

---

---

УДК 338.24:621.3

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ПОХОЛОДАНИЙ ПРИ КРУПНОМАСШТАБНЫХ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЯХ В ГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

© 2024 г. С. М. Сендеров\*, Н. М. Береснева

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

*\*e-mail: ssm@isem.irk.ru*

Поступила в редакцию 25.10.2023 г.

После доработки 17.06.2024 г.

Принята к публикации 22.06.2024 г.

В статье представлены основные составляющие методического подхода к анализу возможностей поставки конечных видов энергии потребителям при потере работоспособности критически важных объектов газовой отрасли России в условиях похолоданий на территориях федеральных округов. Описывается принцип выбора территориального разреза для анализа ситуации с одновременным повышением спроса на ТЭР. Приводится алгоритм проведения исследований. Исследования проводятся путем моделирования работы ТЭК страны в период средних суток января в условиях пиково возрастающего спроса на тепловую энергию на территориях федеральных округов. При этом похолодание моделируется поочередно по каждому из федеральных округов в зоне действия Единой системы газоснабжения России. Анализ возможностей удовлетворения потребностей в конечных видах энергии по субъектам РФ проводится по всем ключевым сценариям похолодания и потери работоспособности критически важных объектов газовой отрасли. Показаны принципы моделирования ситуации с поставкой конечных видов энергии потребителям в указанных ситуациях. Выявляются наиболее уязвимые в анализируемых условиях регионы и делается вывод о необходимости взвешенного подхода к определению оптимальной степени доминирования природного газа в топливно-энергетическом балансе регионов с учетом имеющихся возможностей осуществления его поставок в условиях крупномасштабных чрезвычайных ситуаций в газовой отрасли.

*Ключевые слова:* критически важные объекты, надежность топливно- и энергоснабжения, газовая отрасль, недоотпуск электрической и тепловой энергии

**DOI:** 10.31857/S0002331024020026

## ВВЕДЕНИЕ

Исследования, касающиеся анализа последствий крупномасштабных чрезвычайных ситуаций (ЧС) в энергетике, сопровождающихся снижением, вплоть до полной потери, работоспособности отдельных энергетических объектов ведутся уже достаточно длительный период [1, 2]. За это время были разработаны подходы к выявлению критически важных объектов (КВО) энергетики и сформулированы соответствующие алгоритмы [3–5]. В данных исследованиях было показано, что далеко не всегда в условиях потери работоспособности тех или иных объектов энергетики возможно обеспечить бездефицитное энергоснабжение потребителей. Наибольшую опасность для такого бездефицитного топливо- и энергоснабжения потребителей представляют преднамеренные воздействия, ограничивающие производственные возможности указанных КВО систем энергетики (СЭ). При этом наиболее неприятных последствий для потребителей следует ожидать в периоды повышенного спроса на соответствующие виды энергии. Для России это холодные зимние месяцы. Аппарат использования коэффициентов сезонной неравномерности потребления конечных видов энергии позволяет оценивать потребности в ТЭР в усредненные наиболее холодные сутки в том или ином регионе. Однако достаточно сложно оценить возможности удовлетворения спроса на конечные виды энергии в условиях его пикового повышения, к примеру, при значительных похолоданиях. Здесь требуется решение двух вопросов: хватит ли производственных возможностей ТЭК страны по обеспечению такого пиково возрастающего спроса и что будет, если именно в этот период придется иметь дело с потерей работоспособности отдельных КВО энергетики? В данной статье предлагается подход, позволяющий ответить на данные вопросы на примере КВО газовой отрасли России.

## ВЫБОР ТЕРРИТОРИИ ДЛЯ АНАЛИЗА СИТУАЦИИ С ОДНОВРЕМЕННЫМ ПОВЫШЕНИЕМ СПРОСА НА ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РЕСУРСЫ

При проведении заявленного выше анализа возникает вопрос: корректно ли рассматривать ситуацию с похолоданием на территории лишь одного региона? Особенно актуален этот вопрос для регионов европейской части страны с их относительно небольшими территориями при относительно высокой плотности населения. Вероятнее всего похолодание со схожими признаками может проявиться одновременно в нескольких соседних регионах. Тогда на территории нескольких регионов будет увеличена потребность в конечных видах энергии. При этом и нагрузка на федеральные системы энергетики будет больше, чем при похолодании в одном регионе. Если уголь с необходимым нормированным запасом находится на угольных ТЭС, то с газом – другая ситуация. В силу ограниченности пропускных способностей отдельных участков газотранспортной сети, в значительной степени обостряются вопросы с обеспечением увеличенного спроса на природный газ. При недостатке таких пропускных способностей могут сформироваться недопоставки природного газа потребителям, в частности, газопотребляющим тепло- и электрогенерирующим мощностям, что в свою очередь способно привести к недоотпуску соответствующих видов ТЭР.

