

2009. Vol. 27. P. 792–795.

4. Guo S.-Q. Densification of ZrB₂-based composites and their mechanical and physical properties: A review // Journal of the European Ceramic Society. 2009. Vol. 29. P. 995–1011.

5. Скрипняк В.А., Скрипняк Е.Г. Моделирование процесса уплотнения наноструктурной керамики при неизостатическом высокотемпературном прессовании // Труды междунар. конф. «XI Харитоновские научные чтения». Саров: ФГУП РФЯЦ ВНИИЭФ, 2009. С. 367-371

6. Моделирование деформации и разрушения композиционных керамических материалов с трансформационно-упрочненной матрицей при динамическом нагружении / Е.Г. Скрипняк [и др.] // Изв. вузов. Физика. 2010. Т. 53, № 12/2. С. 213-219.

7. Сопротивление разрушению композиционных керамических материалов с трансформационно-упрочненной матрицей / Е.Г. Скрипняк [и др.] // Там же. С. 219-226.

8. Самсонов Г.В., Серебрякова Т.И., Неронов В.А.

Бориды. М.: Атомиздат, 1975. 377с.

9. Структурные исследования порошков на основе диоксида циркония, полученных методом ВЧ-плазмохимической денитрации / Н.В. Дедов [и др.] // Стекло и керамика. 1991. № 10. С. 17-19.

10. Бирюков Ю.А., Пачин В.Н., Росляк А.Т. Пневматические методы и аппараты порошковой технологии. Томск: Том. ун-т, 1990. 272 с.

11. Совершенствование технологических процессов машиностроительных производств: монография / А.С. Янюшкин [и др.]; Братск гос. ун-т. Братск, 2006. 302 с.

12. Янюшкин, А.С. Исследование работоспособности алмазных кругов при обработке композиционных материалов / А.С. Янюшкин [и др.] // Системы. Методы. Технологии. 2010. № 3 (7). С. 87-91.

13. Устройство для комбинированной электроалмазной обработки с непрерывной правкой круга : пат 2239525 Рос. Федерация. № 2003105413; заяв. 25.02.04; опубл. 11.10.04, Бюл. № 31.

УДК 620.92

А.Н. Емцев, В.А. Шакиров*, А.Ю. Артемьев

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В СЕВЕРНЫХ РАЙОНАХ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Рассматриваются факторы, обуславливающие актуальность использования возобновляемых источников энергии в северных районах России. Проводится анализ ветрового потенциала северных улусов республики Саха (Якутия). На примере поселка Кюсюр проводится сравнительный анализ эффективности ветроэнергетических установок с помощью мощностных характеристик и данных о повторяемости ветра по скорости. Проводится оценка возможных сроков окупаемости использования ветроэнергетических установок.

Ключевые слова: децентрализованная система электроснабжения, ветроэнергетическая установка, мощностная характеристика.

Энергия ветра известна человечеству не менее 2000 лет, в последние 10-15 лет отмечен бурный рост ее использования для производства электрической энергии. Установленная мощность мировой ветроэнергетической отрасли достигла 159213 МВт, из которых 38312 МВт были введены в 2009 году [1]. Динамика ввода мощностей ветроэнергетических установок (ВЭУ) представлена на рис. 1.

Доля Европы в установленной мощности ВЭУ составляет 47,9 %. Европейский ветроэнергетический сектор в 2009 году ввел в строй 10,5 ГВт. Общая установленная мощность ветроэнергетики Азии достигла 40 ГВт. Азиатский континент занимает второе место по темпам роста среди всех регионов мира. Так, в 2009 году было введено 15,5 ГВт новых ветроустановок [1].

Россия находится на 54 месте, имея 16,5 МВт установленной мощностей ВЭУ [1]. В то же время

валовой ветровой потенциал России оценивается в $80 \cdot 10^{15}$ кВт·ч/год, технический – в $6,2 \cdot 10^{15}$ кВт·ч/год, экономический – в $31 \cdot 10^{12}$ кВт·ч/год.



Рис. 1. Динамика ввода мощностей ВЭУ.

* - автор, с которым следует вести переписку.

Около 30 % экономического потенциала ветроэнергетики России сосредоточено на Дальнем Востоке, примерно по 16% – в Западной и Восточной Сибири, 14% – в северном экономическом районе [2].

