

Анализ потенциала внедрения «зелёной» энергетики для некоторых регионов России

Рецензия эксперта на статью получена
02.04.2024 [The expert review of the article
was received on April 2, 2024]

О целесообразности перехода на местные виды топлива

Использование возобновляемых источников энергии в России обусловлено необходимостью обеспечения электроэнергией наиболее изолированных и удалённых районов страны, так как их включение в единую энергосистему не представляется целесообразным из-за необходимости прокладки многокилометровых электрических сетей и затруднённой логистики. Согласно разделу VI Распоряжения Правительства РФ №1715, «недостаточным в настоящее время является использование местных видов топлива в региональных энергетических балансах. В 2008 году доля торфа в топливно-энергетическом балансе России составила менее 1 процента, доли прочих видов твёрдого топлива, включая различные отходы, и дров для отопления находились в диапазоне от 3 до 4 процентов...» [1].

Модернизация генерирующих мощностей в регионах с учётом возможности применения местных видов топлива является актуальной задачей. Использование альтернативных источников энергии позволит снизить темпы роста потребления ископаемого топлива и выбросов углекислого газа (CO₂) в атмосферу.

Анализ преимуществ и недостатков применения ВИЭ как составляющих энергосистемы страны

Получение электрической энергии от солнечного излучения возможно с помощью фотоэлектрических элементов или с помощью концентрированных солнечных тепловых систем, в которых энергия

Модернизация генерирующих мощностей с учётом возможности применения местных видов топлива — актуальная задача для любого региона

солнца используется для превращения воды в пар, кинетическая энергия которого далее преобразуется в электроэнергию. Для таких систем необходимы территории значительной площади с большим количеством солнечных дней в году. При этом крайне нежелательны высокая облачность, частые туманы, сильные ветра, повышенные или пониженные температуры, высокая влажность воздуха, смог и запылённость воздуха.

К недостаткам применения относятся: зависимость от погоды и времени суток; необходимость аккумуляции вырабатываемой энергии ввиду несовпадения периодов выработки и потребности в энергии; высокая стоимость конструкции из-за применения дорогих материалов; неэкологичные способы производства и утилизации солнечных панелей.

Генерация электроэнергии с помощью энергии воды требует наличия на местности водных ресурсов с достаточным объёмом стока, высокой скоростью течения, наличия свободных территорий и перепада высот для построения плотины. Такой способ выработки отличается пониженной себестоимостью электроэнергии, высокими показателями манёвренности, но имеет ряд следующих недостатков: большие капитальные затраты на строительство; удалённость от потре-

УДК 621.1.016. Научная специальность: 2.1.3.

Анализ потенциала внедрения зелёной энергетики для некоторых регионов России

С. В. Гужов, к.т.н., доцент, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (НИУ «МЭИ»); **Е. В. Крылова**, к.п.н., доцент, заместитель директора по учебной работе Института тепловой и атомной энергетики (ИТАЭ) НИУ «МЭИ»; **О. Д. Афанасьева**, студент, НИУ «МЭИ»; **Д. Н. Темрина**, студент, НИУ «МЭИ»; **А. О. Сорокина**, студент, НИУ «МЭИ»

Применение для энергоснабжения больших поселений источников, работающих на возобновляемых источниках электрической и тепловой энергии, является актуальным и востребованным, как с точки зрения диверсификации средств генерации, так в ряде случаев и с экономической точки зрения. Существует ряд различных способов выработки энергии, относящихся к возобновляемым. Наличие и объём ресурса для каждого типа ВИЭ существенно зависит от региона, климатической зоны, условий земледелия и пр. В статье приведён краткий анализ преимуществ и недостатков применения различных ВИЭ, показаны преимущества и недостатки каждой из технологий, как составляющих энергосистемы региона. Рассмотрены четыре региона, имеющих различный потенциал возобновляемой энергетики. Показана необходимость реализации кластерного подхода к решению задачи использования местных видов топлива в региональных энергетических балансах. Для каждого региона приведены рекомендации по предпочтительному применению видов возобновляемой энергетики.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, солнечная радиация, гидроэнергетика, энергия ветра, геотермальная энергетика, приливная электростанция, биотопливо, речной сток, запасы древесины.