На каком уровне территорий, объединяющих разные регионы, целесообразно остановиться для моделирования одновременного похолодания? Существует устойчивое понятие климатической зоны. В [6] указано, что климатическая зона – это широкая область земной поверхности, внутри которой создается приблизительно



Рис. 1. Климатическое зонирование России.



Рис. 2. Деление России на федеральные округа.

однородный климат по всей протяженности такой области. На рис. 1 на территории России выделены 5 поясов от тропического к полярному: 1-й, 2-й, 3-й, 4-й и особый. Весь север России и острова Северного Ледовитого океана расположены в арктическом и субарктическом поясах. Средняя полоса РФ имеет умеренный климатический пояс. Юг находится в субтропиках, но площадь его весьма незначительна – даже 5% территории РФ не входят в эту зону.

Из рис. 1 видно, что выделенные климатические зоны очень велики по протяженности и одновременное похолодание со значительным увеличением потребности в КПП по всей такой зоне вряд ли может наступить. С другой стороны, территория России достаточно обоснованно административно поделена на федеральные округа, рис. 2.

Чаще всего округа характеризуются более компактной (по сравнению с климатическими зонами) территорией. По-видимому, логичнее моделировать одновременное похолодание на территории федерального округа в целом, если анализ касается европейской части России. Собственно, именно эти округа и небольшая часть регионов Сибирского федерального округа и располагаются в зоне действия ЕСГ России. В качестве допущения предлагается так и рассматривать ситуацию с периодами пикового повышения спроса на конечные виды энергии – по территориям федеральных округов, располагающихся в зоне действия ЕСГ.

### ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Предлагаемый порядок исследования следующий:

- моделирование работы ТЭК страны в период средних суток января в условиях пиково возрастающего спроса на тепловую энергию на территории федерального округа (похолодание моделируется поочередно по каждому из федеральных округов в зоне действия ЕСГ); анализ возможностей удовлетворения потребностей в конечных видах энергии по субъектам РФ по всем рассматриваемым сценариям;

- моделирование потери работоспособности ранее выявленных КВО газовой отрасли (по одному) при каждом сценарии похолодания в федеральных округах с учетом возможностей минимизации недопоставок ТЭР потребителям в рамках работы единого ТЭК; анализ возможных объемов недопоставок тепловой, электрической энергии и газа для прямого потребления по субъектам РФ;

- выявление федеральных округов, наиболее подверженных недопоставкам конечных видов энергии в анализируемых условиях с характеристикой ситуации в регионах, входящих в эти округа.

Порядок исследований представлен на рис. 3 в виде соответствующего алгоритма.

### ЕДИНАЯ СИСТЕМА ГАЗОСНАБЖЕНИЯ РОССИИ

Сложившаяся территориальная структура ЕСГ России обладает рядом существенных недостатков. Сегодня более 85% всего российского газа добывается в северных районах Тюменской области. Основные потребители газа внутри страны – ее европейские регионы и пункты экспортной сдачи газа – расположены в 2–2.5 тыс. км от мест его добычи. Весь этот газ транспортируется на дальние расстояния с помощью газотранспортных многониточных коридоров со значительной концентрацией газовых потоков в одном коридоре. Эти коридоры имеют большое число взаимных пересечений и перемычек. В настоящее время в ГТС России имеется несколько потенциально опасных для функционирования ЕСГ пересечений МГ. Нарушение работы некоторых из них может привести к значительным ограничениям поставок газа потребителям. Значительная часть таких пересечений представляет собой КВО ЕСГ с позиций обеспечения требуемой работоспособности ГТС.

