

Ольга АФАНАСЬЕВА
Ведущий специалист ИЦ «ЦКЭ», доцент
ВШАиТЭ Института энергетики ФГАОУ ВО
«Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого», к. т. н.
e-mail: eccolga@mail.ru

Гузель МИНГАЛЕЕВА
Заведующая кафедрой «Энергетическое
машиностроение» ФГБОУ ВО «Казанский
государственный энергетический
университет», д. т. н., доцент
e-mail: mingaleeva_gr@mail.ru

Мадина НАБИУЛЛИНА
Инженер УНИР ФГБОУ ВО «Казанский
государственный энергетический
университет»
e-mail: madinanabiullina@yandex.ru

Olga AFANASYEVA
Leading Specialist of the Research Center «CEC»,
Associate Professor of the Higher School of Economics
and Economics of the Institute of Energy of the Federal
State Autonomous Educational Institution of Higher
Education «Peter the Great St. Petersburg Polytechnic
University», Ph.D.
e-mail: eccolga@mail.ru

Guzel MINGALEEVA
Head of the Department of Power Engineering, Kazan
State Power Engineering University, Doctor of Technical
Sciences, Associate Professor
e-mail: mingaleeva_gr@mail.ru

Madina NABIULLINA
Engineer, UNIR,
Kazan State Power Engineering University
e-mail: madinanabiullina@yandex.ru

Аннотация. В работе на примере Северо-Западного федерального округа, как одного из ведущих в экономическом аспекте и разнообразных по доступности природных ресурсов, проведена оценка потенциала использования гибридных станций для обеспечения автономного энергоснабжения потребителей. В качестве традиционных ресурсов для использования на малых энергетических объектах в округе рассмотрены уголь, торф, природный газ, мазут и сланцы, возобновляемых – биомасса растительного происхождения, солнечная энергия и энергия ветра. Составлены карты по доступности источников энергии и определены регионы с наличием возможности по гибридному использованию данных энергоресурсов.
Ключевые слова: автономное энергоснабжение, топливно-энергетический комплекс, гибридные станции, органическое топливо, возобновляемые источники энергии.

Abstract. In current work the assessment of the potential for using hybrid stations to provide autonomous energy supply to consumers was carried out on the example of the North-Western Federal District, as one of the leading in the economic aspect and diverse in terms of the availability of natural resources. Coal, peat, natural gas, fuel oil, and oil shale are considered as traditional resources for use in small energy objects in the county, renewable resources include plant biomass, solar energy, and wind energy. Maps were made of the availability of traditional and renewable energy sources and regions with the possibility of hybrid use of these resources were identified.
Keywords: autonomous power supply, fuel and energy complex, hybrid stations, organic fuel, renewable energy sources.

// Печорский угольный бассейн содержит всю гамму углей для работы и активного развития сырьевой базы коксохимии и энергетики

Введение

В настоящее время энергетический рынок переживает переходный период. На этом фоне одним из основных вызовов становится обеспечение доступности и надежности энергетических ресурсов. При этом все чаще на первый план выходит понятие «безуглеродная» энергетика как ключевой элемент в обеспечении экологической безопасности любой страны.

Для достижения конкурентоспособности традиционных энергоресурсов (преимущественно угля, торфа, нефти) необходимо внедрение технологий, как переработки топлива, так и очистки образующихся выбросов, сокращающих до минимальных значений поступления вредных веществ в атмосферу. Возобновляемые же ресурсы, обладающие наилучшими экологическими показателями, в свою очередь, зависят от интенсивности работы природных ресурсов (яркости солнца, силы ветра и т. д.) и привязаны территориально к источникам их образования, что накладывает ряд ограничений на их применение.

В этой связи одним из возможных перспективных направлений может стать интеграция при использовании традиционных и возобновляемых источников энергии. Неоспоримым является тот факт, что изменения повлекут за собой трансформацию энергетической системы и поставят вопрос об обеспечении национальной энергетической безопасности страны.

Термин «гибридизация» в последнее время стал широко применяться в отношении энергетических систем. Так, гибридные возобновляемые энергетические системы представляют собой сочетание (комбинацию) возобновляемого и традиционного источника энергии, нескольких возобновляемых ресурсов и традиционных источников либо без них.



Добыча торфа

Источник: new-variant.ru

Одной из особенностей данных энергетических систем является объединение двух или более технологий производства возобновляемой энергии для повышения ее эффективности. Данные системы могут устранять ограничения с точки зрения гибкости в использовании топлива, эффективности, надежности, выбросов в окружающую среду и стоимости производимой энергии [1].

