ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА

WIND ENERGY

Статья поступила в редакцию 15.01.15. Ред. рег. № 2169

The article has entered in publishing office 15.01.15. Ed. reg. No. 2169

УДК 621.311.24

АНАЛИЗ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕРРИТОРИИ ОСТРОВА АМБОН, ИНДОНЕЗИЯ

Р.А. Нунумете

Национальный исследовательский Томский Политехнический Университет Россия 634034, Томск, ул. Вершинина, 37 тел.: +7 983-235-79-78; e-mail: ricardo.nunumete@yahoo.com

doi:10.15518/isjaee.2015.01.002

Заключение совета рецензентов: 19.01.15 Заключение совета экспертов: 23.01.15 Принято к публикации: 29.01.15

В статье представлены результаты анализа ветроэнергетического потенциала территории острова Амбон на основе фактических данных о среднечасовых скоростях ветра за период с 2008 по 2013 гг. Выполнена оценка ветрового режима территории, включающая определение среднегодовой скорости ветра, повторяемость ветров различных направлений, распределение скоростей ветра в течение года. Статистическая обработка и анализ метеорологической информации показали, что продолжительность ветров с полезной скоростью превышает полгода, а средняя мощность ветрового потока на высоте 50 м составляет 128 Вт/м², что предопределяет неплохие условия для использования ветроэнергетических установок в рассматриваемом регионе.

Ключевые слова: средняя скорость ветра, повторяемость скоростей ветра, распределение Вейбулла, мощность ветрового потока, остров Амбон.



R.A. Nunumete

National Research Tomsk Polytechnic University 37 Vershinina Str., Tomsk, 634034 Russian Federation ph.: +7 983-235-79-78, e-mail: ricardo.nunumete@yahoo.com

Referred 19 January 2015 Received in revised form 23 January 2015 Accepted 29 January 2015

The article presents the analysis results of the wind energy potential of Ambon Island based on actual hourly average wind speeds data during the period from 2008 to 2013. Wind regime assessment of the territory includes the determination of annual average wind speed, wind frequency occurrence of different wind directions, the distribution of wind speeds during the year. Statistical calculation and analysis of meteorological data showed that the useful wind speed blowing more than 50% of the time in a year, and the average of wind power density at the height of 50 m is 128 W/m², which determines good conditions for the use of wind turbines in the region.

Keywords: average wind speed, wind speed frequency, Weibull distribution, Wind Power Density, Ambon Island.



Международный издательский дом научной периодики "Спейс"



Рикардо А. Нунумете Ricardo A. Nunumete

periodicals "Space"

International Publishing House for scientific

Сведения об авторе: аспирант Энергетического института Национального исследовательского Томского политехнического Университета (ЭНИН НИ ТПУ) по специальности «Электрические станции и электрические системы»

Образование:

- 2000-2006 гг. инженерный факультет университета Паттимура (бакалавр «Машиностроение»), Индоне-
- 2010-2011 гг. подготовительный факультет НИ ТПУ.
- 2011-2013 гг. ЭНИН НИ ТПУ (магистр «Возобновляемые источники энергии»).

Область научных интересов: возобновляемые источники энергии, ветровая энергетика, солнечная энергетика.

Публикации: 5.

Information about the author: Tomsk Polytechnic University (PhD Student in Electrical Stations and Electrical Systems).

Education:

- 2000-2006 Engineering Faculty, Pattimura University (Bachelor in Mechanical Engineering), Indonesia.
- 2011-2013 Tomsk Polytechnic University (Master in Renewable Energies Sources).

Area of researches: renewable energies sources, wind energy, solar energy.

Publications: 5.

Введение

Современные тенденции развития энергетики предполагают активное использование в энергетическом балансе регионов новых и возобновляемых источников энергии. Применение технологий возобновляемой энергетики особенно актуально для электроснабжения небольших объектов, удаленных от энергосистем, газо- и нефтепроводов.

Отличительной особенностью энергетики Индонезии является наличие большого числа автономных, изолированных друг от друга энергосистем относительно небольшой мощности, обеспечивающих электроснабжение потребителей в пределах одного отдельного острова.

Страна Индонезия расположена вдоль линии экватора, и обладает относительно небольшим ветроэнергетическим потенциалом. Однако, по данным Национального института аэронавтики и космоса (LAPAN), на части островных территорий страны

среднегодовая скорость ветра составляет более 5 м/с, что позволяет рассматривать их в качестве потенциально возможных мест для применения ветроэнергетических установок [1].