В соответствии с Энергетической стратегией России на период до 2020 года при проведении региональной энергетической политики большое значение имеет оптимальное использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Необходимость использования ВИЭ определяется их существенной ролью при решении проблемы обеспечения устойчивого тепло- и электроснабжения населения и производства в зонах децентрализованного энергоснабжения, в первую очередь в районах Крайнего Севера и приравненных к ним территориях. Объем завоза топлива в эти районы составляет около 7 млн. т нефтепродуктов и свыше 23 млн. т угля.

Наиболее перспективной территорией для использования ВИЭ является республика Саха (Якутия). На юге республики планируется развитие централизованной системы электроснабжения: окончание строительства третьей станции Вилюйского каскада (Светлинской ГЭС) с доведением ее мощности до 360 МВт, расширение Нерюнгринской ГРЭС, строительство Талаканской ГРЭС, сооружение Южно-Якутского гидроэнергетического комплекса ЮЯГЭК с суммарной установленной мощностью до 8430 МВт.

Север республики является зоной с децентрализованным электроснабжением потребителей. Основой электроснабжения потребителей в отдаленных от электрических сетей районах являются около 200 дизельных электростанций. Малая энергетика, построенная преимущественно на дизельной генерации и локальных сетях малого напряжения, обусловлена социально-экономическими особенностями функционирования и развития энергетического хозяйства северного региона: суровые климатические условия, удаленность и труднодоступность потребителей, значительная площадь обслуживания, низкая плотность населения и, соответственно, небольшие требуемые мощности энергогенерирующих установок, отсутствие крупных промышленных потребителей, высокая экологическая уязвимость территории [2].

За последние десять лет резко сократились объемы строительства ЛЭП, приостановлена реконструкция старых. Более 60 % ЛЭП, трансформаторных подстанций отработали свой ресурс и требуют капитального ремонта, вследствие чего происходит периодическое аварийное отключение электросети, опасное для жизни в длительный зимний период [2].

Анализ среднегодовых скоростей ветра метеостанций Якутии показал, что скорость более 3 м/с преобладает в северной части республики. Улусы, расположенные южнее отмеченных пяти на рис.

2, имеют заметно более низкие среднегодовые скорости ветра – преимущественно менее 2,5 м/с. В таблице 1 представлены значения среднегодовых скоростей по данным многолетних наблюдений метеостанций.

Для оценки целесообразности использования энергии ветра в децентрализованной системе электроснабжения Якутии был выбран поселок Кюсюр Булунского улуса с населением около 1000 человек. Для анализа были использованы данные архива метеостанции Кюсюр за 2001-2010 гг.

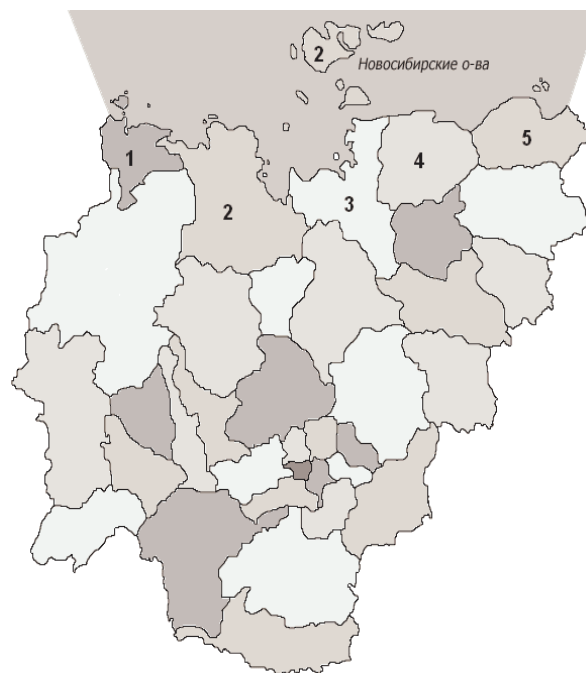


Рис. 2. Улусы с высоким ветровым потенциалом республики Саха (Якутия).

