бездефицитность энергобаланса. Причины нарушения баланса могут заключаться как в состоянии объектов топливно-энергетического комплекса (ТЭК), так и в неблагоприятном изменении природных, политических и экономических условий.

Одним из важнейших направлений деятельности по достижению и поддержанию требуемого уровня энергетической безопасности России является мониторинг и индикативный анализ ЭБ.

Индикативную оценку уровня энергетической безопасности конкретного региона страны предложено осуществлять по трем, в значительной степени взаимосвязанным, блокам индикаторов, табл. 1.

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.
1.2. Возможности покрытия максимальной электрической нагрузки с учетом межсистемных связей.
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 на территории региона.
3. Блок состояния ОПФ систем энергетики на территории региона
3.1. Степень износа ОПФ энергетического хозяйства региона.
3.2. Обновление установленной мощности и реконструкции электростанций региона за 5-летний период.

Задачи мониторинга ЭБ РФ и ее регионов заключаются в идентификации наблюдаемых и ожидаемых процессов, явлений и параметров, определяющих уровень и угрозы энергетической безопасности. Таким образом, смысл и суть мониторинга и индикативного анализа состоят в отображении информации о степени реализации угроз ЭБ с помощью системы индикаторов при сравнении численных значений этих индикаторов с их пороговыми значениями. В соответствии с этим в ИСЭМ СО РАН разработана информационная база для обоснования и принятия решений по обеспечению ЭБ РФ и ее регионов.

В данной статье представлен процесс оценки уровня энергетической безопасности субъектов РФ, расположенных на территории Северо-Западного федерального округа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННОГО ИНДИКАТИВНОГО АНАЛИЗА

При выполнении исследования значения индикаторов по регионам были количественно соотнесены с их пороговыми значениями, принятыми в [1] (табл. 2–4).

Наряду с качественной оценкой уровня энергетической безопасности регионов за 2022 г. с целью показать некоторые тенденции, справочно приведена информация о качественной оценке соответствующих индикаторов в 2018 г. В результате анализа

данных соответствующих таблиц по субъектам Северо-Западного федерального округа можно кратко охарактеризовать присущие энергетике территорий тенденции с позиций требований энергетической безопасности.

Таблица 2. Характеристика состояния индикаторов на территории субъектов СЗФО по блоку производственной и ресурсной обеспеченности системы топливо- и энергоснабжения

Край, область	Индикатор	Разм-ть	Пороговые значения индикатора ¹		Значение и состояние индикатора			
			Н	К	2018		2022	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Республика Карелия	1.1	ед.	0.5	0.3	0.9	Н	0.8	Н
	1.2	ед.	1.5	1.2	5.9	Н	3.2	Н
	1.3	%	60	40	21.1	К	17.8	К
Республика Коми	1.1	ед.	0.7	0.5	2.0	Н	1.9	Н
	1.2	ед.	1.5	1.2	2.4	Н	2.3	Н
	1.3	%	60	40	133	Н	108	Н
Архангельская область	1.1	ед.	0.7	0.5	1.9	Н	1.2	Н
	1.2	ед.	1.5	1.2	2.7	Н	1.9	Н
	1.3	%	60	40	21.8	К	22.8	К
Вологодская область	1.1	ед.	0.5	0.3	0.8	Н	0.9	Н
	1.2	ед.	1.5	1.2	4.1	Н	4.3	Н
	1.3	%	40	20	1.7	К	1.3	К
Калининградская область	1.1	ед.	0.7	0.5	1.5	Н	2.4	Н
	1.2	ед.	1.5	1.2	2.5	Н	3.4	Н
	1.3	%	60	40	0.2	К	0.3	К
Ленинградская область	1.1	ед.	0.5	0.3	1.78	Н	1.59	Н
	1.2	ед.	1.5	1.2	2.4	Н	2.8	Н
	1.3	%	40	20	46.7	Н	36.7	ПК
Мурманская область	1.1	ед.	0.5	0.3	1.9	Н	1.9	Н
	1.2	ед.	1.5	1.2	3.4	Н	3.3	Н
	1.3	%	60	40	4.6	К	5.3	К
Новгородская область	1.1	ед.	0.5	0.3	0.6	Н	0.6	Н
	1.2	ед.	1.5	1.2	3.1	Н	3.1	Н
	1.3	%	60	40	1.9	К	0.6	К
Псковская область	1.1	ед.	0.5	0.3	1.1	Н	1.0	Н
	1.2	ед.	1.5	1.2	6.6	Н	6.3	Н
	1.3	%	40	20	6.4	К	2.2	К

¹ Границы областей состояний (“Н” – приемлемое (нормальное) состояние ЭБ по данному индикатору; “К” – кризисное состояние ЭБ).

