

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 620.9

МУРАВЛЕВА ЕКАТЕРИНА АЛЕКСАНДРОВНА, аспирант¹

E-mail: katty.muravleva@gmail.com

JERRY HUDGINS, профессор²

E-mail: jhudgins2@unl.edu

РУДОБАШТА СТАНИСЛАВ ПАВЛОВИЧ, докт. техн. наук, профессор¹

E-mail: rudobashta@mail.ru

¹Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация²Университет Небраска – Линкольн, 209N Инженерный центр имени Скотта, Линкольн, Небраска 68588-0511, США

АЛГОРИТМ ВЫБОРА ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВ

Применение ветроэнергетических установок малой мощности может решить проблему электрификации, отопления и горячего водоснабжения фермерских хозяйств в регионах с децентрализованным энергоснабжением (электро- и теплоснабжением). Недостаточность разработки нормативно-правовой базы в области энергосбережения, небольшая осведомленность населения об альтернативных источниках энергии, отсутствие четкой методики и алгоритма выбора ветровой энергоустановки малой мощности приводят к очень ограниченному ее использованию. Разработан алгоритм по выбору установки малой мощности с достаточно точным прогнозированием выработанной энергии на основе данных по скорости ветра в регионе и технических характеристик выбранной установки. Исследования проведены с помощью установки Eoltec Scirocco мощностью 6 кВт. На основе полученных экспериментальных данных и проведенных расчетов по предложенному алгоритму, с целью определения точности расчета были построены графики выработанной и рассчитанной энергии. Средняя величина отклонения между графиками составила $\pm 6\%$. В результате установлено, что предложенный метод показывает достаточно точный результат и может быть использован для руководства по выбору ветроэнергетических установок малой мощности для электрификации фермерских хозяйств.

Ключевые слова: алгоритм выбора, ветровая электроустановка малой мощности, автономное электроснабжение фермерского хозяйства.

Введение. Современные фермерские хозяйства насыщены электроприборами различного назначения, нагрузка на электросеть увеличивается с каждым годом, тем самым снижая ее пропускную способность, что ведет к ограничению выделенной мощности для отдельного потребителя [1-3]. К тому же ежегодное повышение цен на энергоносители вызывает необходимость поиска альтернативных (например, возобновляемых источников энергии (ВИЭ)), одним из которых является энергия ветра [4-7]. В связи с недостаточно разработанной нормативно-правовой базой в области энергос-

бережения и повышения энергоэффективности, небольшой осведомленностью населения об альтернативных источниках энергии, отсутствием четкой методики и алгоритма выбора ветровой энергоустановки малой мощности (ВЭУ) ее использование весьма ограничено.

Цель исследования – разработка алгоритма выбора ВЭУ малой мощности и экспериментальное выявление точности метода предложенного расчета.

Материал и методы. На основании анализа и систематизации имеющейся в технической литературе информации разработан алгоритм выбора

ветроустановок нужной мощности для обособленных фермерских хозяйств, блок-схема которого представлена на рисунке 1.

Чтобы выбрать ВЭУ, необходимо:

– обладать информацией о среднемесячной или среднегодовой скорости ветра в населенном пункте (v , м/с);

– выбрать желаемый тип ВЭУ и найти в паспорте ее технические характеристики – кривую выработки мощности ($P_{уст.} = f(v)$), Вт;

– определить высоту предполагаемой установки ветроколеса (h , м);

– задать величину потребляемой электроэнергии за месяц ($P_{потр.}$, кВт·ч).