Понимая масштабы и сроки внедрения технологий, их адаптацию под существующие энергетические системы, более «безболезненно» отладить данный процесс на малых энергетических объектах. Тем более, что гибридизация использования традиционных и возобновляемых источников энергии является оптимальной для применения именно на объектах малой мощности.

Так, возможность комбинированного использования традиционных и возобновляемых ресурсов на энергетических объектах рассмотрена в работах российских и зарубежных авторов [2–8]. В предложенных авторами системах использование традиционного топлива в большинстве случаев предполагает не прямое его сжигание, а получение генераторного газа с последующим сжиганием в газотурбинной, дизель-генераторной установке либо в твердооксидном топливном элементе. Комбинация ВИЭ состоит из ветровых, солнечных и гидроэнергетических установок. Зачастую данные системы дополняются

накопителями тепловой и электрической энергии.

В рамках предлагаемого исследования на примере Северо-Западного федерального округа авторами проведена оценка потенциала развития гибридных систем автономного энергоснабжения с учетом наличия местного традиционного топлива и доступности возобновляемых источников энергии.

В качестве традиционного местного топлива для Северо-Западного округа рассмотрены уголь, торф, природный газ и мазут, сланцы, для оценки возможности использования возобновляемых источников энергии проанализирована солнечная и ветровая энергия, а также энергия биомассы растительного происхождения.

Важно отметить, что аналогичная оценка может быть проведена и для других ре-

Доля запасов горючих сланцев в Северо-западном округе составляет 43,9 % от общероссийских. Однако использование торфа в топливно-энергетическом комплексе региона крайне низкое

Интересным биоресурсом растительного происхождения является жмых. На долю Северо-Западного федерального округа приходится порядка 28 % от производства жмыха и твердых остатков в России

гионов нашей страны, использована при выстраивании энергетической политики и стратегии отдельных субъектов, а также в масштабе всей страны.

Оценка ресурсной базы Северо-Западного федерального округа

Северо-Западный федеральный округ представляет собой крупный промышленный субъект Российской Федерации, обладающий значительными запасами минерально-сырьевой базы [9, 10].

В объединенную энергетическую систему Северо-Западного федерального округа входят 8 региональных энергетических систем: Архангельская, Калининградская, Карельская, Мурманская, Ленинградская,

Новгородская, Псковская и республики Коми. При этом Ленинградская энергосистема объединяет г. Санкт-Петербург и Ленинградскую область, Архангельская – Архангельскую область и Ненецкий автономный округ. Также за электроснабжение ряда потребителей Северо-Западного федерального округа отвечает Вологодская энергосистема, входящая в объединенную энергетическую систему Центрального федерального округа.

Вместе с тем, в электроэнергетике Северо-Западного округа существует ряд проблем, несомненно, характерных также для многих регионов нашей страны. Основными из них являются [11]:

- моральное и физическое старение генерирующих мощностей электрических сетей;
- низкая пропускная способность электрической сети на основных транзитных маршрутах. Это, в свою очередь, приводит к снижению надежности электроснабжения потребителей, и, соответственно, понижению выдачи мощности и недоиспользованию мощности электростанций.

Что касается состояния системы теплоснабжения в Северо-Западном федеральном округе, то здесь на первый план выходят проблемы, связанные с [11]:

- моральным и физическим износом оборудования и сопутствующее ему повышение частоты аварийных ситуаций;

МЛСП «Приразломная»

Источник: «Газпром нефть»



- низкой эффективностью использования топлива, преимущественно угля и мазута;
- наибольшей зависимостью от использования мазута из всех регионов нашей страны, а в Мурманской области она наиболее высокая в округе;
- недостаточным уровнем, а по ряду вопросов и отсутствием проработанной нормативно-технической базы, которая регулирует создание энергетических объектов, работающих на возобновляемых источниках энергии;

дит в тройку по запасам каменного угля и в силу своего географического расположения и ресурсных преимуществ обладает значительным потенциалом как для использования в округе, так и для соседних областей. Печорский угольный бассейн содержит всю гамму углей, обеспечивающих возможность существования и развития сырьевой базы коксохимии и энергетики. Государственным балансом запасов учтено 11 месторождений в Печорском угольном бассейне. Вместе с тем Печорский бассейн характеризуется малой освоенностью запасов угля промышленностью, в связи с чем, добыча угля в Республике