По первому блоку индикаторов приемлемая ситуация с позиций ЭБ наблюдается только в Республике Коми. В остальных регионах важно отметить кризисное состояние по индикатору 1.3. “Возможности удовлетворения потребностей в КПТ из собственных источников региона” (табл. 2).

Таблица 3. Характеристика состояния индикаторов на территории субъектов СЗФО по блоку надежности топливо- и энергоснабжения

Край, область	Индикатор	Пороговые значения, %		Значение и состояние индикатора, %; год			
		Н	К	2018		2022	
1	2	3	4	5	6	7	8
Республика Карелия	2.1	40	70	54.6	ПК	58.2	ПК
	2.2	50	70	25.4	Н	25.6	Н
	2.3	100	<100	90	К	90	К
Республика Коми	2.1	90	>90	84.5	Н	89.5	Н
	2.2	50	70	38.7	Н	42.3	ПК
	2.3	100	<100	94	К	94	К
Архангельская область	2.1	40	70	64.8	ПК	64.5	ПК
	2.2	50	70	18.5	Н	28.0	Н
	2.3	100	<100	97	К	97	К
Вологодская область	2.1	40	70	74.5	К	83.4	Н
	2.2	50	70	22.4	Н	21.8	Н
	2.3	>100		>100	Н	>100	Н
Калининградская область	2.1	90	90	96.4	К	94.8	К
	2.2	40	50	69.4	К	46.9	ПК
	2.3	100	80	89	ПК	89	ПК
Ленинградская область	2.1	40	70	97.0	К	97.6	К
	2.2	50	70	31.8	Н	33.4	Н
	2.3	100	90	92	ПК	92	ПК
Мурманская область	2.1	40	70	81.9	К	79.1	К
	2.2	50	70	48.7	Н	48.6	Н
	2.3	100	90	94	ПК	94	ПК
Новгородская область	2.1	40	70	96.8	К	98.5	К
	2.2	50	70	81,4	К	80.3	К
	2.3	100	<100	94	К	94	К
Псковская область	2.1	40	70	86.2	К	91.9	К
	2.2	50	70	98.5	К	98.7	К
	2.3	100	90	97	ПК	97	ПК

По второму блоку индикаторов наблюдается приемлемая ситуация только в Вологодской области. В частности, по индикатору 2.1 “Доля доминирующего ресурса в общем потреблении КПТ на территории региона” (табл. 3) преобладают кризисные и предкризисные значения в связи с высокой долей природного газа в балансе потребления топлива. В свою очередь, это также отражается и на значениях индикатора 2.3 “Уровень потенциальной обеспеченности спроса на топливо в условиях резкого похолодания (10% наброс потребления) на территории региона”. Так как Северо-Западный ФО относится к регионам с холодным климатом (температура наиболее холодной пятидневки ниже минус 30°C) [2], кризисное пороговое значение для таких регионов принято 100%. Исследования проводились при одновременном гипотетическом понижении средней температуры января на территории всего Северо-Западного федерального округа. Результаты расчетов по уровню обеспеченности указанного спроса на топливно-энергетические ресурсы приведены в табл. 3.

Таблица 4. Характеристика состояния индикаторов на территории субъектов СЗФО по блоку состояния ОПФ систем энергетики