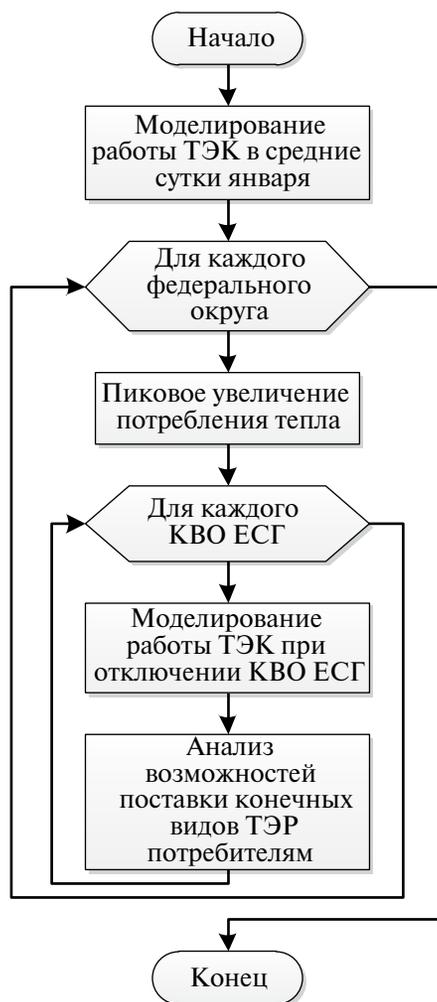


Рис. 3. Алгоритм проведения исследований.

Ранее в исследованиях на базе моделирования газотранспортной сети России были выявлены КВО ЕЭС России, т.е. те объекты газовой отрасли, потеря работоспособности которых может привести к существенным дефицитам газа у потребителей (в относительных объемах 5% и более от суммарной потребности в газе по системе).

Исходные условия для расчетов были следующие: средние сутки максимального потребления газа в сети (январь 2021 г.). В такие сутки работу сети можно считать наиболее напряженной. Суммарный поток газа по сети в эти сутки, учитывая экспорт, составил округленно 2180 млн м<sup>3</sup>, при величине потребления газа внутри страны порядка 1550 млн м<sup>3</sup>/сут. Исследования показали, что потенциальный дефицит газа у потребителей может наблюдаться при прекращении работы 449 объектов ЕЭС (242 узла, 199 дуг и 8 пересечений МГ расчетного графа) из общего количества

рассматриваемых в модели объектов (1010 (382 узла и 628 дуг)). Из этого количества объектов ранее [7, 8] был выделен 61 объект, единичные прекращения работы которых способны привести к относительному дефициту газа в 5% и более от суммарной потребности в газе по ЕСГ. Среди этих объектов 22 дуги МГ между узловыми КС, 36 узлов (30 узловых КС, 5 головных КС на выходах с месторождений, 1 КС на выходе с ПХГ) и 3 пересечения МГ между КС. Эти объекты составляют современный перечень КВО ЕСГ.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИТУАЦИИ С ПОСТАВКОЙ КОНЕЧНЫХ ВИДОВ ЭНЕРГИИ ПОТРЕБИТЕЛЯМ

В результате соответствующих расчетов с использованием модели газовой отрасли [1, 2] с отключением каждого из выявленных КВО были определены возможные в этих случаях дефициты газа по регионам РФ. Далее уже на модели ТЭК [9] решалась задача минимизации указанных негативных последствий для потребителей конечных видов энергии с учетом возможностей взаимозаменяемости разных видов ТЭР и возможностей диверсификации источников конечных видов энергии. При этом потребности каждого региона в конечных видах энергии были агрегированы следующим образом: электроэнергия, тепловая энергия и прямое потребление газа прочими потребителями.

Задача моделирования ТЭК в целом подробно описана в [9] и математически представляет собой классическую задачу линейного программирования. Постановка и ограничения этой задачи записываются следующим образом:

$$AX - \sum_{t=1}^T Y^t = 0, \quad (1)$$

$$0 \leq X \leq D, \quad (2)$$

$$0 \leq Y^t \leq R^t, \quad (3)$$

где  $t$  – категории потребителей;  $A$  – матрица технологических коэффициентов производства (добычи, переработки, преобразования) и транспорта отдельных видов топлива и энергии;  $X$  – искомый вектор, компоненты которого характеризуют интенсивность использования технологических способов функционирования энергетических объектов (добычи, переработки, преобразования и транспорта энергоресурсов, запасов топлива);  $Y^t$  – искомый вектор, компоненты которого характеризуют объемы потребления отдельных видов топлива и энергии отдельными категориями потребителей ( $t$ );  $D$  – вектор, определяющий технически возможные интенсивности использования отдельных технологических и производственных способов;  $R^t$  – вектор с компонентами, равными объемам заданного потребления отдельных видов топлива и энергии отдельными категориями потребителей.