УДК 621.1.016. The number of scientific specialty: 2.1.3.

Analysis of the potential for introducing green energy for some regions of Russia

S. V. Guzhov, PhD, Associate Professor, the Department of Heat and Mass Transfer Processes and Installations (HMTPI), National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU "MPEI"); **E. V. Krylova**, PhD, Associate Professor, Deputy Director for Academic Affairs of the Institute of Thermal and Nuclear Energy (ITNE) of NRU "MPEI"; **O. D. Afanasieva**, student, NRU "MPEI"; **D. N. Temrina**, student, NRU "MPEI"; **A. O. Sorokina**, student, NRU "MPEI"

The use of sources operating on renewable sources of electrical and thermal energy to supply large settlements with energy is relevant and in demand, both from the point of view of diversification of generation means, and in some cases from an economic point of view. There are a number of different ways to generate energy that are classified as renewable. The availability and volume of resources for each type of RES significantly depends on the region, climate zone, agricultural conditions, etc. The article provides a brief analysis of the advantages and disadvantages of using various RES, showing the advantages and disadvantages of each technology as components of the region's energy system. Four regions with different renewable energy potential are considered. The necessity of implementing a cluster approach to solving the problem of using local fuels in regional energy balances is shown. For each region, recommendations are provided on the preferred use of types of renewable energy.

Keywords: renewable energy sources, solar radiation, hydropower, wind energy, geothermal energy, tidal power station, biofuel, river flow, timber reserves.



бителей, что увеличивает затраты, связанные с транспортировкой электроэнергии; нарушение жизнедеятельности водных обитателей и стандартных условий окружающей среды.

Ветроэнергетика предполагает преобразование энергии ветра в электрическую с помощью ветрогенератора. Строительство ветровых парков целесообразно при наличии свободных территорий с значительным числом ветряных дней в году с оптимальной скоростью 12–25 м/с [2]. Недопустимо использование ВЭС в районах с частыми дождями, градами, метеорологическими условиями, допускающими возможность обледенения конструкций, при шквальных порывах воздуха.

Возможность использования геотермальной энергетики связана с наличием на местности горячих подземных вод. Основным преимуществом является независимость производства такой энергии от условий окружающей среды, времени суток и года. К недостаткам способа можно отнести: ограниченное количество мест, пригодных для постройки электростанций; значительные расходы на строительство; повышенная вероятность выделения токсичных газов или минералов, содержащихся в породах земной коры, через эксплуатационную скважину; высокая степень минерализации источников и возможность остановки работы вследствие высокой скорости образования отложений на теплообменных поверхностях.

Другим способом применения геотермальной энергетики является использование теплового градиента в недрах Земли. Ограничивающие особенности: повышенная стоимость и техническая сложность теплового насоса; возможность чрезмерного забора теплоты из грунта с последующим резким снижением потенциала теплоотбора; относительно небольшой объём отбора тепловой энергии.

Приливные станции возводят вблизи крупных морских акваторий с высоким



уровнем прилива. Особенности выработки электроэнергии таким способом являются нерегулярность работы, медленный срок окупаемости, серьёзное нарушение функционирования водной экосистемы. К преимуществам можно отнести: приливная плотина защищает берег от шторма и волн; водность года (количество воды, переносимой водным ресурсом с её бассейна) не влияет на количество получаемой энергии; относительная простота в обслуживании; плотины не создают угрозы для морского транспорта и имеют длительный срок службы.

В атомной энергетике высвобождение большого количества энергии происходит за счёт протекания непрерывной ядерной реакции. Атомная энергия обладает высокой энергетической эффективностью, длительным сроком непрерывной работы, имеет относительно низкую себестоимость электроэнергии. Основные недостатки связаны с риском возможности ядерных аварий, утилизацией радиоактивных отходов. Для строительства АЭС необходима большая свободная территория, исключающая возможность частых землетрясений, затопляемости и пр.