Край, область	Индикатор	Пороговые значения, %		Значение и состояние индикатора, %; год			
		Н	К	2018		2022	
1	2	4	5	6	7	8	9
Республика Карелия	3.1	40	60	71.6	К	74.8	К
	3.2	2	1	0	К	0	К
Республика Коми	3.1	40	60	55	ПК	60	К
	3.2	2	1	1.4	ПК	0	К
Архангельская область	3.1	40	60	42.1	ПК	53.0	ПК
	3.2	2	1	0	К	0	К
Вологодская область	3.1	40	60	54.2	ПК	57.9	ПК
	3.2	2	1	5.4	Н	0	К
Калининградская область	3.1	40	60	50.7	ПК	5.7	Н
	3.2	2	1	51	ПК	8.5	Н
Ленинградская область	3.1	40	60	44.8	ПК	47.4	ПК
	3.2	2	1	1.0	Н	4.3	Н
Мурманская область	3.1	40	60	69.5	К	73.2	К
	3.2	2	1	0	К	0	К
Новгородская область	3.1	40	60	58.8	ПК	64.4	К
	3.2	2	1	1.0	К	0.5	К
Псковская область	3.1	40	60	70.5	К	72.9	К
	3.2	2	1	0	К	0	К

По третьему блоку индикаторов также нельзя назвать приемлемой ситуацию ни в одном из субъектов (табл. 4) в связи с превышением кризисного порогового значения по износу ОПФ энергетики, а также недостаточно активного ввода новых генерирующих мощностей за прошедший пятилетний период.

Полученные и проанализированные значения основных индикаторов, в свою очередь, составили базу для интегральной оценки уровня энергетической безопасности на территории субъектов Северо-Западного федерального округа.

Для получения такой оценки использован подход, основанный на свертке значений индикаторов с учетом их удельных весов. Качественные характеристики состояния всех обсуждаемых индикаторов из табл. 2–4 были собраны по соответствующим территориям и обработаны согласно [1]. В результате была получена качественная итоговая оценка состояния энергетической безопасности территорий, представленная в табл. 5. По ее результатам приемлемое состояние с позиций обеспечения ЭБ нельзя констатировать ни в одном из субъектов СЗФО.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИТУАЦИИ С ПРЕКРАЩЕНИЕМ РАБОТЫ ВАЖНЕЙШИХ ОБЪЕКТОВ ГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Ранее в [3] были представлены результаты работы по выявлению и анализу КВО (объекты газовой отрасли, потеря работоспособности которых может привести к существенному дефициту газа у потребителей – от 5% и более), влияющих на ЕСГ в целом и непосредственно на системы газоснабжения конкретных регионов. Кроме того, в [4] была проведена оценка уязвимости систем топливоснабжения всех регионов РФ в зоне действия ЕСГ, в случае прекращения работы отдельных особо значимых объектов газовой отрасли. Был сформирован перечень регионов, ранжированный по степени уязвимости их системы топливоснабжения в условиях указанных отключений.

В [5] были представлены результаты модельных исследований, отражающие степень возможных недопоставок газа потребителям в случае возникновения ЧС на ЕСГ. В ходе исследования было выявлено, что наибольшим образом при реализации условий для всех субъектов РФ недопоставка газа в большей степени негативно сказывается на регионах СЗФО. Также самый большой дефицит в электрической и тепловой энергии при пиковом увеличении спроса на топливо с учетом возможных отключений КВО ЕСГ были определены среди регионов СЗФО (табл. 6).

С учетом данной расчетной информации по дефицитам газа в регионах СЗФО, а также на базе использования метода нормализации значений индикаторов [6] была получена новая интегральная оценка (рис. 1), отражающая качественное и количественное состояние индикаторов с позиций обеспечения ЭБ в случае возникновения ЧС в ГТС.

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

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

где X_i^H – нормализованное значение индикатора i в анализируемом периоде, отн. ед; X_i^t – фактическое значение индикатора в системе исходных единиц; $X_{\text{ПК},i}$, $X_{\text{К},i}$ –

Таблица 5. Качественная оценка состояния энергетической безопасности на территории субъектов Северо-Западного федерального округа

Год	Порядковые номера оцениваемых индикаторов 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 ²	ПК	Н ³		
	0.104	0.138	0.133	0.120	0.079	0.170	0.127	0.129					
	2	3	4	5	6	7	8	9					10
1													13
Республика Карелия													
2018	Н	Н	К	ПК	Н	К	К	К	0.559	0.12	0.321	К	
2022	Н	Н	К	ПК	Н	К	К	К	0.559	0.12	0.321	К	
Республика Коми													
2018	Н	Н	Н	Н	Н	К	ПК	ПК	0.17	0.256	0.574	ПК	
2022	Н	Н	Н	Н	ПК	К	К	К	0.42	0.079	0.495	К	
Архангельская область													
2018	Н	Н	К	ПК	Н	К	ПК	К	0.432	0.247	0.321	К	
2022	Н	Н	К	ПК	Н	К	ПК	К	0.432	0.247	0.321	К	

² Состояние ЭБ в регионе признается кризисным, если сумма удельных весов индикаторов в состоянии “К” превышает 0.4.
³ Состояние ЭБ в регионе признается нормальным, если сумма удельных весов индикаторов в состоянии “Н” превышает 0.7.