Целевая функция при этом имеет следующий вид:

$$(C, X) + \sum_{t=1}^T (r^t, g^t) \rightarrow \min, \quad (4)$$

где первая составляющая отражает издержки, связанные с функционированием отраслей ТЭК. Здесь  $C$  – вектор удельных затрат по отдельным технологическим способам функционирования энергетических объектов; вторая составляющая – ущербы от дефицита по каждому виду топлива и энергии у каждой из выделенных категорий потребителей. Величины дефицита энергоресурсов  $g^i$  у потребителей определяются выражением  $(R^i - Y^i)$ . Вектор  $r^i$  условно обозначает “удельный ущерб” у потребителя.

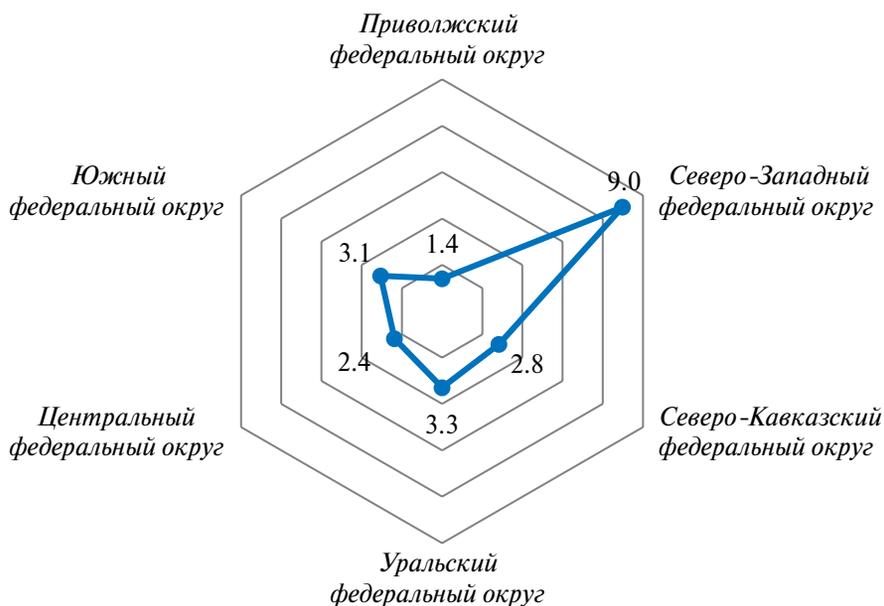
Данная модель реализована в рамках ПВК “Корректива +” [10]. В результате расчетов определяются: возможные объемы суточного недоотпуска тепловой и электрической энергии потребителям, а также объемы недопоставок газа для его прямого потребления в регионах страны при отключении соответствующих КВО ЕСГ с учетом взаимосвязанной работы всех отраслей ТЭК, запасов ТЭР, возможностей взаимозаменяемости различных видов ТЭР и диверсификации энергоисточников.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основой для дальнейших исследований послужили величины расчетных недопоставок газа, которые могут сформироваться в условиях реализации соответствующих сценариев. На рис. 4 представлены усредненные относительные недопоставки газа за время указанных нештатных ситуаций по федеральным округам в зоне действия ЕСГ. Из данных рис. 4 видно, что наибольшим образом при реализации вышеуказанных расчетных условий в среднем от недопоставок газа могут пострадать потребители Северо-Западного федерального округа (СЗФО). Дело в том, что в этом округе находятся крупные промышленные потребители газа, полностью зависящие от газотранспортной инфраструктуры. В то же время в этом округе достаточно много крупных пересечений магистральных газопроводов и других критически важных объектов газовой отрасли, выход из строя которых способен в значительной степени ограничить поставки газа потребителям.