Целью настоящей работы является анализ и оценка ветроэнергетического потенциала территории острова Амбон на предмет использования в регионе ветроэнергетических установок.

Характеристика района исследований

Остров Амбон расположен в северной части кольца вулканических островов, окружающего море Банда, территориально относится к провинции Молукку (Индонезия), рис.1. Площадь острова 775 км², население более 360 тыс человек. Рельеф острова преимущественно горный, большая часть острова покрыта тропическими лесами. Климат тропический, среднегодовая температура 27 °C.



Рис. 1. Карта района исследования Fig. 1. Map of the studied area



27

Потребители обеспечиваются электроэнергией от двух дизельных электростанций (ДЭС), объединенных в общую энергосистему. По данным годового отчета национальной электрической компании (PLN) за 2013 г суммарная установленная мощность двух станций составляет 50,8 МВт, в то время как пиковая нагрузка достигает 49 МВт [2].

Недостаток резерва мощности и высокий износ основного генерирующего оборудования ДЭС приводят к частым нарушениям электроснабжения потребителей — средняя продолжительность отключений электроэнергии составляет более двух часов в сутки.

Значительным резервом повышения надежности и эффективности существующей системы электроснабжения острова является использование для генерации возобновляемых источников энергии, в частности энергии ветра. Достоинствами данной технологии производства электрической энергии являются экологическая чистота и низкие эксплуатационные расходы. В то же время практическое внедрение ветроэнергетических технологий в рассматриваемом регионе соответствует государственной энергетической политике Индонезии по развитию возобновляемых источников энергии.

Методология

В качестве исходных данных для проведения исследований использовались фактические данные о среднечасовых скоростях ветра за период с 2008 по 2013 гг, полученные на единственной метеостанции острова Амбон, расположенной в точке с координатами 3° 41' ю.ш. и 128° 06' в.д., с высотой флюгера 10 метров над уровнем моря. Для прогноза энергетической эффективности ветрового потока в настоящей работе применялась стандартная функция распределения Вейбулла, которая получила преимущественное распространение в ветроэнергетике [5–10]:

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left\{-\left(\frac{v}{c}\right)\right\}^{k}, \tag{1}$$

где f(v) — плотность распределения скорости ветра v, c — параметр масштаба, k — параметр формы.

Функция интегральной повторяемости скорости ветра F(v), которая характеризует долю времени (вероятности) того, что скорость ветра равна или ниже v, определяется выражением:

$$F(v) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right]. \tag{2}$$

Для определения неизвестных коэффициентов c и k использовалась известная методика [8], заключающаяся в двойном логарифмировании выражения (1), построения полученной эмпирической зависимости и последующая линейная аппроксимация по методу наименьших квадратов.

Ветроэнергетический потенциал территории определялся по удельной мощности ветрового потока $P(BT/M^2)$, которая вычисляется по выражению:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{2} \rho v_i^3}{N} , \qquad (3)$$

где ρ — плотность воздуха кг/м³; v_i — текущее значение измеренной среднечасовой скорости ветра v; N — общее число измерений скорости ветра в выборке за 6 лет с 2008 по 2013 гг.

Леждународный издательский дом научной периодики "Спейс"

Для учета изменения скорости ветра с увеличением высоты использовался степенной закон [3]:

$$v_h = v_\phi \left(\frac{h}{h_\phi}\right)^\alpha , \tag{4}$$

где ν_h — скорость ветра на заданной высоте; ν_ϕ — скорость ветра на высоте флюгера; α — показатель степени, зависящий от типа местности. Для открытой местности с низкой шероховатостью в расчетах приняты значения $\alpha=1/7$.

Обсуждение результатов

Результаты статистической обработки метеорологических данных о скорости ветра показывают, что преобладающими для острова Амбон являются ветра юго-восточного направления (около 60 %), доля штилей составляет 4 %, продолжительность энергетических затиший со скоростью ветра ниже 3 м/с – 28 % (рис. 2).



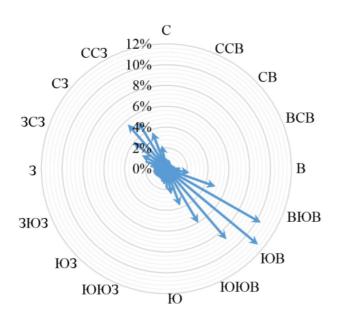
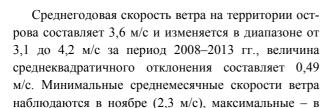


Рис. 2. Роза ветров острова Амбон **Fig. 2.**Wind rose of Ambon island





июле и августе (5,2 м/с). Годовой ход средних скоростей ветра острова представлен на рисунке 3. Суточный ход средних скоростей ветра на территории острова Амбон выражен слабо.