Таблица 5. Окончание

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Вологодская область												
2018	Н	Н	К	К	Н	Н	ПК	Н	0.253	0.127	0.62	ПК
2022	Н	Н	К	К	Н	Н	ПК	К	0.382	0.127	0.491	ПК
Калининградская область												
2018	Н	Н	К	К	К	ПК	ПК	Н	0.332	0.297	0.371	ПК
2022	Н	Н	К	К	ПК	ПК	ПК	Н	0.253	0.376	0.371	ПК
Ленинградская область												
2018	Н	Н	Н	К	К	Н	ПК	К	0.249	0.297	0.454	ПК
2022	Н	Н	ПК	К	Н	ПК	ПК	Н	0.12	0.43	0.45	ПК
Мурманская область												
2018	Н	Н	К	К	Н	ПК	К	К	0.509	0.17	0.321	К
2022	Н	Н	К	К	Н	ПК	К	ПК	0.38	0.299	0.321	ПК
Новгородская область												
2018	Н	Н	К	К	К	К	ПК	К	0.631	0.127	0.242	К
2022	Н	Н	К	К	К	К	К	К	0.758	0	0.242	К
Псковская область												
2018	Н	Н	К	К	К	ПК	К	К	0.588	0.17	0.242	К
2022	Н	Н	К	К	К	ПК	К	К	0.588	0.17	0.242	К

Таблица 6. Относительные расчетные недопоставки газа на прямое потребление по регионам С-ЗФО

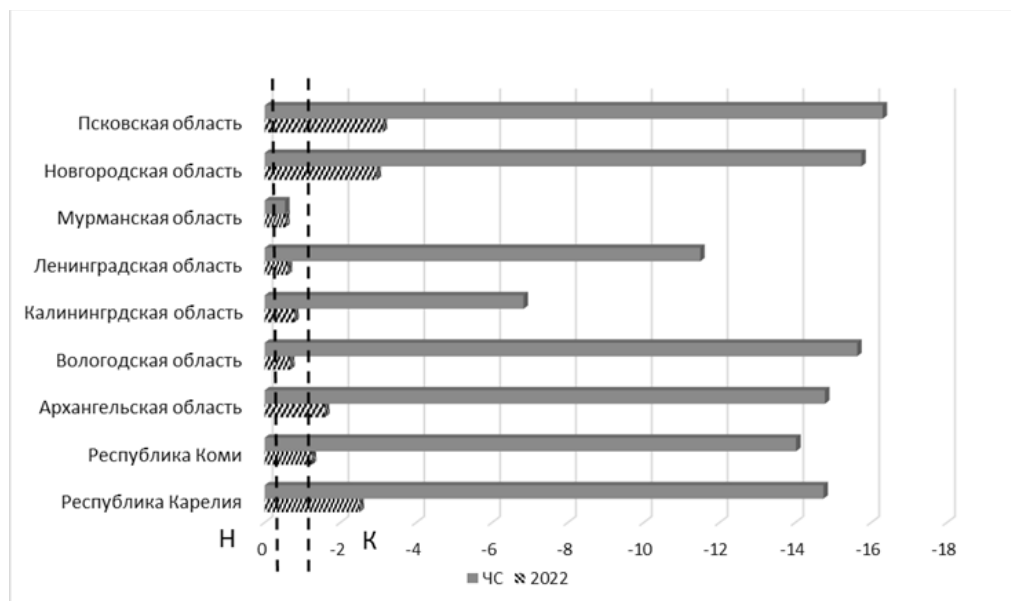
Субъект РФ	Дефицит газа, %	Количество влияющих КВО ЕСГ, шт.
Республика Карелия	100	10
Республика Коми	100	4
Архангельская область	100	8
Калининградская область	100	10
Ленинградская область	100	10
Новгородская область	100	10
Псковская область	100	10
Вологодская область	100	10

соответственно, пороговые значения предкризисного и кризисного состояний индикатора i в системе исходных единиц.