Следующим шагом поочередно в каждом из федеральных округов в зоне действия ЕСГ были исследованы возможности удовлетворения потребностей в электрической и тепловой энергии при пиковом увеличении спроса на тепловую энергию с учетом возможных отключений КВО ЕСГ. При этом в рассматриваемых условиях наиболее холодных суток, были приняты следующие приоритеты распределения дефицитов газа: в первую очередь в регионах удовлетворяется потребность на производство тепловой энергии, затем потребности прямого потребления газа и в последнюю очередь – потребности на производство электроэнергии. Такое отношение к потребностям в электроэнергии в исследовании было принято с целью активизации использования в модели электрогенерирующих источников, не потребляющих природный газ. В табл. 1 приведены усредненные относительные величины суммарного дефицита конечных видов энергии при единичных отключениях КВО ЕСГ.

Данные, полученные при моделировании взаимосвязанной работы всех энергетических отраслей, показали, что наибольшим образом от недопоставок конечных видов энергии могут пострадать опять же потребители СЗФО. Средний относительный дефицит газа на прямое потребление (без нужд электро- и теплогенерирующих мощностей) в данном округе самый большой, достаточно велики усредненные относительные недоотпуски электроэнергии и даже присутствуют возможные относительные недоотпуски тепловой энергии, несмотря на вышеуказанную ее приоритетность. Те же проблемы, но в меньшем масштабе, можно отметить в Уральском



**Рис. 4.** Усредненные по рассматриваемым сценариям расчетные относительные недопоставки газа по федеральным округам в зоне действия ЕСГ, %.

и Приволжском федеральных округах. В остальных рассматриваемых округах во всех сценариях с отключением КВО ЕСГ по одному не проявляются возможные дефициты тепловой энергии, а в Южном и в Северо-Кавказском округах полностью удовлетворяется и спрос на газ для его прямого потребления.

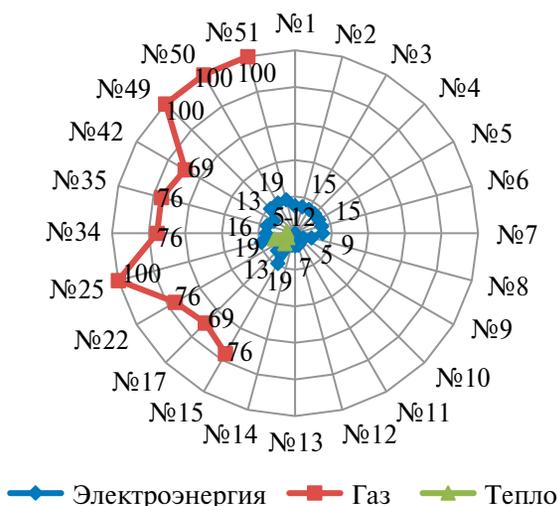
Ситуацию, которая могла бы сложиться при реализации анализируемых сценариев в наиболее подверженном недопоставкам конечных видов ТЭР Северо-Западном федеральном округе рассмотрим подробнее по каждому сценарию отключения КВО ЕСГ. На рис. 5 приведена диаграмма, представляющая возможные относительные дефициты электрической и тепловой энергии, а также газа на прямое потребление в СЗФО при отключении отдельных КВО газовой отрасли. Из рисунка видно, что в ряде случаев (отключение КВО ЕСГ № 25, 49, 50, 51 по одному) газ на прямое потребление при принятых приоритетах его распределения в принципе не может быть поставлен. Практически при всех отключениях, представленных на рисунке КВО ЕСГ, можно ожидать недоотпуски электроэнергии, а при отключении каждого из пяти КВО ЕСГ (№ 17, 22, 25, 34, 35) — даже относительные недоотпуски тепловой энергии.

Ниже, в табл. 2–4, представлены расчетные дефициты конечных видов ТЭР по субъектам РФ на территории СЗФО при отключении конкретных КВО ЕСГ в условиях похолодания на территории округа.