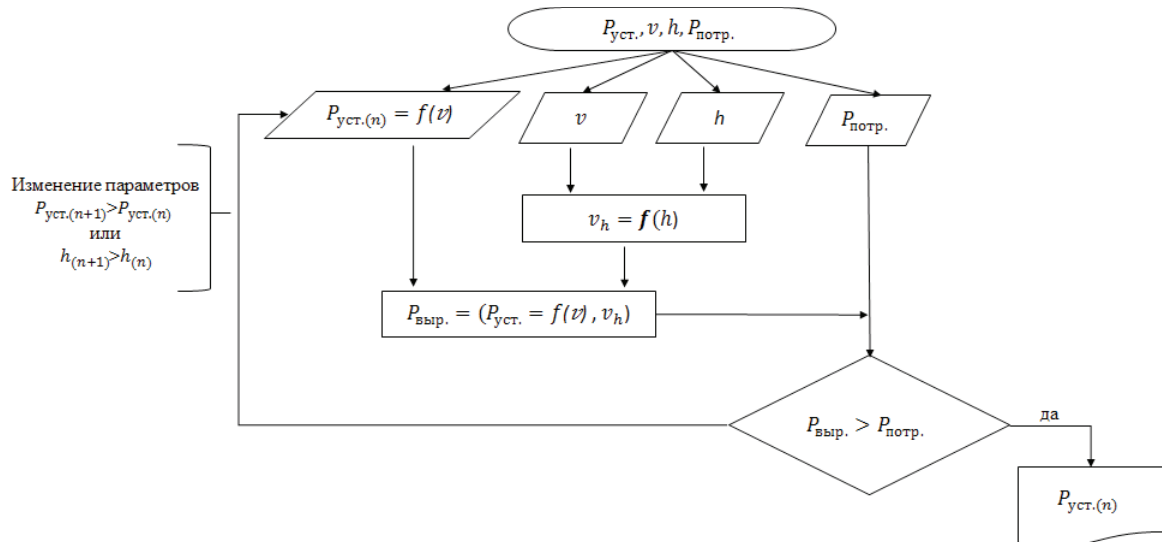


Рис. 1. Блок-схема выбора электроустановки малой мощности, способной покрыть потребность в энергоснабжении индивидуального фермерского хозяйства

Далее необходимо:

1. Пересчитать скорость ветра на высоте (h) установки ветроколеса (v_h , м/с) [8]:

$$v_h = v_2 = v_1 \cdot \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^\alpha, \quad (1)$$

где v_1 , v_2 – скорость ветрового потока на высотах h_1 и h_2 , м/с; α – коэффициент сдвига (при неизвестном значении принимается $\alpha = 1/7$ [8]).

2. На основании данных по пересчитанной скорости ветра (v_h , м/с) и кривой выработки мощности ($P_{уст.} = f(v)$, кВт) рассчитать количество электроэнергии, которое может быть выработано с помощью установки за месяц ($P_{выр.}$):

$$P_{выр.} = ((P = f(P_{выр.}, v_h)) \cdot 24 \cdot n_{дн}) / 1000, \quad (2)$$

где $P_{выр.}$ – выработанная электроэнергия за месяц, кВт·ч; v_h – скорость ветра на высоте (h) установки ветроколеса, м/с; $P_{выр.}$ – мощность установки, взятая с кривой мощности, кВт; $n_{дн}$ – количество дней в месяце.

3. Провести сравнение выработанной ($P_{выр.}$, кВт·ч) и потребляемой ($P_{потр.}$, кВт·ч) энергии. Если $P_{выр.} > P_{потр.}$, то установка будет способна полностью покрыть потребность в электроэнергии. Если же данное условие не выполняется, следует вернуться к началу цикла и проделать все те же расчеты, но выбрав при этом установку большей мощности

$P_{уст.(n+1)} > P_{уст.п}$ или поменять высоту установки ветроколеса (h , м).

Скорость ветра – достаточно непостоянный ресурс, поэтому прогнозировать выработку электроэнергии со 100%-ной вероятностью невозможно. Ключевым моментом в алгоритме, отраженном на рисунке 1, является определение выработанной энергии ($P_{выр.}$, кВт·ч) на основании данных по скорости ветра (v_h , м/с) и кривой мощности ($P_{уст.} = f(v)$). В связи с этим были проведены экспериментальные исследования по определению среднего отклонения выработанного количества электроэнергии, полученного расчетным путем ($P_{выр.}$), от фактического количества электроэнергии, выработанного ВЭУ ($P_{выр.ВЭУ}$):

$$\Delta P_{откл.} = \frac{P_{выр.} \cdot 100}{P_{выр.ВЭУ}}, \quad (3)$$

где $\Delta P_{откл.}$ – величина отклонения, %; $P_{выр.}$ – энергия, рассчитанная на основании данных по скорости ветра (v_h , м/с) и кривой мощности ($P_{уст.} = f(v)$), кВт·ч; $P_{выр.ВЭУ}$ – энергия, выработанная установкой в реальных условиях, кВт·ч.¹

¹Экспериментальные данные по выработанной энергии были получены с помощью Eoltec Scirocco мощностью 6 кВт, на базе лаборатории по возобновляемым источникам энергии университета Небраска – Линкольн США, во время прохождения годичной стажировки соавтора Е.А. Муравлевой по гранту Fulbright для выпускников вузов и аспирантов.