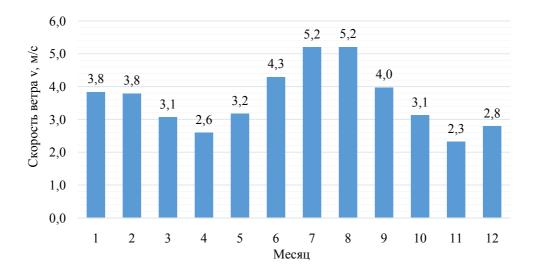


Рис. 3. Годовой ход средних скоростей ветра Fig. 3. Annual course of average wind speeds

Сводные данные о распределении скоростей ветра на высоте 10 м представлены в таблице 1. Из нее видно, что преобладающими ветрами на острове яв-

ляются ветры со скоростью от 3 до 4 м/с, общая продолжительность которых составляет 49 %.



Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

Таблица 1

Основные характеристики ветрового режима территории острова Амбон

v,m/c	2008		2009		2010		2011		2012		2013		6 лет	
, ,/ 0	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
0	277	3,2	150	1,7	476	5,4	358	4,1	249	2,8	343	3,9	1 853	3,5
1	896	10,2	801	9,1	1 834	20,9	1 391	15,9	960	10,9	1 400	16,0	7 282	13,8
2	629	7,2	680	7,8	1 180	13,5	964	11,0	759	8,6	975	11,1	5 187	9,9
3	1 473	16,8	1 824	20,8	1 910	21,8	2 136	24,4	1 964	22,4	1 825	20,8	11 132	21,2
4	2 389	27,2	2 948	33,7	1 840	21,0	2 325	26,5	2 549	29,0	2 578	29,4	14 629	27,8
5	679	7,7	798	9,1	480	5,5	480	5,5	658	7,5	493	5,6	3 588	6,8
6	1 049	11,9	989	11,3	642	7,3	630	7,2	797	9,1	602	6,9	4 709	9,0
7	744	8,5	434	5,0	289	3,3	379	4,3	470	5,4	354	4,0	2 670	5,1
8	405	4,6	118	1,3	92	1,1	86	0,1	303	3,4	150	1,7	1 154	2,2
9	147	1,7	18	0,2	17	0,2	11	0	62	0,7	36	0,4	291	0,6
10	81	0,9	0	0	0	0	0	0	8	0,1	4	0,05	93	0,2
11	15	0,2	0	0	0	0	0	0	5	0,1	0	0	20	0,04
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σ	8 784	100	8 760	100	8 760	100	8 760	100	8 784	100	8 760	100	52 608	100

По данным табл. 1 рассчитана эмпирическая функция вероятности повторения скоростей ветра, которая была аппроксимирована стандартной функцией распределения Вейбулла, после чего определена средняя удельная мощность ветрового потока (рис. 4).

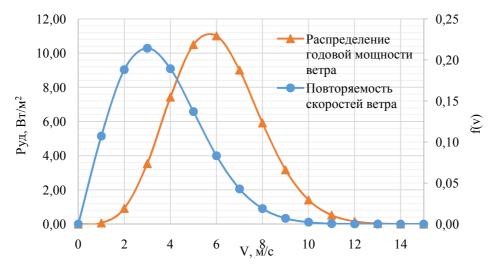


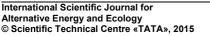
Рис.4. Повторяемость скоростей ветра p(v) и распределение годовой удельной мощности ветра $Py\partial$ территории острова Амбон на высоте 10 м

Fig. 4. Wind speed frequency p(v) and annual wind power density distribution Pyearly of Ambon Island at 10 m height

Плотность мощности ветра определяет количество энергии, которая может быть извлечена из ветрового потока с помощью лопастей ветродвигателей. Результаты расчетов показывают, что среднегодовая валовая мощность ветра исследуемой территории на высоте 10 м составляет 53 Вт/м².

Средняя скорость ветра, как правило, возрастает с увеличением высоты, что позволяет повысить выработку электроэнергии ветроэнергетическими установками за счет увеличения высоты их башни.