Биоэнергетика специализируется на производстве энергии из биотоплива, в качестве которого могут использоваться:

биогаз, получаемый из твёрдых коммунальных или сельскохозяйственных отходов, щепа, быстрорастущие водоросли и пр. Применение такого способа позволяет сократить количество отходов в мусорных полигонах, полезно использовать отходы фермерских и сельских хозяйств. При производстве биоэнергии возможно загрязнение окружающей среды, что требует усовершенствования технологий в этой области. К недостаткам относятся высокие затраты на переработку и транспортировку биотоплива, необходимость наличия на местности большого количества отходов и соблюдения повышенного

температурного режима для повышения эффективности реакции биохимических преобразований.

Волновые электростанции вырабатывают электричество за счёт механической энергии волн, обладающей большей удельной мощностью по сравнению с ветровой и солнечной энергией. Себестоимость производства электроэнергии на таких станциях является очень высокой, а также они имеют большие риски повреждений, могут вызывать нарушения в работе судоходства и вредить экологии из-за покрытия водной поверхности преобразователями волн. Существует возможность использования волновых станций для защиты берегов и прилегающих сооружений от сильных волн.

Актуальными и перспективными являются разработки в сфере водородной энергетики, имеющей широкую область применения, высокую энергоэффективность и большие запасы используемого ресурса. Основные проблемы такого вида энергетики связаны с хранением и транспортировкой водорода, имеющего низкую плотность и являющегося взрывоопасным.

Очевидно, что концепция применения перечисленных выше ВИЭ не может быть полностью применена к любому региону в силу территориальных особенностей.

Региональные особенности для применения ВИЭ различных типов

Краткая информация по некоторым параметрам для четырёх рассматриваемых регионов приведена в табл. 1.

Ростовский регион отличается высокой скоростью ветра и достаточно большой равнинной площадью, обладает повышенными характеристиками продолжительности светового дня, средней месячной и годовой продолжительностью солнечного сияния (2067–2105 ч), возрастающей с севера на юг, прозрачностью атмосферы. В годовом периоде значения максимума прямой солнечной радиации приходится на июнь, минимумами характеризуется декабрь. Область расположена на границе умеренного и субтропического климатических поясов. Неоднородность подстилающей поверхности вносит значительные изменения в характер движения воздушных масс. Ветры в холодный период отличаются большой скоростью, составляя в среднем 5–7 м/с [3]. Потенциал биотоплива в Ростовской области оценивается в 32 млн тонн условного топлива (т.у.т.) [4].

Вологодская область имеет большой лесопромышленный комплекс с высокой долей экспорта [5], благоприятные условия для развития сельского хозяйства. Регион расположен в зоне умеренно-континентального климата, отличается неустойчивостью погоды. Вследствие географического положения данная область характеризуется большой продолжительностью дня в летний период и малой длительностью солнечного сияния в зимний период. В год выпадает 500–650 мм осадков [6], испаряемость значительно ниже этих параметров, поэтому особенностью климата является высокая влажность воздуха.

:: Краткая информация по особенностям применения ВИЭ в регионах

табл. 1

Регион	Кабардино-Балкарская Республика	Вологодская область	Липецкая область	Ростовская область
Площадь, тыс. км ²	13	145	24	101
Средний речной сток, м ³ /га	2887	2906	1331	426
Численность населения, тыс. человек	417	314	399	1331
Площадь на одного сельского жителя	3,0	46,1	6,0	7,6
Сборы зерновых, кг/га	925	12	1380	1199
Солнечная радиация в январе, кВт·ч/м ²	45,8	10,3	28,2	32,0
Запасы древесины, м ³ /га	28,2	116,4	13,5	2,2
Среднегодовые скорости ветра, м/с	–	2,5	4,5	4,6

В связи с этим могут часто наблюдаться туманы, особенно в осенний и весенний периоды. На территории находится большое количество рек, озёр, болот. В силу особенностей формирования воздушных масс для области не характерны ливневые дожди и сильные ветра.