Из данных табл. 2 видно, что наибольшие недоотпуски электроэнергии потребителям могут иметь место в Псковской и Калининградской областях. Так, в случаях потери работоспособности по одному 9 КВО ЕСГ, в Псковской области можно ожидать практически полного прекращения отпуска электроэнергии. Это объясняется тем, что вся собственная электроэнергия производится здесь на газе,

Таблица 1. Усредненные относительные величины суммарного дефицита конечных видов энергии по федеральным округам при единичных отключениях КВО ЕСГ, %

Федеральный округ, вид ТЭР	Поголодание в федеральных округах					
	Приволжский	Северо-Западный	Северо-Кавказский	Уральский	Центральный	Южный
Приволжский						
Газ (прямое погр.)	1.0	0.7	0.7	1.0	1.0	1.0
Электроэнергия	6.6	6.0	5.6	5.8	6.5	5.8
Тепловая энергия	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4
Северо-Западный						
Газ (прямое погр.)	12.4	13.8	14.9	12.4	12.4	12.4
Электроэнергия	5.0	4.9	5.0	4.7	5.0	4.6
Тепловая энергия	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5
Северо-Кавказский						
Газ (прямое погр.)	0	0	0	0	0	0
Электроэнергия	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
Тепловая энергия	0	0	0	0	0	0
Уральский						
Газ (прямое погр.)	1.8	1.8	1.8	2.0	1.8	1.8
Электроэнергия	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4	5.3
Тепловая энергия	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Центральный						
Газ (прямое погр.)	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5
Электроэнергия	1.8	1.7	1.6	1.6	1.7	1.6
Тепловая энергия	0	0	0	0	0	0
Южный						
Газ (прямое погр.)	0	0	0	0	0	0
Электроэнергия	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
Тепловая энергия	0	0	0	0	0	0



**Рис. 5.** Расчетный относительный дефицит конечных видов ТЭР в СЗФО в условиях похолодания при отключении КВО ЕСГ, %.

электроэнергия, которая может быть поставлена в область по имеющимся межрайонным связям, также вырабатывается в основном на газе, уровень дефицита которого по субъектам в анализируемой ситуации отчасти демонстрирует табл. 3.

В случае Калининградской области дефицит электроэнергии объясняется также слишком высоким доминированием природного газа (более 95% в балансе КПП), при том, что область снабжается газом только из одного тупикового магистрального газопровода. В области используется Калининградское ПХГ, но величина максимального отбора газа из него составляет 4.8 млн м<sup>3</sup>/сут при потребности области в анализируемых условиях – 8.9 млн м<sup>3</sup>/сут. В область при необходимости может доставляться СПГ плавучей регазификационной установкой “Маршал

**Таблица 2.** Относительные расчетные недоотпуски электроэнергии в регионах Северо-Западного федерального округа

Субъект РФ	Диапазон относительных недоотпусков, %	Количество влияющих КВО ЕСГ, шт.
Республика Карелия	10–43	17
Республика Коми	38–40	19
Архангельская область (с НАО)	13–40	24
Калининградская область	76–85	10
Ленинградская область (с СПб)	9–10	10
Новгородская область	15–17	10
Псковская область	27–97	17
Вологодская область	21–58	8

**Таблица 3.** Относительные расчетные недопоставки газа на прямое потребление по регионам Северо-Западного федерального округа

Субъект РФ	Относительный недоотпуск, %	Количество влияющих КВО ЕСГ, шт.
Республика Карелия	100	10
Республика Коми	100	4
Архангельская область (с НАО)	100	8
Калининградская область	100	10
Ленинградская область (с СПб)	100	10
Новгородская область	100	10
Псковская область	100	10
Вологодская область	100	10

**Таблица 4.** Относительные расчетные недоотпуски тепловой энергии по регионам Северо-Западного федерального округа

Субъект РФ	Относительный недоотпуск, %	Количество влияющих КВО ЕСГ, шт.
Республика Карелия	43	1
Республика Коми	45	1
Архангельская область (с НАО)	35-37	4
Вологодская область	55	1

Василевский” [11], но инфраструктура системы газоснабжения такова, что газ с этой установки подается непосредственно в ПХГ.

Приоритет в распределении поставленного природного газа со стороны производства тепловой энергии сформировал ситуацию полного прекращения подачи газа на его прямое потребление (в условиях отключения соответствующих КВО ЕСГ) в следующих субъектах, табл. 3.