В связи с наладками, поломками, выходом из строя ВЭУ в течение года работала с перерывами. Были обработаны экспериментальные данные, полученные с 21.10.2014 г. по 30.06.2015 г. За весь исследуемый период зафиксировано 18368 измерений со следующей информацией:

- дата и время замера;
- средняя величина напряжения на выходе из инвертора за период измерения, В;
- средняя величина тока на выходе из инвертора, А;
- средняя мощность на выходе из инвертора за период измерения (10 мин), Вт.

На основании данных по скорости ветра, полученного с помощью чашечного анемометра 014А-Л, расположенного на метеорологической башне на высоте 18 м от уровня земли, и кривой выработки мощности ВЭУ Eoltec Scirocco E5.6-6 рассчитали энергию, которая должна быть выработана установкой за период ее работы ($P_{\text{расч}}$ – кривая 2, рис. 2). Для этого, воспользовавшись кривой выработки мощности, преобразовали 18062 измерений скорости ветра в величину электроэнергии, которая

была выработана установкой за указанный период ее эксплуатации.

На основе проанализированных данных построена кривая выработки электроэнергии установкой Eoltec Scirocco E5.6-6 за период ее эксплуатации с ноября 2014 г. по июль 2015 г. ($P_{\text{выр.ВЭУ}}$ – кривая 1, рис. 2).

В связи с тем, что количество имеющихся измерений выработанного количества электроэнергии установкой Eoltec Scirocco (18368 измерений) и количества измерений скорости ветра с метеобашни (18062 измерений) не совпадают, далее рассчитываются аналогичные показатели мощности $P_{\text{выр.ВЭУ2}}$ и $P_{\text{расч.2}}$ и для условий, когда установка работает без перебоев в течение всего года, и показатели с метеобашни при условии, что показатели скорости ветра имеются за весь рассматриваемый период (кривые 3, 4, рис. 2).

Результаты и обсуждение. Из рисунка 2 следует, что кривые 3 и 4 проходят достаточно близко друг к другу. Погрешность (ΔP) между ними по месяцам в процентном отношении представлена на рисунке 3.

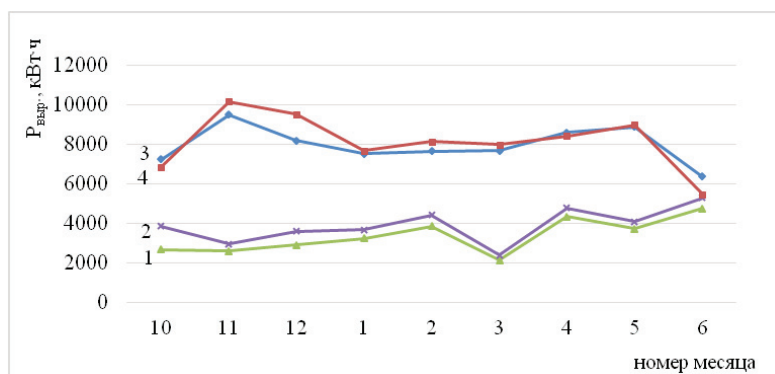


Рис. 2. График выработки электроэнергии:

- 1 – выработанная энергия, $P_{\text{выр.ВЭУ}}$;
 2 – расчетная мощность на основании данных с метеобашни, $P_{\text{расч.}}$;
 3 – выработанная энергия, $P_{\text{выр.ВЭУ2}}$; 4 – расчетная мощность, $P_{\text{расч.2}}$