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

ПИКОВЫЕ ПОДЗЕМНЫЕ ХРАНИЛИЩА ГАЗА

Одной из возможных мер по уменьшению уязвимости систем газоснабжения регионов может являться изменение конфигурации газотранспортной сети, в том числе при подключении дополнительного источника газа в случае возникновения

**Рис. 1.** Интегральная качественная оценка состояния ЭБ регионов Северо-Западного федерального округа в случае возникновения ЧС.

ЧС. В качестве такого источника могут быть рассмотрены подземные хранилища газа (ПХГ) пикового типа, которые могут быть созданы в российской газотранспортной системе.

В целом запасы газа в ПХГ предназначены для регулирования неравномерностей (сезонной и пиковой) газопотребления, а также для обеспечения газом при возникновении нештатных и форс-мажорных ситуаций [7].

Согласно [8, 9], на период до 2030 г. планируется ввод 14 новых ПХГ для выравнивания пиковой неравномерности газопотребления, показатели которых представлены в табл. 7.

Таблица 7. Характеристика пиковых ПХГ РФ по проектам ввода до 2030 г.

№	Пиковое подземное хранилище газа	Субъект РФ	Активный объем газа	Максимальный объем отбора в сутки
			млн м ³	
1	Удмуртский Резервирующий Комплекс	Республика Удмуртия	640	7.5
2	Калининградское	Калининградская область	174	12
3	Беднодемьяновское	Пензенская область	2000	30
4	Новомосковское	Тульская область	340	30
5	Арбузовское	Республика Татарстан	700	12.8
6	Шатровское	Курганская область	1000	14
7	Волгоградское	Волгоградская область	300	0.25
8	Скалинское	Волгоградская область	2292	30
9	Березняковское	Пермский край	324	17
10	Тульское	Тульская область	300	30
11	Смоленское	Смоленская область	600	50
12	Сереговское	Республика Коми	1000	50
13	Серпуховское	Московская область	300	30
14	Шедокское	Краснодарский край	300	30

Табл. 7 наглядно демонстрирует, что к 2030 г. планируется создание нескольких крупных пиковых ПХГ с возможностями по суточному отбору 30 и более млн м³.

В данной работе была поставлена задача оценить, как повлияет на уязвимость систем газоснабжения регионов создание пиковых ПХГ для Северо-Западного ФО, с целью изменения ситуации с рассмотренной выше недопоставкой газа. Результаты, полученные при моделировании включенных в систему ЕСГ Калининградского и Сереговского ППХГ, представлены в табл. 8. Стопроцентный дефицит газа в таком случае остался только для потребителей Республики Карелии, а в остальных регионах надежность поставок газа практически полностью восстановлена.

Качественная интегральная оценка с учетом ППХГ представлена в табл. 9 и на рис. 2, с целью оценить изменившуюся ситуацию в регионах С-ЗФО с позиций обеспечения требуемого уровня ЭБ.

Таблица 8. Относительные расчетные недопоставки газа на прямое потребление по регионам СЗФО с учетом планируемых ППХГ

Субъект РФ	Относительный дефицит газа при ЧС на ЕСГ, %	Относительный дефицит газа с учетом ППХГ, %
Республика Карелия	100	100
Республика Коми	100	0
Архангельская область	100	0
Калининградская область	100	0
Ленинградская область	100	27
Новгородская область	100	16.5
Псковская область	100	0
Вологодская область	100	0