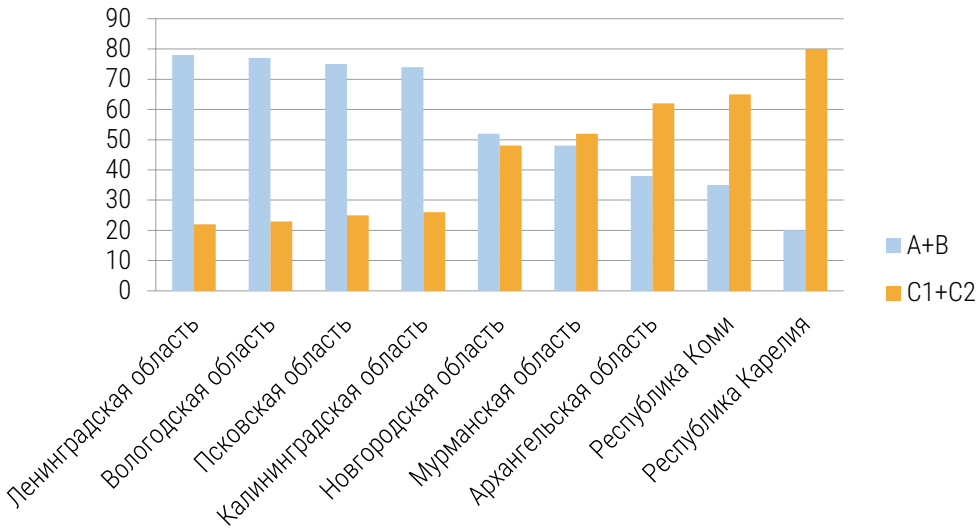


Рис. 1. Запасы торфа по областям Северо-Западного федерального округа

- низкой заинтересованностью в использовании местного топлива в энергетическом балансе региона (например, биомасса, торф).
- В таблице 1 выделены основные направления в развитии топливно-энергетического комплекса, а также малой энергетики Северо-Западного федерального округа, что находит отражение в ряде официальных документов [11, 12].
- Анализ оценки доступности традиционного топлива, как отмечалось ранее, проведем на примере угля, торфа, сланцев, природного газа и мазута.
- Уголь.** На территории Республики Коми и Ненецкого автономного округа, входящих в состав Северо-Западного федерального округа, расположен Печорский угольный бассейн, который в нашей стране вхо-

Коми в настоящее время ведется только АО «Воркутауголь». Увеличению степени освоения бассейна препятствуют сложные географические и горно-геологические условия (значительная часть бассейна находится севернее полярного круга), а также характеристика и показатели самих месторождений (повышенное содержание метана, наличие ложных кровли и почвы, зависающей основной кровли, повышенное содержание кремнезема в углевмещающих породах и др.).

Согласно [13], в настоящее время балансовые запасы угля категории A+B+C₁ Северо-Западного федерального округа составляют 6838 млн т, категории C₂ – 485 млн т, забалансовые запасы – 5952 млн т. Основные запасы угля категории A+B+C₁, которые сосредоточены на территории

Область	Направления развития
Топливо-энергетический комплекс	Повышение степени обеспечения энергетической безопасности вследствие диверсификации структуры топливно-энергетического баланса и развития нетопливной, безуглеродной энергетики
	Снижение антропогенной нагрузки на окружающую среду
	Вовлечение в топливно-энергетический баланс дополнительных местных топливно-энергетических ресурсов
	Развитие энергодоступности и энергообеспеченности в ресурсах потребителей, не затронутых централизованным энергоснабжением
Малая энергетика: возобновляемые источники энергии, местное топливо	Строительство новых теплоэлектроцентралей, имеющих в составе парогазовые и газотурбинные установки в районах, испытывающих дефицит электрической мощности
	Формирование эффективной стратегии и программ в области развития возобновляемой и малой энергетики в округе
	Развитие малой энергетики в округе с преимущественным использованием местных традиционных и возобновляемых источников энергии
	Расширение использования биомассы в районах с развитой лесной и деревообрабатывающей промышленностью
	Интенсификация строительства приливных и ветроэнергетических станций в тех районах, где это экономически эффективно и обоснованно
	Развитие гидроэнергетики на территории Вологодской, Ленинградской, Мурманской, Новгородской, Псковской областей, Республики Карелия и Республики Коми

Таблица 1. Основные направления развития энергетики Северо-Западного федерального округа

Республики Коми, составляют 98,3 %. Более подробная информация по доступности и добыче угольного топлива по месторождениям приведена в таблице 2 [13].

Несмотря на малую изученность запасов Печорского бассейна, угольное топливо представляет собой крупную перспективную базу для развития энергетики европейской части страны и Урала. В настоящее время углем с месторождений Печорского бассейна снабжаются северные и северо-западные районы страны и в меньшей мере центральный район и Урал.

Торф и сланцы. В округе сосредоточены большие запасы торфа и горючих сланцев. По запасам торфа на территории Северо-Западного федерального округа учтено 5778 месторождений. По данным [13], запасы по категориям A+B+C₁ составляют 6,4 млн т, кат. C₂ – 1,3 млн т, добыча – 464 тыс. т (28,6 % от добычи РФ).

