

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЦЕНТРА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

К.Т.Н. Жинов А.А., К.Т.Н. Шевелев Д.В., Метлицкий Н.Е.

Калужский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана), Калуга, Россия
denis.v.shevelev@yandex.ru

В настоящее время в мире активно развивается альтернативная энергетика, основанная на солнечной энергии и энергии ветра. Причина этого – очевидные признаки глобального потепления, вероятно вызванного выбросами парниковых газов – продуктов сжигания органического топлива. Производство электрической энергии на солнечных и ветровых электростанциях, в отличие от традиционных тепловых электростанций, не приводит к выбросу в атмосферу парниковых газов. В данной статье рассматривается потенциал ветряных электростанций в условиях центральной зоны Европейской части России, на примере Калужской области. При написании статьи были использованы открытые климатические данные METAR метеорологической станции Международного аэродрома «Калуга» им. К.Э. Циолковского (KLF). Использовались данные о средней скорости ветра за трехчасовые промежутки времени в течение одного года. Был проведен анализ скорости ветра – построен график вероятности наблюдения той или иной скорости ветра, который показал, что средняя скорость ветра в Калужской области составляет порядка 2...4 м/с. Произведен расчет генерации электрической энергии серийным ветрогенератором малой мощности, определен коэффициент использования установленной мощности КИУМ = 7 %. Установлено, что Калужская область обладает низким ветроэнергетическим потенциалом. Получение электроэнергии на основе ветра в условиях Калужской области возможно, но расчеты показали, что срок окупаемости таких энергоустановок в указанных условиях даже без учета затрат на установку, вспомогательное оборудование и техническое обслуживание ветрогенератора составляет около 30 лет. В результате проведенного исследования был сделан вывод об отсутствии экономической целесообразности эксплуатации маломощностных ветряных электростанций в условиях центральной зоны Европейской части России.

Ключевые слова: ветрогенераторы, альтернативная энергетика, экономика, ветродвигатель, крыльчатые ветрогенераторы.

Для цитирования: Жинов А.А., Шевелев Д.В., Метлицкий Н.Е. Техничко-экономический анализ эффективности ветроэлектростанции малой мощности в климатических условиях центра Европейской части России // Известия МГТУ «МАМИ». 2020. № 3 (45). С. 83–87. DOI: 10.31992/2074-0530-2020-45-3-83-87.

Введение

Традиционная энергетика базируется на использовании углеводородного топлива – угля, природного газа, нефти. Одним из компонентов продуктов сгорания углеводородных топлив является углекислый газ, относящийся к категории парниковых. Суммарный общемировой объем выбросов парниковых газов составляет более 30 млрд тонн [1], что, по мнению ряда исследователей, является причиной климатических изменений [2].

В настоящее время в связи с очевидными признаками глобального потепления международными организациями разработаны меры по сдерживанию климатических изменений, вы-

званных глобальным потеплением [3]. В рамках этих мер рекомендовано частичное замещение традиционной углеводородной энергетики на энергетику, основанную на использовании таких возобновляемых энергоресурсов как энергия солнечного излучения и энергия ветра. Производство электрической энергии на солнечных и ветровых электростанциях в отличие от традиционных тепловых электростанций не приводит к выбросу в атмосферу парниковых газов. Развитие энергетике, основанной на использовании возобновляемых энергоресурсов, возведено в ряд важнейших государственных задач и нашло поддержку на правительственном уровне, в том числе в РФ [4].

Цель исследования

В настоящей работе проведен предварительный технико-экономический анализ эксплуатации ВЭС в климатических условиях центра Европейской части России на примере Калужской области, как одной из типичных для данного региона.

Методы и средства проведения исследований

В настоящее время во всем мире ведется активное строительство ветряных электростанций (ВЭС). За последнее десятилетие отмечен трехкратный прирост таких генерирующих мощностей – с 200 ГВт в 2010 году до 600 ГВт в 2019 году. В РФ также введено в эксплуатацию несколько ветропарков, ведется строительство новых. До 2023 года запланирован ввод до 900 МВт новых генерирующих мощностей.