Большую часть территории Липецкой области занимают чернозёмные почвы, поэтому регион имеет развитую систему фермерства и сельского хозяйства, и биоэнергетический потенциал данной области оценивается в 1,15 тыс. т.у.т. от отходов растениеводства и в 104 тыс. т.у.т. от

животноводства. Лесной покров занимает 7,6 % от всей площади. Регион характеризуется умеренно континентальным климатом с чётко выраженными сезонами. По данным [7], в регионе в среднем в год насчитывается 113 солнечных дней. Количество осадков варьируется от 450 до 550 мм в год.

Липецкая область имеет резко меняющие направление долины рек и протяжённую речную сеть, характеризующуюся устойчивым водным режимом и питаемую в основном за счёт подземных источников. Около 75 % территории располагается на возвышенной равнине с высотами над уровнем моря до 262 м, другая часть отличается низменно равнинным характером рельефа с высотами до 170 м [8].

В Кабардино-Балкарской Республике на равнине и предгорьях распространён влажный континентальный климат, который в горах сменяется на климат субальпийского пояса [9]. Равнинная часть республики занимает около 40 %, а в оставшейся юго-западной части находятся горные районы. Подстилающая поверхность, состоящая из растительного покрова, задерживает солнечную радиацию, поступающую на поверхность почвы. На территории региона расположено несколько горных водохранилищ, имеющих большие глубины и объёмы заключённой в них воды. Расположение в относительно низких южных широтах способствует получению значительной суммы солнечного излучения, максимальные суммы которой поступают в мае — июле [9, 10].

Для Ростовской области большой потенциал развития имеет ветроэнергетика. По данным на 2023 год, в работе находятся шесть ветропарков суммарной мощностью 610 МВт. Согласно [3], средняя скорость по региону колеблется в весенне-летний период в пределах 2–4 м/с, в осенне-зимний период составляет 2–4,8 м/с, что позволяет увеличивать долю мощностей, генерируемых от ветровых электростанций. В будущем возможно увеличение выработки энергии на солнечных



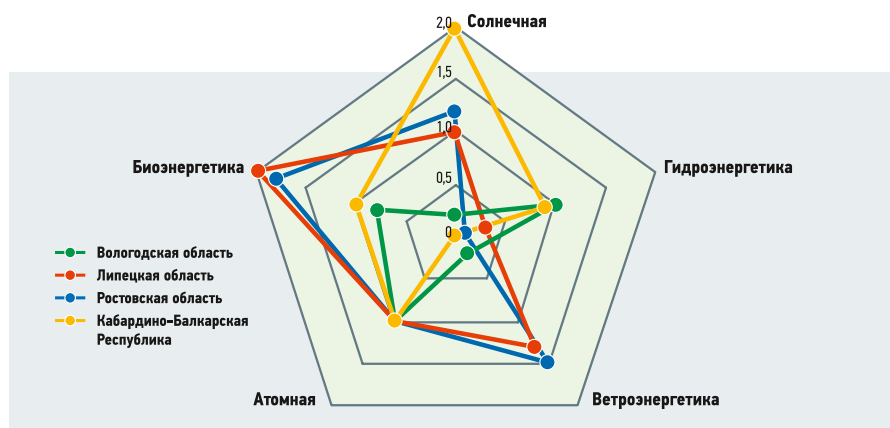


Рис. 1. Сравнение возможностей внедрения ВИЗ для некоторых областей РФ

электростанциях. Регион отличается высокой численностью населения, большой территорией сельскохозяйственных угодий, имеет значительное количество фермерских объединений, что делает возможным производство биогаза.