Распределение запасов торфа по субъектам Северо-Западного федерального округа изображено на рис. 1 [14].

По запасам торфа (A+B) в округе можно выделить Ленинградскую, Вологодскую, Калининградскую, Псковскую и Новгородскую области, однако, на большинстве месторождений в настоящее время добыча торфа ведется в ограниченных объемах.

Доля запасов горючих сланцев составляет 43,9 % от общероссийских. При этом основные крупные запасы горючего сланца сосредоточены в Тимано-Печорском и Прибалтийском сланцевых бассейнах, расположенных на территории Республики Коми и на западе Ленинградской области. Стоит отметить низкую долю использования и вовлечения торфа в топливно-энергетический комплекс региона, что, несомненно, требует комплексных решений.

Сводная информация по запасам сланцев и торфа в округе представлена в таблице 3.

Природный газ. Согласно [11], на Северо-Западный федеральный округ приходится 10 % запасов газа, и это 2-е место по запасам в России. Основные месторождения

Таблица 2. Балансовые запасы и добыча угольного топлива по месторождениям

Месторождение	Балансовые запасы (по данным на 01.01.2021 г.), тыс. тонн		Забалансовые запасы	Добыча за 2020 г.	Недропользователь
	A+B+C ₁	C ₂			
Воркутское	752 520	-	2 242 454	3155	АО «Воркутауголь»
Усинское	1 431 556	-	467263	-	АО «Воркутауголь»
Воргашорское	1 505 243	172 820	2 399 731	3363	АО «Воркутауголь»

Вид полезного ископаемого	Запасы А+В+С ₁ , млн т	% от запасов РФ	Изменение запасов за предыдущий год	Добыча за предыдущий год	% от добычи по РФ
Сланцы горючие	1 073 570	43,9	-	-	-
Торф	6 418 328	34,4	-	0,464	28,6

Таблица 3. Балансовые запасы и добыча торфа и сланцев в Северо-Западном округе

природного газа сосредоточены в Тимано-Печорской, Баренцево-Карской провинциях и на шельфе Баренцева моря. В Ненецком автономном округе сконцентрировано 9 % запасов (11 месторождений, из них 6 разрабатываемых и 5 разведываемых, в Республике Коми – 4 % (по состоянию на 2021 год учтено 24 месторождения свободного газа, из них 14 разрабатываемых и 10 разведываемых) и на шельфе Печорского моря – 1 %. Остальные 86 % приходятся на шельф Баренцева моря, где запасы газа сосредоточены на 4 месторождениях, включая 3 крупных и одно уникальное морское месторождение – Штокмановское, при этом на него приходится 72 % запасов.

Мазут. На территории Северо-Западного округа действуют 2 крупных нефтеперерабатывающих завода в Ленинградской области и Республике Коми, при этом практически весь мазут направляется на экспорт.

Штокмановское ГКМ

Источник: белфракт.рф



Основная доля нефтепродуктов поступает в округ с нефтеперерабатывающих производств, находящихся в центральной части страны, что, несомненно, приводит к энергозависимости округа. Наибольшая зависимость по мазуту наблюдается для Мурманской, Архангельской областей и Республики Карелия, куда мазут ежегодно доставляется для обеспечения энергоснабжения.

По данным на конец 2021 года запасы нефти на территории Северо-Западного федерального округа составили 1317,6 млн т, что составляет 7,05 % от общероссийских. Запасы свободного газа и конденсата – 650,6 млрд кубометров (1,33 % от общероссийских) и 44,7 млн т (1,92 %). В 2019 году в округе добыто 27,6 млн т нефти (5,27 % от добычи по России), 2,2 млрд кубометров свободного газа (0,32 % от добычи по России) и 0,08 млн т конденсата (0,31 % от добычи по России) [12]. Добыча данных



Завоз угля по реке Печора

Источник: elevel.ru

природных ресурсов преимущественно ведется в Ненецком автономном округе, Республике Коми (Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция), а также в небольших объемах – в Калининградской области (самостоятельная Балтийская нефтеносная область).

Оценку по доступности возобновляемых источников энергии на территории Северо-Западного округа проведем на примере биомассы, энергии ветра и солнца.

Биомасса. Биомасса, обладающая особым потенциалом для использования, в Северо-Западном федеральном округе представлена энергией растительного происхождения (отходы лесоперерабатывающей и деревообрабатывающей отраслей промышленности), а также другими отходами органического происхождения (таблица 4). Наибольшим энергетическим

потенциалом в силу высокого уровня развития отраслей лесного хозяйства в регионе обладает именно древесное топливо [15].