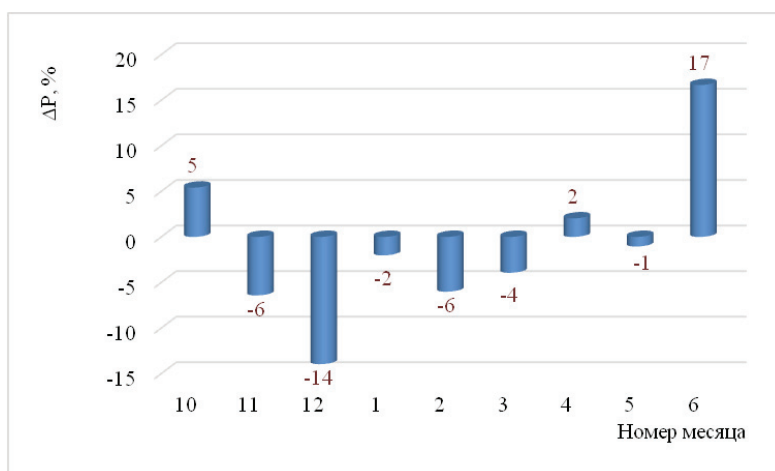


Рис. 3. Погрешность между выработанной и расчетной мощностью

Абсолютная величина средней погрешности за весь период измерений составляет $\pm 6\%$. Следовательно, рассматриваемый метод расчета фактического вырабатываемого количества электроэнергии, учитывающий скорость ветра на уровне расположения ветрового колеса по метеорологическим данным и паспортным данным кривой мощности ветроустановки, дает достаточную для инженерных расчетов точность.

Выводы

Зная скорость ветра и кривую выработки электрической мощности ВЭУ, можно достаточно точно предсказать месячное вырабатываемое количество электроэнергии установкой в климатических условиях данной местности. Погрешности между рассчитанной и выработанной кривой в среднем составляют 6%. Значит, и алгоритм, в котором ключевым моментом является определение выработанной электроэнергии на основании данных по скорости ветра и кривой мощности установки, можно считать достаточно точным и использовать его при выборе ВЭУ для нужд индивидуальных фермерских хозяйств.

Библиографический список

1. Князев В.В., Шевляков В.И. Основные направления технического и технологического развития распределительного электросетевого комплекса // Научный журнал. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2005. Вып. № 1. С. 258-270.

2. Елистратов В.В. Энергосбережение автономных потребителей энергокомплексами на базе возобновляемых источников энергии / В.В. Елистратов // Conference proceedings "Energy efficiency and agricultural engineering". Ruse, Bulgaria, 11-12 november, 2015. Printing House "Avangard print" LTD. 2015. Pp. 494-502.

3. Чиндяскин В.И., Гринько Д.В. Исследование и анализ оптимальных методов и способов комплексного электроснабжения сельскохозяйственных потребителей / В.И. Чиндяскин, Д.В. Гринько // Известия ОГАУ. 2013. № 2 (40).

4. Елистратов В.В. Возобновляемая энергетика / В.В. Елистратов. Изд. второе, доп. СПб.: Наука, 2013. 308 с.

5. Fang LiN Luo, Hong Ye. Renewable energy systems. Taylor & Francis Group, LLC., PUBLICATION. 2013. 833 p.

6. Laughton M.A. Renewable energy sources. ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS LTD, PUBLICATION. 2003. 160 p.

7. Тарифы на электроэнергию. Федеральная служба по тарифам РФ [Электронный ресурс]. URL: http://www.fstrf.ru/tariffs/info_tarif/electro/actual_price/1.

8. Bing Wu, Yongqiang Lang, Navid Zargari, Samir Kouro. Power Conversion and Control of Wind Energy – Institute of Electrical and Electronics Engineers: A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION. 2011. 481 p.

Статья поступила 18.10.2016 г.