В основе работы ВЭС лежит ветрогенератор – устройство, которое преобразует энергию ветра в электрическую энергию. Известны ветрогенераторы разных типов [5]:

- крыльчатые ветрогенераторы имеют горизонтальную ось вращения, а плоскость вращения ветроколеса перпендикулярна направлению потока ветра. Коэффициент использования энергии ветра достигает $\zeta = 0,46$.

- роторные ветрогенераторы имеют вертикальную ось вращения, т.е. ветроколесо движется по направлению потока ветра. Коэффициент использования энергии ветра в них доходит до $\zeta = 0,18$.

- барабанные ветрогенераторы имеют горизонтальную ось вращения перпендикулярную направлению ветра. Коэффициент использования энергии ветра доходит до $\zeta = 0,10$.

В идеальном ветрогенераторе, в котором отсутствуют потери, коэффициент использования энергии ветра не может превышать $\zeta = 0,593$ [6]. Крыльчатые ветрогенераторы имеют коэффициент использования энергии ветра наиболее близкий к этому пределу, что и обуславливает их преимущественное распространение.

Основными технико-экономическими факторами, определяющими целесообразность строительства ВЭС, являются скорость и постоянство ветра в конкретной местности – так называемый ветроэнергетический потенциал. Оптимальным условием для строительства ветроэлектростанций сегодня считается наличие постоянно дующих со скоростью 9...12 м/с

ветров. Интегральные оценочные данные по среднегодовой скорости ветра хорошо известны и доступны [7]. Однако большую практическую ценность имеет более детальная информация, дающая фактические данные, привязанные к конкретному месторасположению, однако получить ее непросто и недешево – она требует длительного непрерывного мониторинга скорости ветра.

Для фактической оценки ветроэнергетического потенциала использовались открытые данные о скорости ветра, предоставляемые *METAR* (*Meteorological Aerodrome Report*) – авиационным метеорологическим кодом для передачи данных о фактической погоде на аэродроме [8].

В *METAR* доступны данные о скорости ветра с интервалом регистрации 3 часа. Замер скорости ветра осуществляется на высоте 10 м, данные усредняются за десятиминутный период, предшествующий сроку регистрации. В данном случае использовались метеорологические данные для аэропорта «Калуга» им. К.Э. Циолковского (KLF) за 2019 год [9]. Метеорологические условия и рельеф местности в районе аэропорта типичны для центра Европейской части России.

Результаты технико-экономического анализа

Выполненный анализ данных *METAR* позволил построить распределение частоты наблюдения той или иной скорости ветра в рассмотренном районе, которое представлено на рис. 1.

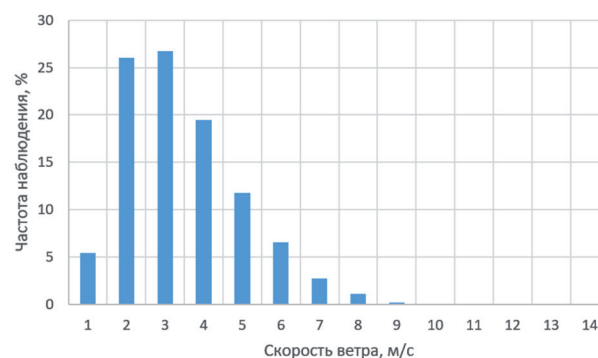


Рис. 1. Распределение частоты наблюдения скорости ветра

Установлено, что осредненная скорость ветра изменялась от 0 до 13 м/с с порывами до 16 м/с. Преобладали ветра от 1 до 4 м/с, средняя скорость ветра составила 2,4 м/с.

На основании этих данных ветропотенциал Калужской области можно охарактеризовать как низкий, однако существуют ветрогенераторы, адаптированные к такой низкой скорости ветра.

Для проведения технико-экономического анализа целесообразности эксплуатации ВЭС был выбран крыльчатый ветрогенератор малой мощности 48B1/1,5 кВт *LOW WIND* [10]. Ветрогенератор имеет диаметр колеса 2,8 м и располагается на мачте высотой 9 м. Номинальная мощность ветрогенератора $N_{\text{ном}} = 1$ кВт. Стоимость такого ветрогенератора около 100000 руб. Паспортная характеристика ветрогенератора представлена на рис. 2.