Другой интересный биоресурс растительного происхождения в рассматриваемом округе – жмых. Так, на долю Северо-Западного федерального округа приходится порядка 28 % от производства жмыха и прочих твердых остатков в России. На территории Калининградской области располагается единственный в стране рапсовый завод по производству жмыха (негранулированный и гранулированный). Применяемый на заводе метод прямого отжима позволяет осуществлять процесс производства без применения химических растворителей и по итогу получить рапсовый жмых с высоким остатком сырого масла. Основная часть рапсового масла (95 %), произведенного на предприятии,

Таблица 4. Распределение запасов биомассы по регионам в Северо-Западном федеральном округе [16]

Регион	Лесная биомасса, млн т у. т.	Отходы деревопереработки, тыс. т у. т./год	Отходы агропромышленного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства, тыс. т у. т./год
Республика Карелия	4,5	517	113,6
Республика Коми	15,9	445	167,8
Архангельская область и Ненецкий АО	11,3	1263,5	239,3
Вологодская область	7,5	273,5	456,5
Калининградская область	0,1	10,5	353,1
Ленинградская область и Санкт-Петербург	3,9	333,5	551,9
Мурманская область	0,4	27,5	92,9
Новгородская область	1,8	102	170,3
Псковская область	0,9	24	298,8

экспортировалась за пределы страны на заводы по производству биодизельного топлива, оставшиеся 5 % использовались на внутреннем рынке, а также направлялись на нужды предприятия.

Еще одним перспективным направлением в развитии использования биомассы может стать такой экологически чистый источник энергии, как солома. Солома представляет собой углеродно-нейтральное топливо, так как при ее сжигании выделяется то же количество углекислого газа, которое было поглощено из атмосферы. Для примера, в зернопроизводящих странах, таких как Дания, отопление жилого сектора соломой получило широкое распространение [17]. Важно отметить тот факт, что при использовании многотопливных котлов возможно проводить взаимозаменяемость по топливу и при необходимости работать помимо соломы на других видах топлива, таких как древесные отходы, торфяные брикеты и т. д., что является одним из конкурентных преимуществ технологий малой распределенной энергетики.

Солнечная энергия. Солнечное излучение имеет переменный характер вне зависимости от региона, в связи с чем сделать прогноз о климатических условиях в перспективе представляется непростой задачей. Местоположение объектов солнечных станций определяется следующими факторами: климатическими условиями, широтой, на которой будет располагаться станция, а также профилем солнечного цикла.

Проанализировав карты солнечной радиации нашей страны, можно сделать вывод, что для Санкт-Петербурга и Ленинградской области значение солнечной инсоляции достигает 4 кВт·ч/м², наименьшее значение в округе – менее 3 кВт·ч/м² определено для Калининградской и Мурманской областей, для остальных районов значение уровня солнечной инсоляции лежит в диапазоне от 3,5–4 кВт·ч/м². Продолжительность солнечного сияния для всего округа в среднем составляет 1700 часов/год.

Таким образом, наиболее перспективной по солнечной энергетике является Ленинградская область, в связи с чем по данному региону в работе [17] представлен более детальный анализ.

Ветроэнергетика. Наибольшим потенциалом по возможностям ветровой

энергетики в Северо-Западном округе обладают преимущественно Ленинградская, Мурманская и Архангельская области. Самые продолжительные и сильные ветра в Ленинградской области отмечены вдоль Финского залива (г. Ломоносов, г. Сестрорецк, г. Приморск, поселок Усть-Луга и др.) и Ладожского озера (вблизи г. Петрокрепость, поселка Новая Ладога, Свирица и др.). В данных областях среднегодовая скорость ветра достигает от 6 до 8 м/с на высоте 10 м над водной поверхностью, в прибрежных зонах на открытых пространствах она составляет от 5 до 7 м/с на аналогичной высоте при необходимых для устройства ветряков 4 м/с. С учетом данных особенностей ветроэнергетический потенциал в названных районах можно оценить от 2000 до 4000 кВт·ч/м² в год [19].

Ушаковская ВЭС
Источник: КГК



Регион	Среднегодовая скорость ветра (на высоте 10 м)	Средняя максимальная скорость ветра, м/с
Республика Карелия	2,5	24,25
Республика Коми	2,69	21,96
Архангельская область	2,53	22,5
Ненецкий АО	4,76	28,8
Вологодская область	2,32	22,6
Калининградская область	2,7	27,17
Ленинградская область и Санкт-Петербург	2,31	23
Мурманская область	3,19	25,47
Новгородская область	2,09	21,63
Псковская область	2,18	22,33

Таблица 5. Значения скорости ветра для Северо-Западного федерального округа

В таблице 5 сведены значения среднегодовой скорости ветра на высоте 10 м и средней максимальной скорости ветра для округа, представленные в [20].