Таблица 1

Средние годовые скорости ветра по данным метеостанций улусов Якутии

№ на карте	Улус	Метео-станция	$V_{\text{ср}}$, м/с
1	Анабарский	Саскылах	3,5
		Усть-Оленек	6,3
2	Булунский	Таймылыр	5,5
		Тюмяти	3,5
		Тикси	5,1
		Кюсюр	4,1
		Сиктях	3,2
		Буорхая	6,0
3	Усть-Янский	Усть-Янск	3,5
		Казачье	3,3
		Табор	4,9
4	Аллаиховский	Чокурдах	4,7
		Алазея	4,8
5	Нижнеколымский	Алазея	4,8

В архиве содержатся сведения об измерениях ветра 4 раза в сутки. Для определения значений ветра в каждый час суток с целью совмещения с графиком электрических нагрузок при анализе было сделано допущение, что ветер между измерениями изменялся по линейному закону.

Энергия, вырабатываемая ВЭУ за период исследования, определяется по формуле:

$$W = \sum_{i=1}^N P(V_i)T_i,$$

где $P(V_i)$ – электрическая мощность ВЭУ, соответствующая скорости ветра V_i на i -м интервале измерения, кВт; T_i – продолжительность интервала измерения, ч.

Значения $P(V_i)$ для каждого часа измерения определяются по мощностной характеристике ВЭУ.

При расчете скорость ветра, полученная по данным измерения метеостанции, была приведена к высоте мачты ВЭУ по формуле:

$$V_i = V_{изм} \left(\frac{H_i}{H_{изм}} \right)^m,$$

где V_i – скорость ветра на высоте H_i ветроустановки, м/с; $V_{изм}$ – скорость ветра на высоте флюгера метеостанции $H_{изм}$, м/с; m – степенной коэффициент, зависящий от средней скорости ветра на высоте флюгера метеостанции.

Были проведены расчеты для 22 ВЭУ российского и иностранного производства номинальной мощностью от 0,5 до 100 кВт. На рис. 3 и в таблице 2 представлены характеристики одной из наиболее эффективных для данной местности ВЭУ Eurowind 20.

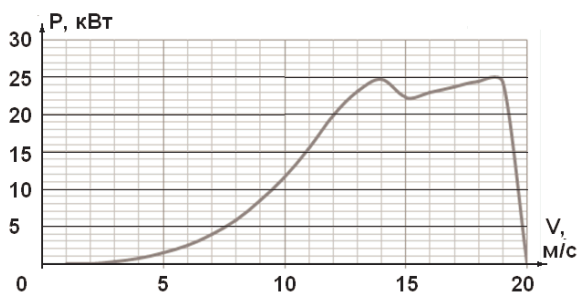


Рис. 3. Мощностная характеристика Eurowind 20.

Таблица 2

Технико-экономические показатели ВЭУ Eurowind 20

Номинальная мощность, кВт	20
Максимальная мощность, кВт	26,5
Стартовая скорость, м/с	2
Номинальная скорость, м/с	12
Цена, тыс. руб	744

Сравнительный анализ эффективности использования ВЭУ предлагается осуществлять с помощью графиков, отражающих выработку электроэнергии на участках мощностных характеристик. На рис. 4 представлен график выработки W , построенный при помощи мощностной характеристики рис. 3. Повторяемость скоростей ветра приведена за 10 лет. Из графика следует, что наибольший вклад в выработку Eurowind 20 вносит ветер скоростью 6-7 м/с.

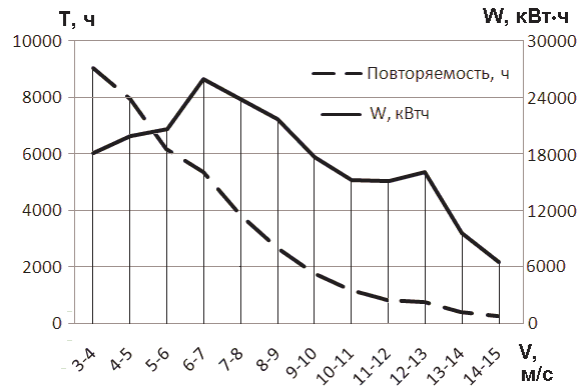


Рис. 4. Повторяемость ветра по скорости и выработка электроэнергии ВЭУ.

Графики, отражающие выработку электроэнергии на участках мощностных характеристик, позволяют определять наиболее эффективные ВЭУ для данной местности. На рис. 5 представлены характеристики наиболее эффективных ВЭУ из рассматриваемых в исследовании. Результаты выработки приведены к 1 кВт установленной мощности.