Максимальный коэффициент использования энергии ветра для рассмотренного ветрогенератора составляет $\zeta = 0,12...0,13$.

Использованные метеорологические сведения о скорости ветра и характеристика ветрогенератора, аппроксимированная полиномиальной зависимостью, позволили произвести расчет возможной фактической энергогенерации за 2019 г. по формуле:

$$W_{\Phi} = \sum_{i=1}^n (p(c_i) \cdot 3),$$

где $n = 1204$ – количество трехчасовых интервалов, на протяжении которых скорость ветра считалась постоянной и равной зарегистрированной; $p(c_i)$ – мощность электрогенератора при зарегистрированной скорости ветра, кВт·ч.

Количество фактической произведенной электроэнергии составило бы $W_{\Phi} = 638,6$ кВт·ч.

Потенциальная выработка электроэнергии с полной загрузкой установленной мощности за то же количество трехчасовых интервалов находится по формуле:

$$W_{\Pi} = N \cdot 24 \cdot n,$$

где $n = 365$ – количество дней в 2019 году.

Максимальное количество произведенной за год электроэнергии составляет $W_{\Pi} = 8760$ кВт·ч.

Зная фактические и потенциально возможные объемы электроэнергии, рассчитали коэффициент использования установленной мощности (КИУМ) по формуле:

$$K_{\text{и}} = \frac{W_{\Phi}}{W_{\Pi}}.$$

КИУМ составил $K_{\text{и}} = 0,07$ (7 %).

Коэффициент использования установленной мощности в рассмотренном случае крайне низок.

Выводы

Принимая стоимость электрической энергии 5 руб./(кВт·ч) [11], срок окупаемости ветрогенератора, даже без учета затрат на его установку, вспомогательное оборудование (аккумуляторную установку, систему регулирования и автоматики и т.п.) и техническое обслуживание, можно оценить в 30 лет, что значительно больше его срока службы. Установка такого ветрогенератора в рассмотренных условиях оправдана только в случае острой необходимости, при полной недоступности других источников электроэнергии.

Исследования показали, что увеличение единичной мощности ветрогенератора незначительно улучшает его технико-экономические характеристики в заданных условиях.

Учитывая большой срок окупаемости ветрогенератора и относительную доступность централизованных электросетей в рассмотренном регионе, можно сделать предварительный вывод об отсутствии экономической целесообразности эксплуатации маломощных ВЭС в условиях центра Европейской части России.