Для оценки ветроэнергетического потенциала территории была выполнена серия расчетов по определению среднегодовой скорости ветра, распределению скоростей ветра и плотности мощности ветра на высотах 15, 20, 30, 40, 50 м.





Полученные зависимости среднегодовой скорости и валовой плотности мощности ветра от высоты

представлены на рисунке 5.

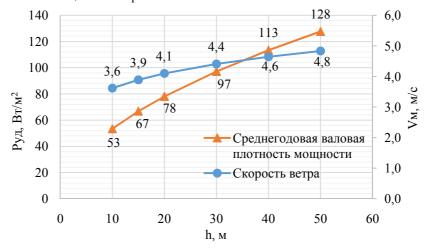
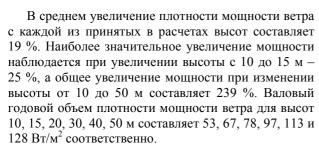


Рис. 5. Среднегодовая валовая плотность мощности и скорость ветра, h=10-50м. Fig. 5. Annual average gross wind power density and wind speed, h=10-50m



Исходя из силы ветра по шкале Бофорта и ее влияния на ветроустановки и условия их работы [4], была определена продолжительность ветров с полезной скоростью для рассматриваемого региона. Хорошее качество ветра, которое можно использовать для выработки электрической энергии ветродвигателями, находится в области от 3 м/с и выше. Выполненные расчеты показывают, что для высоты 10 м продолжительность полезных ветров составляет 53 %, а для высот 20, 30, 40 м имеются равные значения -83%.

По данным энергосбытовой компании большинство потребителей электроэнергии острова составляют отдельные домохозяйства классов R1 450BA, R1 900BA и R1 1300BA (до 90 % от данного сектора потребителей) с годовой потребностью в электроэнергии 0,46, 0,96 и 2,41 МВт-ч соответственно. Большую часть их потребностей в электроэнергии можно обеспечить за счет энергии, вырабатываемой малыми ветроэнергетическими установками (ВЭУ). Для оценки потенциальных возможностей использования энергии ветра для выработки электроэнергии в рассматриваемом регионе были выбраны 4 модели малых ВЭУ с горизонтальной осью вращения различной мощности и выполнены расчеты их среднегодовой выработки.

Среднегодовое количество энергии (кВт-ч), вырабатываемое ВЭУ, определяется по формуле:

$$W = T \cdot \sum_{i=1}^{m} P_i(v) \cdot N_i(v), \tag{5}$$

где m – количество градаций скоростей ветра; T – общее число часов работы ВЭУ в год; Рі(v) - повторяемость скорости в данной градации; Ni(v) – выходная мощность ВЭУ в данной градации скорости ветра, кВт (определяется по рабочей характеристике ВЭУ как среднее значение для данной градации).

Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Table 2

Международный издательский дом научной периодики "Спейс"

Расчетная годовая выработка электроэнергии малыми ВЭУ

Calculation of annual energy production of small wind turbines

Модель	SW Whisper 200	WES 5 Tulipo	Hummer	Bergey Excel
Мощность, кВт	1	2,5	5	10
Высотаh _{произв} , м	12	12	12	18
<i>W</i> , МВт·ч/год	0,34	1,23△□	2,23△□	1,94△□
W, МВт·ч/год - h =20м	$0,47^{\Delta}$	1,67△□	3,03△□0	2,44 ^{∆□0}
W, МВт·ч/год - h =30м	$0,54^{\Delta}$	1,90△□	3,43△□0	2,87△□0
W МВт·ч/гол - <i>h</i> =40м	0.62∆	2.13△□	3 94∆□0	3 33∆□0

R1 450BA [Δ], R1 900BA[α], R1 1300BA [ο]



Результаты расчетов показывают, что при соответствующей высоте мачты модели ветротурбин Hummer (5 кВт) и BergeyExcel (10 кВт) способны обеспечить полное покрытие потребностей в годовом потреблении электроэнергии домохозяйств класса R1 450BA, R1 900BA и R1 1300BA.

Заключение

Проведенный предварительный анализ ветроэнергетического потенциала территории острова Амбон показал, что средняя скорость ветра на шестилетний период наблюдений составляет от 3 до 4 м/с. Полученные параметры функции распределения Вейбулла дают информацию об уровне плотности мощности ветра в регионе. Расчетные значения параметра формы k в основном выше 1,5. Это означает, что в регионе стабильная скорость ветра. Среднегодовая валовая мощность ветра исследуемой территории на высоте 10 м составляет 53 Вт/м² и увеличивается до 128 Вт/м² на высоте 50 м. Полезные скорости ветра доступны в течение более чем полгода.