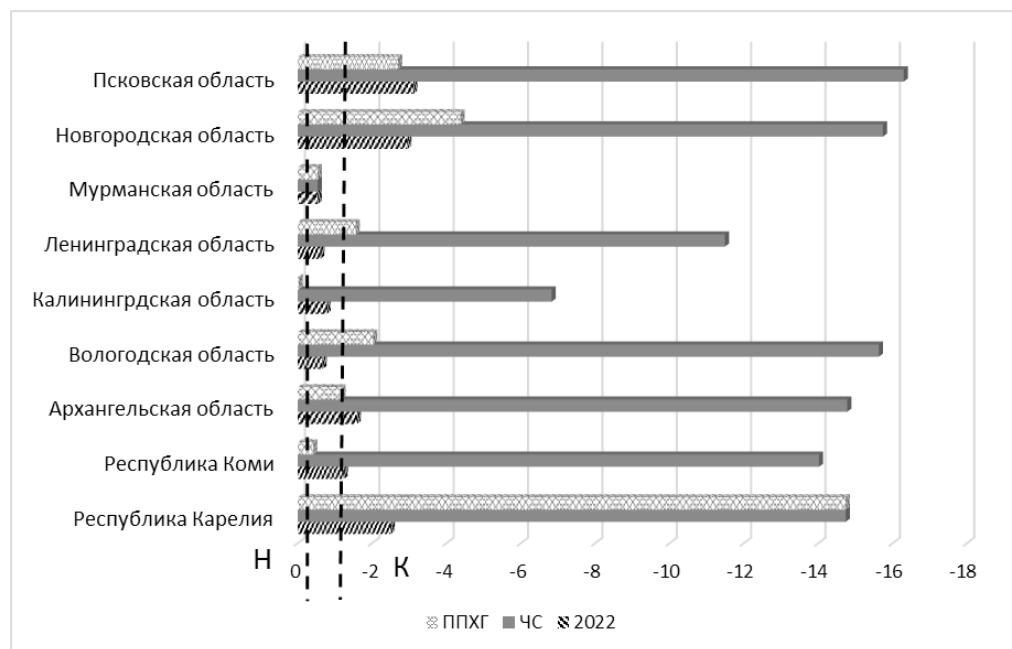


Рис. 2. Интегральная качественная оценка состояния ЭБ регионов Северо-Западного федерального округа с учетом пиковых ПХГ.

Таблица 9. Качественная оценка состояния энергетической безопасности на территории субъектов СЗФО

Год	Порядковые номера оцениваемых индикаторов 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 ⁴	ПК	Н ⁵	
0.104	0.138	0.133	0.120	0.079	0.170	0.127	0.129					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Республика Карелия												
2022	Н	Н	К	ПК	Н	К	К	К	0.559	0.12	0.321	К
ППХГ	Н	Н	К	ПК	Н	К	К	К	0.559	0.12	0.321	К
Республика Коми												
2022	Н	Н	Н	Н	ПК	К	К	К	0.426	0.079	0.495	К
ППХГ	Н	Н	Н	Н	ПК	Н	К	К	0.256	0.079	0.665	ПК
Архангельская область												
2022	Н	Н	К	ПК	Н	К	ПК	К	0.432	0.247	0.321	К
ППХГ	Н	Н	К	ПК	Н	Н	ПК	К	0.262	0.247	0.491	ПК
Вологодская область												
2022	Н	Н	К	К	Н	Н	ПК	К	0.382	0.127	0.491	ПК
ППХГ	Н	Н	К	К	Н	Н	ПК	К	0.382	0.127	0.491	ПК

Калининградская область												
2022	Н	Н	К	К	ПК	ПК	ПК	Н	0.253	0.376	0.371	ПК
ППХГ	Н	Н	К	К	ПК	Н	ПК	Н	0.253	0.206	0.541	ПК
Ленинградская область												
2022	Н	Н	ПК	К	Н	К	ПК	Н	0.12	0.43	0.450	ПК
ППХГ	Н	Н	ПК	К	Н	ПК	ПК	Н	0.290	0.260	0.450	ПК
Мурманская область												
2022	Н	Н	К	К	Н	ПК	К	ПК	0.38	0.299	0.321	ПК
ППХГ	Н	Н	К	К	Н	ПК	К	ПК	0.38	0.299	0.321	ПК
Новгородская область												
2022	Н	Н	К	К	К	К	К	К	0.758	0	0.242	К
ППХГ	Н	Н	К	К	К	К	К	К	0.758	0	0.242	К
Псковская область												
2022	Н	Н	К	К	К	ПК	К	К	0.588	0	0.412	К
ППХГ	Н	Н	К	К	К	Н	К	К	0.588	0.17	0.242	К