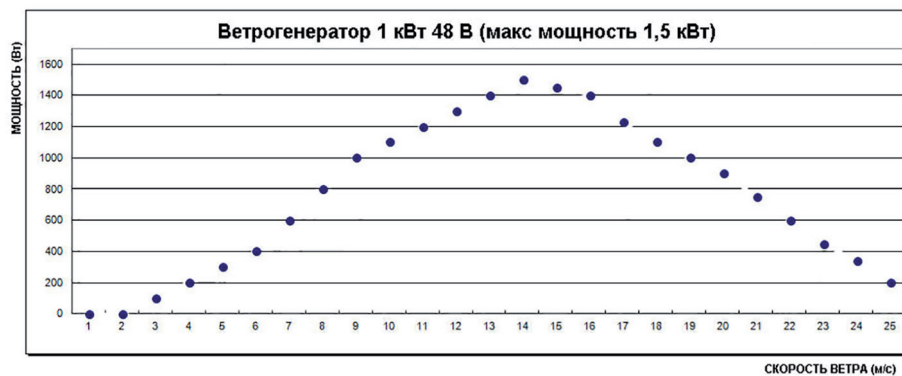


Рис. 2. Характеристика ветрогенератора 48B1/1,5 кВт *LOW WIND*

Литература

1. Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. Экология и экономика: динамика загрязнения атмосферы страны в преддверии ратификации Парижского соглашения. Аналитический центр при правительстве РФ. Август 2019. URL: <https://ac.gov.ru/files/publication/a/23719.pdf> (Дата обращения 26.03.2020).
2. Антропогенные и природные воздействия на изменяющуюся тепловую структуру атмосферы PNAS. URL: <https://www.pnas.org/content/110/43/17235> (Дата обращения 26.03.2020).
3. Парижское соглашение // Рамочная конвенция ООН об изменении климата. URL: https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf 17235 (Дата обращения 26.03.2020).
4. Постановление правительства РФ № 47 от 23.01.2015 «О внесении изменений в некоторые акты правительства Российской Федерации по вопросам стимулирования использования возобновляемых источников энергии на розничных рынках электрической энергии». URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_174584/ (Дата обращения 26.03.2020).
5. Wind Energy Handbook. Tony Burton, David Sharpe, Nick Jenkins, Ervin Bossanyi. John Wiley & Sons, Ltd, 2001.
6. Betz A. (1966) Introduction to the Theory of Flow Machines. (D. G. Randall, Trans.) Oxford: Pergamon Press.
7. Ветровые ресурсы. ГИС ВИЭ (GIS RENEWABLE ENERGY SOURCES OF RUSSIA) URL: <http://gisre.ru/maps/wind-data> (Дата обращения 26.03.2020).
8. Погода METAR и TAF. URL: <https://metartaf.ru/> (Дата обращения 19.03.2020).
9. Погода в мире. Режим доступа: <https://rp5.ru> (Дата обращения 19.03.2020).
10. Официальный сайт МАП Энергия – LOW-WIND-48-1.5 Ветрогенераторы. URL: http://www.invertor.ru/zzz/item/low_wind_48_1-1_5 (Дата обращения 19.03.2020).
11. Приложение No 1 к приказу ФАС России от 11.10.2019 No 1338/19 «Предельные минимальные и максимальные уровни тарифов на электрическую энергию (мощность), предоставляемую населению и приравненным к нему категориям потребителей, по субъектам Российской Федерации на 2020 год». Официальный сайт Калужской сбытовой компании. URL: https://kskkauga.ru/attachments/download/prikaz_federalnoi_antimonopolnoi_sluzhbi_o_predelnykh_minimalnykh_i_maksimalnykh_urovnyakh_tarifov_na_elektricheskuyu_energiyu_moschnost_postavlyаемuyu_naseleniyu_i_pri_ravnennim_k_nemu_kategoriyam_potrebitelei_po_subektam_rossiiskoi_federacii_na_2020_god-4100.pdf (Дата обращения 19.03.2020).

References

1. *Byulleten' o tekushchikh tendentsiyakh rossiyskoy ekonomiki. Ekologiya i ekonomika: dinamika zagryazneniya atmosfery strany v preddverii ratifikatsii Parizhskogo soglasheniya. Analiticheskiy tsentr pri pravitel'stve RF. Avgust 2019* [Bulletin on current trends in the Russian economy. Ecology and economy: dynamics of air pollution in the country on the eve of the ratification of the Paris Agreement. Analytical Center for the Government of the Russian Federation. August 2019]. URL: <https://ac.gov.ru/files/publication/a/23719.pdf> (accessed: 26.03.2020).
2. *Antropogenn-yye i prirodny-yye vozdeystviya na izmenyayushchuyusya teplovuyu strukturu atmosfery PNAS* [Anthropogenic and natural impacts on the changing thermal structure of the PNAS atmosphere]. URL: <https://www.pnas.org/content/110/43/17235> (accessed: 26.03.2020).
3. *Parizhskoye soglasheniye. Ramochnaya konventsiya OON ob izmenenii klimata* [Paris Agreement. United Nations Framework Convention on Climate Change]. URL: https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf 17235 (accessed: 26.03.2020).
4. *Postanovleniye pravitel'stva RF No 47 ot 23.01.2015 «O vnesenii izmeneniy v nekotoryye akty pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii po voprosam stimulirovaniya ispol'zovaniya vozobnovlyayemykh istochnikov energii na roznichnykh ryunkakh elektricheskoy energii»* [Decree of the Government of the Russian Federation No. 47 of January 23, 2015 "On Amending Certain Acts of the Government of the Russian Federation on the Promotion of the Use of Renewable Energy Sources in the Retail Electricity Markets"]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_174584/ (accessed: 26.03.2020).
5. Wind Energy Handbook. Tony Burton, David Sharpe, Nick Jenkins, Ervin Bossanyi. John Wiley & Sons, Ltd, 2001.
6. Betz A. (1966) Introduction to the Theory of Flow Machines. (D.G. Randall, Trans.) Oxford: Pergamon Press.
7. *Vetrov-yye resursy. GIS VIE (GIS RENEWABLE ENERGY SOURCES OF RUSSIA)* URL: <http://gisre.ru/maps/wind-data> (accessed: 26.03.2020).