Несмотря на приоритет, отданный производству тепловой энергии при дефиците газа в случаях отключений отдельных КВО, потребители нескольких субъектов будут испытывать проблемы с поставкой тепловой энергии, что видно из табл. 4.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный в данной статье подход с использованием соответствующего инструментария позволяет анализировать возможности снабжения потребителей конечными видами энергии в условиях пикового возрастания спроса на тепловую энергию при похолоданиях на территориях федеральных округов при потере работоспособности отдельных КВО ЕСГ. Исследования показали, что особенно

уязвимыми к ограничениям работоспособности важнейших объектов газовой отрасли являются регионы со значительной долей доминирования природного газа, находящиеся на периферии газотранспортной сети. Этот факт необходимо принимать во внимание при планировании дальнейшего развития газификации российских регионов.

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., Рабчук В.И., Еделева А.В.* Особенности формирования перечня критически важных объектов газотранспортной сети России с учетом требований энергетической безопасности и возможные меры минимизации негативных последствий от чрезвычайных ситуаций на таких объектах // Изв. РАН. Энергетика, 2016. № 1. С. 70–78.
2. *Senderov S.M., Edelev A.V.* Formation of a list of critical facilities in the gas transportation system of Russia in terms of energy security // Energy, 2019. V. 184. P. 105–112.
3. *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 // Изв. РАН. Энергетика, 2020. № 1. С. 82–91.
4. *Senderov S., Smirnova E., Vorobev S.* Analysis of vulnerability of fuel supply systems in gas-consuming regions due to failure of critical gas industry facilities // Energy, 2020. V. 212. P. 118785.
5. *Сендеров С.М., Крупнёв Д.С., Воробьев С.В., Береснева Н.М., Бояркин Д.А.* Методический подход к оценке уровня значимости критически важных объектов энергетики при взаимосвязанной работе энергетических отраслей // Изв. РАН. Энергетика, 2023. № 2. С. 31–45.
6. Климатические зоны России. URL: <https://wearpro.ru/biblioteka/klimaticheskie-zony-rossii.html>
7. *Сендеров С.М., Воробьев С.В.* Формирование перечней критически важных объектов газовой отрасли и их сочетаний с позиций энергетической безопасности страны // Известия РАН. Энергетика, 2019. № 1. С. 59–69.
8. *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, 2020. V. 203. P. 107046.
9. *Сендеров С.М., Рабчук В.И., Пяткова Н.И.* Методический подход для исследования надежности топливо- и энергоснабжения потребителей в условиях негативных возмущений в энергетике // Изв. РАН. Энергетика, 2022. № 3. С. 3–11.
10. *Еделева А.В., Сендеров С.М., Пяткова Н.И.* Применение геоинформационных технологий для исследования проблем энергетической безопасности // Проблемы управления, 2015. № 2. С. 68–74.
11. ПРГУ “Маршал Василевский” URL: <https://flot.gazprom.ru/fleet/prgu-marshal-vasilevskij/>

**Analysis of the Possibilities of Energy Supply  
to Consumers in Cold Conditions During Large-Scale  
Emergency Installations in the Gas Industry**

**S. M. Senderov\*, N. M. Beresneva**

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

*\*e-mail: ssm@isem.irk.ru*

The article presents the main components of the methodological approach to the analysis of the possibilities of supplying final types of energy to consumers in the event of a loss of performance of critical facilities of the Russian gas industry in conditions of cooling in the territories of the federal districts. The principle of choosing a territorial section for analyzing the situation with a simultaneous increase in demand for fuel and energy resources is described. An algorithm for conducting research is given. Research is carried out by modeling the work of the country's fuel and energy complex during the period of the average day of January in the conditions of a peak-increasing demand for thermal energy in the territories of federal districts. At the same time, the cooling is modeled in turn for each of the federal districts in the zone of operation of the Unified Gas Supply System of Russia. An analysis of the possibilities of meeting the demand for final types of energy in the constituent entities of the Russian Federation is carried out for all key scenarios of cooling and loss of efficiency of critical gas industry facilities. The principles of modeling the situation with the supply of final types of energy to consumers in these situations are shown. The most vulnerable regions under the analyzed conditions are identified. The conclusion is made about the need for a balanced approach to determining the optimal degree of dominance of natural gas in the fuel and energy balance of the regions, taking into account the existing opportunities for its supply in the conditions of large-scale emergencies in the gas industry.

*Keywords:* critical facilities, reliability of fuel and power supply, gas industry, undersupply of electrical and thermal energy