Стоит упомянуть также и перспективы развития гидроэнергетики в Северо-Западном федеральном округе, и наиболее актуально это направление представляется для таких областей, как республика Карелия, Псковская, Новгородская и Ленинградская области, где имеется целая сеть построенных ранее гидроэлектростанций малой мощности, находящихся сейчас в заброшенном состоянии. Также потенциал по гидроэнергетике имеется в Республике Коми, Мурманской и Вологодской областях.

Определение возможности гибридного использования энергетических ресурсов

Проанализировав доступность традиционных ресурсов и возможности по возобновляемым источникам энергии в Северо-Западном федеральном округе, авторами составлены карты по распределению данных энергоресурсов, а также определены области с возможным гибридным использованием ресурсов для последующей выработки энергии (рис. 2, 3).

Информация по районам, где использование гибридных станций представляется возможным при наличии необходимости в выработке тепловой и электрической энергии, сведена в таблицу 6.

Таблица 6. Перспективы гибридных станций в областях Северо-Западного федерального округа

* – традиционное топливо учтено, только если оно является местным для данной области

Регион	Наличие традиционного* и возобновляемого источника энергии	
Ленинградская область	Традиционный	Торф, сланцы, мазут
	Возобновляемый	Ветер, солнце, биоресурсы, гидроресурсы
Республика Коми	Традиционный	Уголь, торф, сланцы, мазут, природный газ
	Возобновляемый	Биоресурсы, ветер, гидроресурсы
Архангельская область	Традиционный	Торф
	Возобновляемый	Биоресурсы, ветер
Ненецкий АО	Традиционный	Уголь, природный газ
	Возобновляемый	Биоресурсы, ветер
Вологодская область	Традиционный	Торф
	Возобновляемый	Биоресурсы, гидроресурсы
Калининградская область	Традиционный	Торф
	Возобновляемый	Биоресурсы, ветер
Республика Карелия	Традиционный	Торф
	Возобновляемый	Биоресурсы, гидроресурсы, ветер
Мурманская область	Традиционный	Торф, природный газ
	Возобновляемый	Ветер, гидроресурсы
Новгородская область	Традиционный	Торф
	Возобновляемый	Биоресурсы, гидроресурсы
Псковская область	Традиционный	Торф
	Возобновляемый	Биоресурсы, гидроресурсы



Рис. 2. Запасы местного традиционного топлива в Северо-Западном федеральном округе

Анализируя данные, представленные в таблице, возможность гибридного использования энергетических ресурсов характерна, но в разной степени для всех областей Северо-Западного федерального округа. Преимущественно данные технологии могут быть востребованы в Ленинградской области, Республике Коми, Ненецком АО, Республике Карелии, Мурманской области, где имеется база по местному органическому традиционному топливу и возобновляемым ресурсам. Конечно, местное традиционное топливо может быть доставлено в соседнюю область, однако в каждом конкретном случае необходимо определять целесообразность транспортировки ресурса и наличие инфраструктурных возможностей.

В продолжение данного исследования, с использованием методов системного анализа, авторами в последующих работах будет реализован инструмент, позволяющий производить оценку потенциала гибридного использования ресурсов с учетом транспортной составляющей и экологических показателей по традиционному топливу и наличию возобновляемых ресурсов. Из возобновляемых ресурсов упор будет сделан на ветровую, солнечную энергетику и активное использование биоресурсов растительного происхождения, так как данный вид энергоисточника представлен практически во всех областях округа, следовательно, имеет большие перспективы для использования.

Рис. 3. Потенциал возобновляемых источников энергии в Северо-Западном федеральном округе