В Вологодской области перспективным направлением является развитие биоэнергетики — например, использование древесных отходов в качестве топлива позволяет добиться существенного экономического эффекта. По данным [11], в области к данному моменту в эксплуатацию введено 22 предприятия по производству биотоплива общей производственной мощностью 138,6 тыс. тонн пеллет в год, и этот показатель ещё может значительно увеличиваться. Помимо этого, возможно увеличение числа гидротехнических объектов, позволяющих повысить долю электроэнергии, производимую с помощью возобновляемых источников. Использование ветровой и солнечной энергии в Вологодской области экономически нецелесообразно, так как отсутствуют достаточный ветроэнергетический потенциал и достаточная суммарная солнечная радиация на площадь территории.

В Липецкой области могут быть реализованы программы по распространению биоэнергетики. В перспективе находятся проекты в сфере развития солнечной энергетики, что, в совокупности с применением ветровых электростанций в зимний период, поможет обеспечить постоянный уровень выработки электричества. Также возможно повышение числа гидротехнических сооружений.



Для Кабардино-Балкарской Республики перспективным направлением производства дешёвой электроэнергии является гидрогенерация. По оценочным расчётам, речной потенциал региона позволяет осуществить строительство свыше 30 гидроэлектростанций с возможной

суммарной выработкой электроэнергии на уровне до 4 млрд кВт·ч в год. Также желательно развитие солнечной энергетики, поскольку регион имеет высокую отметку расположения относительно уровня моря, что ведёт к уменьшению оптической толщины атмосферы и, как следствие, возрастанию потока прямой солнечной радиации. Регион имеет снежный покров в течение большей части года, что увеличивает отражательную способность подстилающей поверхности и поток рассеянной радиации.

Представленный анализ потенциала внедрения зелёной энергетики для некоторых регионов РФ наглядно демонстрирует необходимость реализации кластерного подхода к решению задачи использования местных видов топлива в региональных энергетических балансах

Представленный анализ потенциала внедрения зелёной энергетики для некоторых регионов Российской Федерации наглядно демонстрирует необходимость реализации кластерного подхода [12] к решению задачи использования местных видов топлива в региональных энергетических балансах (рис. 1).

Помимо общего описания существующих на данный момент объектов генерации, показано, что для Кабардино-Балкарской Республики наиболее целесообразным (с точки зрения наличия требуемого ресурса) является применение солнечной энергетики, для Вологодской области — это биоэнергетика, для Липецкой и Ростовской областей — биоэнергетика и ветроэнергетика. ●

1. Об Энергетической стратегии России на период до 2030 года: Распоряжение Правительства РФ от 13.11.2009 №1715-р (утратило силу).
2. Ветроэнергетика в возобновляемой энергетике [Электр. текст]. RENWEX. Режим доступа: renwex.ru. Дата обрац.: 02.04.2024.
3. Ветра в Ростовской области [Электр. текст]. Energy-Wind. Режим доступа: energywind.ru. Дата обрац.: 02.04.2024.
4. Таранов М.А., Касьянов А.С. Перспективы использования биотоплива для получения энергии в Ростовской области // Механизация и электрификация животноводства, растениеводства, 2013. №4. С. 22–26.

5. Потенциал Вологодской области: биотопливо [Электр. текст]. Портал «Лес и деревообработка» от 15.06.2021. Режим доступа: infoderevo.ru. Дата обрац.: 02.04.2024.
6. Вологодская область [Электр. текст]. Режим доступа: tourism.gov.ru. Дата обрац.: 10.04.2024.
7. Козлов С.В. Развитие возобновляемой энергетики [Электр. текст]. Режим доступа: стратегия.липецкая-область.рф. Дата обрац.: 02.04.2024.
8. Липецкая область [Электр. текст]. Портал «Стратегии экономического развития Липецкой области». Режим доступа: стратегия.липецкаяобласть.рф. Дата обрац.: 10.04.2024.

9. Погода в Кабардино-Балкарии [Электр. текст]. «Северный Кавказ». Режим доступа: severnykavkaz.ru. Дата обрац.: 08.04.2024.
10. Сельское хозяйство Кабардино-Балкарской Республики [Электр. текст]. Портал КБР. Режим доступа: gerpublic.kbr.ru. Дата обрац.: 10.04.2024.
11. Ашхотов В.Ю. Энергетический драйвер экономического развития регионов // Экономический вестник РГУ, 2009. №2. С. 187–191.
12. Лукутин Б.В. Возобновляемые источники электроэнергии: учебное пособие. — Томск: Изд-во ТПУ, 2008. 187 с.