Результаты проведенных исследований позволяют рекомендовать для рассматриваемого региона ветроэнергетические установки малой мощности с высотой мачты от 20 до 40 м.

Для уточнения выполненных расчетов необходимо провести дополнительные инструментальные наблюдения за скоростью ветра на больших высотах. Окончательное решение о целесообразности применения ВЭУ для электроснабжения потребителей острова Амбон может быть принято только после технико-экономического обоснования.

Список литературы

- 1. Repit, Wind, Indonesia power generation. 2011. http://repit.wordpress.com/others/wind/
- 2. PT.PLN Persero, Rencana usaha penyediaan tenaga listrik (RUPTL 2013–2022). 2013. http://www.pln.co.id/blog/ruptl/.
- 3. Лукутин Б.В. Возобновляемые источники энергии. Томск: Томский политехнический университет, 2008. С. 16.
- 4. Городов Р.В., Губин В.Е., Матвеев А.С. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Томск: Томский политехнический университет, 2009. С. 99-100.
- 5. Обухов С.Г., Сурков М.А., Хошнау З.П. Методика выбора ветроэнергетических установок малой мощности // Электро. 2011. № 2. С. 25–30.
- 6. CelikA.N. Energy output estimation for small-scale wind power generators using Weibull-representative wind data // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 2003. № 91. C. 693–707.
- 7. Ulgen K., Hepbasli A. Determination of Weibull parameters for wind energy analysis of Izmir, Turkey //

International Journal of Energy Research. 2002. № 26. C. 495–506.

- 8. Seyit A. Akdag, Alli Dinler. A new method to estimate Weibull parameters for wind energy applications // Elsevier. Energy Conversion and Management. 2009. № 50. C. 1761–1766.
- 9. Indhumathy D., Seshaiah. C.V., Sukkiramathi K. Estimation of Weibull parameters for wind speed calculation at Kanyakumari in India // International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2014. № 3. C. 8340–8345.
- 10. Albani A., Ibrahim M.Z. Statistical analysis of Wind Power Density based on the Weibull and Rayleigh models of selected site in Malaysia // Pakistan Journal of Statistics and Operation Research. 2013. № 4. C. 393–406

References

- 1. Repit, Wind, Indonesia power generation, 2011. Available at: http://repit.wordpress.com/others/wind/
- 2. PT.PLN Persero, Rencana usaha penyediaan tenaga listrik (RUPTL 2013-2022), 2013. Available at: http://www.pln.co.id/blog/ruptl/.
- 3. Lukutin B.V. Vozobnovlâemye istočniki ènergii. Tomsk: Tomskij politehničeskij universitet, 2008, p. 16 [in Russ.].
- 4. Gorodov R.V., Gubin V.E., Matveev A.S. Netradicionnye I vozobnovlâemye istočniki ènergii. Tomsk: Tomsk Polytechnic University, 2009, pp. 99–100 [in Russ.].
- 5. Obuhov S.G., Surkov M.A., Hošnau Z.P. Metodika vybora vetroènergetičeskih ustanovok maloj moŝnosti. *Èlektro*, 2011, no. 2, pp. 25–30 [in Russ.].

Иеждународный издательский дом научной периодики "Спейс'

- 6. Celik A.N. Energy output estimation for small-scale wind power generators using Weibull-representative wind data. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2003, no. 91, pp. 693–707.
- 7. Ulgen K., Hepbasli A. Determination of Weibull parameters for wind energy analysis of Izmir, Turkey. *International Journal of Energy Research*, 2002, no. 26, pp. 495–506.
- 8. Seyit A. Akdag, Alli Dinler. A new method to estimate Weibull parameters for wind energy applications. *Elsevier. Energy Conversion and Management*, 2009, no. 50, pp. 1761–1766.
- 9. Indhumathy D., Seshaiah C.V., Sukkiramathi K. Estimation of Weibull parameters for wind speed calculation at Kanyakumari in India. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2014, no. 3, pp. 8340–8345.
- 10. Albani A., Ibrahim M.Z. Statistical analysis of Wind Power Density based on the Weibull and Rayleigh models of selected site in Malaysia. *Pakistan Journal of Statistics and Operation Research*, 2013, no. 4, pp. 393–406.

Транслитерация по ISO 9:1995