8. Pogoda METAR i TAF. URL: <https://metartaf.ru/> (accessed: 19.03.2020)
9. Pogoda v mire. URL: <https://rp5.ru> (accessed: 19.03.2020)
10. *Ofitsial'nyy sayt MAP Energiya – LOW-WIND-48-1.5 Vetrogeneratory* [Official website of MAC Energiya – LOW-WIND-48-1.5 Wind turbines]. URL: http://www.invertor.ru/zzz/item/low_wind_48_1-1_5 (accessed: 19.03.2020)
11. *Prilozheniye No 1 k prikazu FAS Rossii ot 11.10.2019 No 1338/19 «Predel'nyye minimal'nyye i maksimal'nyye urovni tarifov na elektricheskuyu energiyu (moshchnost'), postavlyayemuyu naseleniyu i priravnennym k nemu kategoriya potrebiteley, po sub'yektam Rossiyskoy Federatsii na 2020 god»* [Appendix No. 1 to the order of the Federal Antimonopoly Service of the Russian Federation dated October 11, 2019 No. 1338/19 “Limit minimum and maximum tariff levels for electric energy (power) supplied to the citizens and equivalent categories of consumers, by regions of the Russian Federation for 2020”]. *Ofitsial'nyy sayt Kaluzhskoy sbytovoy kompanii*. URL: https://kskkaluga.ru/attachments/download/prikaz_federalnoi_antimonopolnoi_sluzhbi_o_predel'nykh_minimal'nykh_i_maksimal'nykh_urovnyah_tarifov_na_elektricheskuyu_energiyu_moshchnost_postavlyayemuyu_naseleniyu_i_priravnennim_k_nemu_kategoriya_potrebitelei_po_subektam_rossiiskoi_federatsii_na_2020_god-4100.pdf (accessed: 19.03.2020).

TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF A LOW-POWER WIND FARM IN THE CLIMATIC CONDITIONS OF THE CENTER OF THE EUROPEAN PART OF RUSSIA

PhD in Engineering **A.A. Jinov**, PhD in Engineering **D.V. Shevelev**, **N.E. Metlitsky**
Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, Russia
denis.v.shevelev@yandex.ru

Nowadays, the world is actively developing alternative energy based on solar energy and wind energy. The reason for this is the obvious signs of global warming, probably caused by the emissions of greenhouse gases - products of combustion of fossil fuels. The production of electrical energy at solar and wind power plants, unlike traditional thermal power plants, does not lead to the emission of greenhouse gases into the atmosphere. This article examines the potential of wind power plants in the central zone of the European part of Russia, using the example of the Kaluga region. The open climatic data METAR of the meteorological station of the Kaluga International Aerodrome named after Konstantin E. Tsiolkovsky (KLF) was used when writing the paper. Authors used data on the average wind speed for three-hour intervals over one year. An analysis of the wind speed was carried out and a graph of the probability of observing one or another wind speed was built. The graph showed that the average wind speed in the Kaluga region is about 2 ... 4 m/s. The calculation of the generation of electrical energy by a serial low-power wind generator was made, the coefficient of utilization of the installed capacity of the ICUM = 7% was determined. It has been established that the Kaluga region has a low wind energy potential. It is possible to obtain electricity from wind in the Kaluga Region, but calculations shown that the payback period for such power plants under these conditions, even without taking into account the costs of installation, auxiliary equipment and maintenance of the wind generator, is about 30 years. As a result of the study, it was concluded that there is no economic feasibility of operating low-power wind power plants in the central zone of the European part of Russia.

Keywords: wind generators, alternative energy, economy, wind power.

Cite as: Jinov A.A., Shevelev D.V., Metlitsky N.E. Technical and economic analysis of the efficiency of a low-power wind farm in the climatic conditions of the center of the European part of Russia. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2020. No 3 (45), pp. 83–87 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2020-45-3-83-87.