⁴ Состояние ЭБ в регионе признается кризисным, если сумма удельных весов индикаторов в состоянии “К” превышает 0,4.
⁵ Состояние ЭБ в регионе признается нормальным, если сумма удельных весов индикаторов в состоянии “Н” превышает 0,7.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в статье результаты оценки уровня ЭБ регионов Северо-Западного федерального округа для трех сценариев (в нормальных условиях, в случае возникновения ЧС в ЕСГ, в случае возникновения ЧС в ЕСГ с учетом ввода пиковых ПХГ), позволяют сделать вывод и подтвердить необходимость создания в ЕСГ пиковых ПХГ для анализируемых территорий. Кроме того, в работе обоснована эффективность применения имитационных моделей газовой отрасли для анализа уязвимости систем газоснабжения регионов. Пиковые ПХГ, запланированные к созданию до 2030 г. снижают уязвимость системы газоснабжения регионов, повышая надежность их топливоснабжения и их уровень ЭБ в целом. При отключении КВО, влияющих на газоснабжение СЗФО, оба выбранных из планируемых пиковых ПХГ смогли снизить возрастающий дефицит газа во всех регионах за исключением Республики Карелии.

Исследование выполнено в рамках проекта государственного задания FWEU-2021-0003 (рег. номер. АААА-А21-121012090014-5) фундаментальных исследований СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика мониторинга состояния энергетической безопасности России на региональном уровне / С.М. Сендеров, Н.И. Пяткова, В.И. Рабчук, Г.Б. Славин, С.В. Воробьев, Е.М. Смирнова. – Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2014. – 146 с.
2. СП131.13330.2020. Строительная климатология / Минстрой России. – М.: ГП ЦПП, 2021
3. *Senderov S.M., Vorobev S.V.* Approaches to the identification of critical facilities and critical combinations of facilities in the gas industry in terms of its operability. *Reliability Engineering & System Safety*, Volume 203, 107046, 2020, doi: 10.1016/j.res.2020.107046.
4. *Сендеров С.М., Смирнова Е.М., Воробьев С.В.* Подходы к оценке уязвимости систем топливоснабжения газопотребляющих регионов России в условиях прекращения работы особо значимых объектов газовой отрасли / Известия РАН. Энергетика, № 1, 2020, С. 82–91.
5. *Береснева Н.М., Сендеров С.М.* Анализ влияния крупномасштабных ЧС в газовой отрасли на возможности топливо- и энергоснабжения потребителей в условиях значительных похолоданий // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Вып. 74. Надежность систем энергетики в условиях энергетического перехода. 2023, С. 71–81.
6. *Сендеров С.М., Смирнова Е.М.* Использование нормализованных значений индикаторов для определения уровня энергетической безопасности на примере Центрального и Южного федеральных округов // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики: Вып. 73. Надежность систем энергетики в условиях энергетического перехода. 2022, С. 131–142.
7. *Казарян В.А.* Подземное хранение газов и жидкостей. Т. 2. Эксплуатация. Ремонт. Консервация. Ликвидация. Применение хранилищ газов и жидкостей в различных отраслях экономики. – М. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2019. – 660 с.
8. Генеральная схема развития газовой отрасли России на период до 2030 года, Москва, 2008, 184 с.
9. <https://www.gazprom.ru/about/production/underground-storage/> [Электронный ресурс].

Assessment of the Level of Energy Security of Regions in Emergency Situations in the Gas Industry Using the Example of the Northwestern Federal District

S. M. Senderov^a, E. M. Smirnova^{a, *}, S. V. Vorobev^a

*^aMelentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Irkutsk, Russia*

**e-mail: smirnova.e.m@sem.irk.ru*

The article presents an assessment of the energy security level using the example of the subjects of the Russian Federation located in the Northwestern Federal District. The approach to the assessment is based on the use of the apparatus for monitoring and indicative analysis of energy security (ES) developed at the ISEM SB RAS. An assessment of the ES level in the regions is carried out based on modeling the situation with the cessation of operation of the most important gas industry facilities, and an analysis of the dynamics, scales and trends in the change in the state of the ES level is carried out when modeling the situation using peak UGS facilities provided for by the General Scheme for the Development of the Gas Industry for the Period up to 2030 for the analyzed subjects of the Russian Federation.

Keywords: energy security, indicative analysis, underground gas storage facilities, fuel and energy supply, gas industry, Northwestern Federal District