ALGORITHM OF CHOOSING SMALL WIND TURBINE FOR FARMS

EKATERINA A. MURAVLEVA, *Postgraduate student*¹

E-mail: katya.muravleva@gmail.ru

JERRY HUDGINS, *Professor*²

E-mail: jhudgins2@unl.edu

STANISLAV P. RUDOBASHTA, *DSc, Professor*¹

E-mail: rudobashta@mail.ru

¹Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Timiryazevskaya str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

²University of Nebraska – Lincoln, 209N Scott Engineering Center, Lincoln, NE68588-0511, USA

Use of small wind turbines can solve the problem of electrification, heating and warm water supply in farms located in regions with decentralized power system. Lack of developing legislative and regulatory frameworks in energy saving, low level of awareness among people about alternative energy sources, absence of exact method and algorithm in choosing small wind turbine lead to its contained use. Detailed guidelines to be used by farmers for choosing small wind turbines have not been determined yet. Purpose of this work is to develop an algorithm that helps the farmers to select appropriate wind turbine for their farms. The key output of developed algorithm is accurate energy prediction by utilizing wind speed in the region and technical characteristics of selected wind turbine as inputs. For further research, Eoltec Scirocco (P = 6 kW) has been selected. Using the data from turbine

and developed algorithm, graphics of generated and calculated power from turbine were developed. The average value of deviation between predicted and generated power is + (–) 6%. These results provide the evidence that the proposed method small wind turbine selection, which is based on wind speed data in the region and power curve of the selected wind turbine, is quite accurate and can be used as a guideline in wind turbine selection for private farm electrification.

Key words: selection algorithm, small wind turbine, decentralized power supply system of farms.

References

1. Knyazev V.V., Shevlov V.I. Osnovnoe napravlenie tekhnicheskogo i tekhnologicheskogo razvitiya raspredelitel'nogo elektrosetevogo kompleksa [The main directions of technical and technological development of distribution grid complex] / V.V. Knyazev, V.I. Sevlov // Scientific journal Bulletin VIESH. "Power supply, automation and electro mechanization of agriculture". M.: SRU VIESH, 2005. Issue 1. Pp. 258-270.
2. Elistratov V.V. Energobezopasnost avtonomnykh potrebiteley energokompleksami na baze vozobnovlyemykh istochnikov energii [Energy-saving standalone power complex based on renewable energy sources] / V.V. Elistratov // Conference proceedings "Energy efficiency and agricultural engineering". Ruse, Bulgaria, 11-12 November, 2015. Printing House "Avangard print" LTD. 2015. Pp. 494-502.
3. Chindiyaskin V.I., Grin'ko D.V. Issledovanie i analiz optimalnykh metodov i sposobov kompleksno elektrosnabzheniya selskikh potrebiteley [Research and analysis of best methods of integrated power supply to agricultural consumers] // Izvestiya OSAU. 2013. Issue 2 (40).
4. Elistratov V.V. Vozobnovlyemaya energetika [Renewable energy] / V.V. Elistratov // 2nd Ed. ext. SPb.: Science, 2013. 308 p.
5. Fang LiN Luo, Hong Ye. Renewable energy systems. Taylor & Francis Group, LLC., PUBLICATION 2013. 833 p.
6. Laughton M.A. Renewable energy sources. ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS LTD, PUBLICATION, 2003. 160 p.
7. Tarify na elektroenergiyu. [Electricity tariffs] // Federal Tariff Service RF [electronic resource]. URL: http://www.fstrf.ru/tariffs/info_tarif/electro/actual_price/1.
8. BingWu, YongqiangLang, NavidZargari, SamirKouro. Power Conversion and Control of Wind Energy-Institute of Electrical and Electronics Engineers: A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION, 2011. 481 p.

Received on October 18, 2016

УДК 621.382.23

АНДРЕЕВ СЕРГЕЙ АНДРЕЕВИЧ, канд. техн. наук, доцент

E-mail: asa-finance@yandex.ru

ЗАГИНАЙЛОВ ВЛАДИМИР ИЛЬИЧ, докт. техн. наук, профессор

E-mail: energo-viz@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ЗАМЕНЫ КОНДЕНСАТОРОВ В СХЕМАХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ

Для управления сельскохозяйственными технологическими процессами в большинстве случаев используются регуляторы, процессоры и специализированные контроллеры, построенные на элементах промышленной электроники. Наряду с высокими требованиями к эксплуатационным показателям этих приборов важной потребительской характеристикой является их стоимость. Совершенствование технологии производства элементов электронных схем приводит к снижению их стоимости, однако это снижение происходит неравномерно. На сегодняшний день стоимость полупроводниковых приборов оказалась значительно ниже стоимости конденсаторов. Кроме того, габаритные размеры и масса традиционных кера-