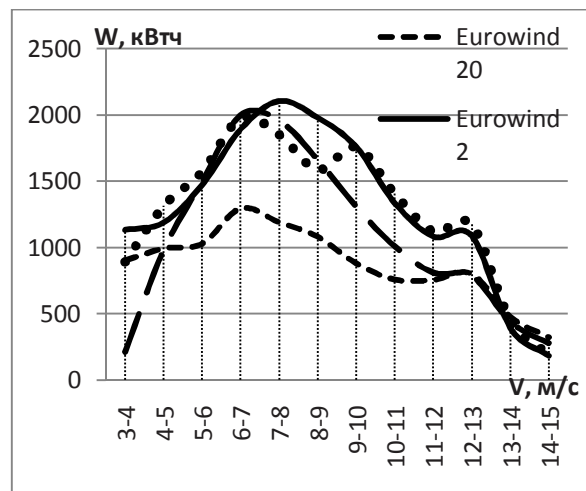


Рис. 5. Выработка энергии ВЭУ на участках мощностных характеристик.

Можно сделать заключение о высокой энергетической эффективности Eurowind 2 и низкой энергетической эффективности Eurowind 20 для данной местности. Но окончательная оценка ВЭУ производится с учетом их стоимости. Наиболее эффективные ВЭУ приведены в таблице 3. Эко-

номический эффект приведен к 1 кВт установленной мощности ВЭУ для возможности их сопоставления.

Таблица 3
Результаты расчета экономического эффекта использования ВЭУ

Год	Eurowind 2	Eurowind 20	Eurowind 1	Мельников ВЭУ-10
	тыс. руб/кВт установленной мощности			
2001	9,2	7,7	8,0	7,7
2002	6,8	5,5	5,6	5,4
2003	10,9	9,0	9,9	8,9
2004	1,3	0,9	0,2	0,4
2005	2,6	1,9	1,6	1,6
2006	2,4	1,7	1,3	1,4
2007	1,8	1,2	0,5	0,8
2008	3,0	2,2	1,8	1,9
2009	1,4	0,9	0,2	0,5
2010	2,5	1,8	1,3	1,4
2001-2010	41,6	32,8	30,4	30

Учитывая, что ориентировочная максимальная нагрузка поселка Кюсюр составляет порядка 612 кВт, предпочтение следует отдать ВЭУ с большей установленной мощностью – 20 кВт.

Результаты расчета экономической эффективности ВЭУ Eurowind 20 представлены в таблице 4. Оценка востребованной электроэнергии была произведена путем сопоставления суточных графиков выработки электроэнергии ВЭУ и графиков нагрузки потребителей. Экономия топлива и масла была оценена с учетом расхода дизельной электростанции поселка, включающей 5 генераторов ДГРА-520. Расход топлива одного генератора в номинальном режиме составляет 196 г/кВт·ч, масла – 1,35 г/кВт·ч.

Таблица 4

Результаты расчета экономического эффекта использования ВЭУ Eurowind 20

Год	Средняя скорость ветра, м/с	Выработка, тыс. кВт·ч	Востребованная энергия, тыс. кВт·ч	Эффект, тыс. руб.
2001	4,99	41,632	36,876	154,719
2002	4,35	35,136	29,472	110,585
2003	4,96	46,866	40,951	179,011
2004	2,65	17,421	13,894	17,722
2005	2,88	21,486	17,428	38,791
2006	3,04	21,521	16,775	34,896
2007	2,78	18,135	14,818	23,229
2008	3,2	22,681	18,292	43,936
2009	2,72	17,686	13,771	16,989
2010	2,85	20,473	16,972	36,071
2001-2010	3,44	263,037	219,249	655,949

Из таблицы 4 видно, что для района характерны значительные колебания средней годовой скорости ветра. Расчет показал, что для ВЭУ Eurowind 20 при сохранении ветра на уровне 2001 или 2003 года срок окупаемости составит 5 лет, на уровне 2002 года – 8 лет. В последующие года срок окупаемости выходил за срок службы ВЭУ. Значения средних месячных и годовых скоростей ветра по данным многолетних испытаний наиболее близки к данным 2002 года, а значит ориентировочный срок окупаемости, в соответствии с расчетами, может достигнуть 8 лет.

Литература

1. World Wind Energy Report 2009 (PDF). Report. World Wind Energy Association. February 2010. Retrieved 13-March-2010.
2. Лукутин Б.В., Киушкин В.Р. Ветроэлектростанции в автономной энергетике Якутии. Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2006. 202 с.