References — see page 78.

Analysis of the potential for introducing green energy for some regions of Russia. Pp. 70–73.

S. V. Guzhov, PhD, Associate Professor, the Department of Heat and Mass Transfer Processes and Installations (HMTPI), National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU "MPEI"); **E. V. Krylova**, PhD, Associate Professor, Deputy Director for Academic Affairs of the Institute of Thermal and Nuclear Energy (ITNE) of NRU "MPEI"; **O. D. Afanasieva**, student, NRU "MPEI"; **D. N. Temrina**, student, NRU "MPEI"; **A. O. Sorokina**, student, NRU "MPEI"

1. *Vetrojenergetika v vozobnovljajemoj jenergetike* [Wind power in renewable energy]. REN-WEX. Web-source: renwex.ru. Access date: April 2, 2024. [In Russian]
2. *Potential Vologodskoj oblasti: biotoplivo* [Potential of the Vologda region: A biofuel]. Portal "Les i derevoobrabotka" ["Forest and woodworking"] on June 15, 2021. Web-source: infoderevo.ru. Access date: April 2, 2024. [In Russian]
3. *Vetra v Rostovskoj oblasti* [Wind power in the Rostov region]. EnergyWind. Web-source: energywind.ru. Access date: April 2, 2024. [In Russian]
4. S.V. Kozlov. *Razvitie vozobnovljajemoj jenergetiki* [Development of renewable energy]. Web-source: стратегия.липецкаяобласть.рф. Access date: April 2, 2024. [In Russian]
5. V.Iu. Ashotov. *Jenergetičeskij drajver jekonomičeskogo razvitija regionov* [Energy driver of regional economic development]. *Jekonomičeskij vestnik RGU* [Economic Bulletin of Rostov State University]. 2009. No. 2. Pp. 187–191. [In Russian]
6. *Pogoda v Kabardino-Balkarii* [Weather in Kabardino-Balkaria]. Portal "Severnyj Kavkaz" ["North Caucasus"]. Web-source: severnykavkaz.ru. Access date: April 8, 2024. [In Russian]
7. B.V. Lukutin. *Vozobnovljajemye istočniki jelektroenergii: učebnoe posobie* [Renewable sources of electricity: A textbook]. Tomsk. Izd-vo TPU [Publishing House of Tomsk Polytechnic University]. 2008. 187 p. [In Russian]
8. M.A. Taranov, A.S. Kas'janov. *Perspektivy ispol'zovanija biotopliva dlja poluchenija jenergii v Rostovskoj oblasti* [Prospects for the use of biofuel for energy production in the Rostov region]. *Mekhanizacija i jelektifikacija životnovodstva, rastenievodstva* [Mechanization and electrification of animal husbandry and crop production]. 2013. No. 4. Pp. 22–26. [In Russian]
9. Vologodskaja oblast' [Vologda region]. Web-source: tourism.gov.ru. Access date: April 10, 2024. [In Russian]
10. *Lipetskaja oblast'* [Lipetsk region]. "Strategies for economic development of the Lipetsk region". Web-source: стратегия.липецкаяобласть.рф. Access date: April 10, 2024. [In Russian]
11. *Sel'skoe khozjajstvo Kabardino-Balkarskoj Respubliki* [Agriculture of the Kabardino-Balkarian Republic]. Portal KBR [Official website of the Kabardino-Balkarian Republic]. Web-source: republits.kbr.ru. Access date: April 10, 2024. [In Russian]
12. *Ob Jenergetičeskoj strategii Rossii na period do 2030 goda* [About the Energy Strategy of Russia for the period until 2030]. *Rasporjazhenie Pravitel'stva RF ot 13.11.2009 №1715-r* [Order of the Government of the Russian Federation No. 1715-r of November 13, 2009]. [In Russian]