Использованные источники

1. Dykes K., King J., DiOrio N., King R., Gevorgian V., Corbus D., Blair N., Anderson K., Stark G., Turchi C., Moriarty P. Opportunities for research and development of hybrid power plants // Technical report NREL/TP-5000-75026.-2020. [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.nrel.gov/docs/fy20osti/75026.pdf> (дата обращения 27.06.2022).
2. Pirkandi J., Jahromi M., Sajadi S. Z., Ommian M. Thermodynamic performance analysis of three solid oxide fuel cell and gas microturbine hybrid systems for application in auxiliary power units // Clean Technologies and Environmental Policy. 2018. V.20. № 5. P. 1047–1060.
3. Nathan G. J., Jafarian M., Dally B. B., Saw W. L., Ashman P. J., Hu E., Steinfeld A. Solar thermal hybrids for combustion power plant: A growing opportunity // Progress in Energy and Combustion Science. 2018. V.64. P. 4–28.
4. Jin H. G., Hong H., Wang R. Hybridization with conventional fossil plants // Concentrating Solar Power Technology: Principles, Developments, and Applications, (2020). P. 443–475.
5. Величко В. В., Прохоров А. И. Автономные энергоустановки на местных видах горючих и возобновляемых источниках энергии, базирующиеся на адаптивном термодинамическом цикле и системе безнагнетательной циркуляции рабочего тела // Новосибирск. Материалы II Всероссийской научной конференции с международным участием «Энерго- и ресурсоэффективность малоэтажных жилых зданий», Институт теплофизики СО РАН, 24–26.03.2015. С. 271–279.
6. Давыдов Г. И. Гибридная энергетика в децентрализованной зоне // Colloquium-journal. 2019. № 26 (50). [Электронный ресурс] – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gibridnaya-energetika-v-detsentralizovannoy-zone> (дата обращения: 01.05.2022).
7. Швердиев Р. П., Тягунов М. Г. Гибридный энергокомплекс гарантированного энергоснабжения с водородным аккумулярованием энергии // Энергетика. Технологии будущего: Сборник докл. II науч.-техн. конф. студентов. – М.: Изд-во МЭИ, 2019. С. 18–19.
8. Mingaleeva G., Afanaseva O., Nguen D. T., Pham D. N., Zunino P. The Integration of Hybrid Mini Thermal Power Plants into the Energy Complex of the Republic of Vietnam. Energies 2020. 13, 5848.
9. Винокуров А. А. Северо-Западный федеральный округ: особенности и направления регионального развития // Региональная экономика: теория и практика. № 5, 2008. [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/severo-zapadnyy-federalnyy-okrug-osobennosti-i-napravleniya-regionalnogo-razvitiya> (дата обращения: 27.06.2022).
10. Федоров М. П., Кривошеев М. В. Безуглеродная энергетика как возможное направление развития энергетики региона Санкт-Петербург – Ленинградская область // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. Т. 24. № 2, 2018. С. 10–21.
11. Стратегия социально-экономического развития Северо-Западного федерального округа на период до 2020 года. [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902317621> (дата обращения 27.06.2022).
12. Стратегия социально-экономического развития Ленинградской области до 2030 года. [Электронный ресурс]. – URL: <https://econ.lenobl.ru/budget/planning/concept2030/> (дата обращения 27.06.2022).
13. Михайлов А. В., Иванов С. Л., Большунов А. В., Кремчев Э. А. Торфяные ресурсы Северо-Западного федерального округа России и перспективы их освоения // Записки Горного института. 2013. Т. 200. [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/torfyanye-resursy-severo-zapadnogo-federalnogo-okruga-rossii-i-perspektivy-ih-osvoeniya> (дата обращения: 28.06.2022).
14. Справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Северо-Западного федерального округа на 15.12.2021 г. [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.google.com/document/d/1wswwsTuh2-IMzq0LbPHS4Rn6CM18FdoRbsEuWyJtiq0/edit> (дата обращения 27.06.2022).
15. Любимов А. В., Селиванов А. А., Крючков А. Н., Кхумало Н. Н., Чан Хау Т., Саксонов С. В. Особенности использования древесного топлива в биоэнергетике Северо-Запада России // Известия Самарского научного центра РАН. № 2–1, 2018. [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-ispolzovaniya-drevesnogo-topliva-v-bioenergetike-severo-zapada-rossii> (дата обращения: 29.06.2022).
16. Биоэнергетика России в XXI веке. Российское энергетическое агентство. ФГБУ «РЭА» Минэнерго РФ. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.infobio.ru/sites/default/files/bioenergy.pdf> (дата обращения: 27.06.2022).
17. Сельскохозяйственное сжигание в России: регулирование, мониторинг и подходы к их сокращению. [Электронный ресурс]. – URL: https://network.bellona.org/content/uploads/sites/4/2017/03/S_X_FIRE_SITE-fin.pdf (дата обращения: 27.06.2022).
18. Пигольцина Г. Б. Ресурсы солнечной радиации Ленинградской области // Общество. Среда. Развитие (TerraHumana). № 2, 2009. [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/resursy-solnechnoy-radiatsii-leningradskoy-oblasti> (дата обращения: 29.06.2022).
19. Епова Е. И. Создание геоинформационной системы «Возобновляемые источники энергии Санкт-Петербурга и Ленинградской области. [Электронный ресурс]. – URL: https://dspace.spbu.ru/bitstream/11701/14604/1/Eпова_E_I_VKR.pdf (дата обращения: 29.06.2022).
20. Карта ветров России. Северо-Западный федеральный округ. [Электронный ресурс]. – URL: <https://energywind.ru/recomendacii/karta-rossii/severo-zapad> (дата обращения: 29.06.2022).



ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

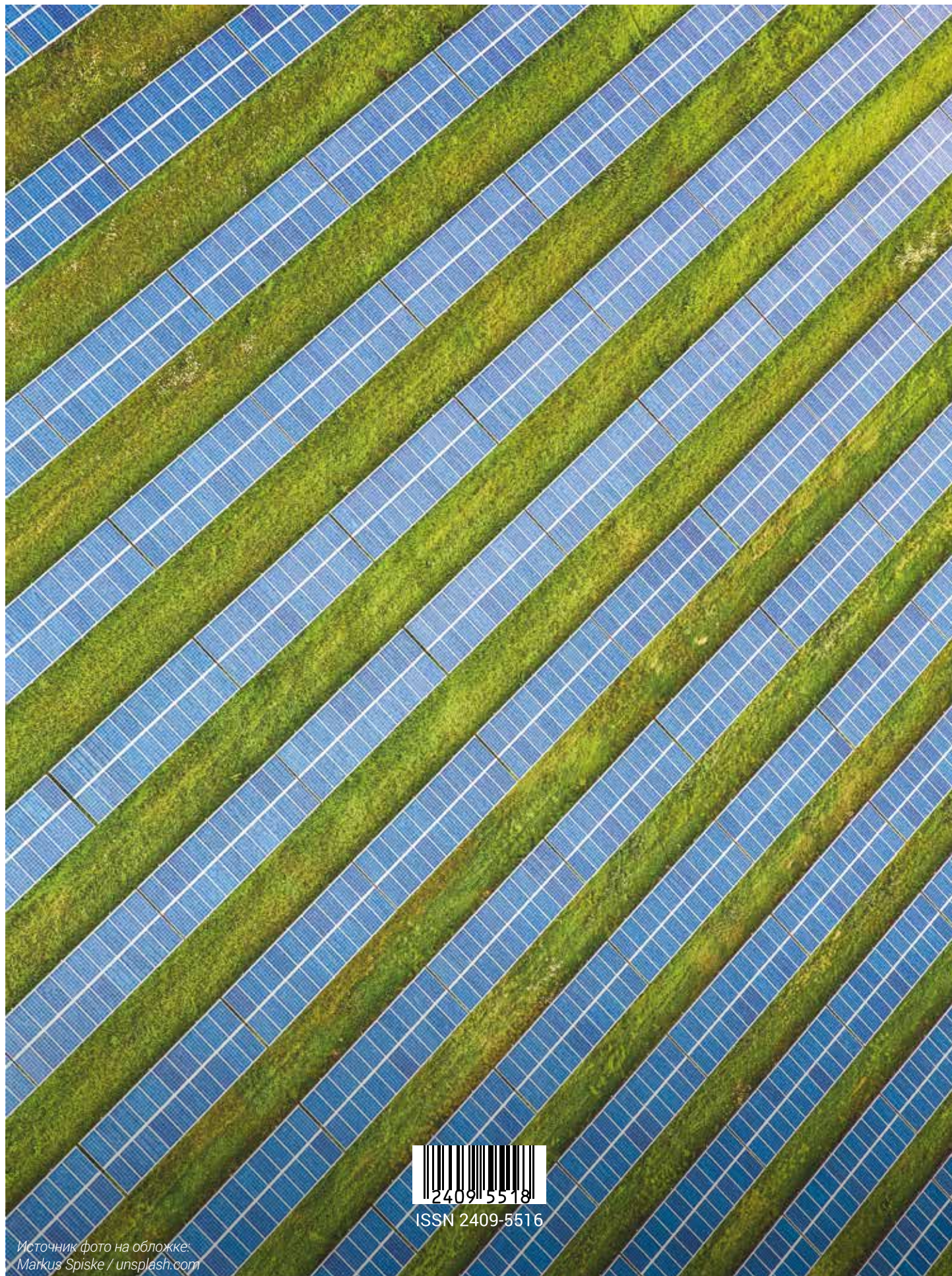


Оформить подписку на журнал «Энергетическая политика» на 2022 год можно через филиалы агентства «Урал-пресс», либо в ФГБУ «РЭА» Минэнерго России. По вопросам подписки звонить по телефону +7-910-463-53-57. Стоимость подписки на полугодие (6 номеров) составит 10 700 рублей. В каждом номере – аналитические обзоры, авторские колонки, материалы научного и научно-прикладного характера. Будь в курсе основных направлений развития ТЭК!

energypolicy.ru

НАШИ ПАРТНЕРЫ





ISSN 2409-5516

Источник фото на обложке:
Markus Spiske / unsplash.com