УДК [621.548](http://ofernio.ru/udc/udc62.htm#621.548); [621.311.24](http://ofernio.ru/udc/udc62.htm#621.311.24)

РАСЧЕТ РЕНТАБЕЛЬНОСТИ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С РОТОРОМ ДАРЬЕ

*А.А. Бубенчиков, Р.А. Дайчман, А.А. Артамонова, Т.В. Бубенчикова*

Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

*Аннотация –* В статье рассмотрен пример расчета стоимости и рентабельности ветроэнергетической установки с ротором Дарье для конкретного потребителя расположенного в районе с малой ветровой нагрузкой.

*Ключевые слова:* ротор Дарье, рентабельность, малая ветровая нагрузка, ветроэнергетическая установка

Применимость ветроэнергетических установок в регионах с малой ветровой нагрузкой до сих пор остается под вопросом. Выбор ВЭУ для конкретного потребителя является сложной задачей определения параметров ветроколеса, редуктора, инвертора, мощности и конструкции генератора.

Для расчета параметров системы при непосредственном питании от источника альтернативной энергии, в частности от ветроэнергетической установки с ротором Дарье, необходимо определить пиковую мощность подлеченных одновременно электроприборов.

Построение графика нагрузки, а, следовательно, обнаружения пика мощности частного потребителя энергии несёт в себе некоторую неопределенность поскольку, досконально не известен точный график включения и отключения электроприборов, а также мощность каждого из них в различном режиме нагрузки. В связи с этим задача решается с некоторой долей вероятности, поскольку усредняются мощности и время работы электроприбора.

Для понимания целостности картины энергопотребления частного домохозяйство рекомендуется составить таблицу 1. Где необходимо в соответствии техническим паспортом каждого прибора определить установленную мощность. Определить время работы конкретного электроприбора в течение суток.

*Таблица 1*

Мощность электроприборов и мгновенная потребляемая мощность

| **Электроприбор** | **Установленная****Мощность единицы электроприбора, Ватт** | **Мгновенная потребляемая мощность, Вт** |
| --- | --- | --- |
| ***07:00-9:00*** | ***9:00-19:00*** | ***19:00-23:00*** | ***23:00-07:00*** |
| Ноутбук | 100 |  |  | 100 |  |
| Фен | 1140 | 1140 |  |  |  |
| Утюг | 1500 |  |  | 1500 |  |
| Пылесос | 1000 |  | 1000 |  |  |
| Чайник | 700 | 700 | 700 | 700 | 700 |
| Микроволновка | 1000 | 1000 |  | 1000 |  |
| Холодильник | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 |
| Обогреватель | 1400 |  |  |  | 2800 |
| Тостер | 100 | 100 |  |  |  |
| Стиральная машинка | 500 |  |  | 500 |  |
| Освещение | 60 | 600 |  | 600 | 600 |
| Резерв | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |



Рис. 1. Мощность электроприборов и мгновенная потребляемая мощность

Как видно из рисунка 1 максимальная пиковая мощность для данного составляет P = 6000 Вт.

Вычислим потребляемую энергию всех периодов энергопотребления в течение суток, таблица 2.

*Таблица 2*

Энергопотребление приборов

| **Электроприбор** | **Количество, шт.** | **Время использования, час** |
| --- | --- | --- |
| ***07:00-9:00*** | ***9:00-19:00*** | ***19:00-23:00*** | ***23:00-07:00*** |
| Ноутбук | 1 |  |  | 1 |  |
| Фен | 1 | 0,2 |  |  |  |
| Утюг | 1 |  |  | 0,2 |  |
| Пылесос | 1 |  | 0,5 |  |  |
| Чайник | 1 | 0,1 | 0,05 | 0,1 | 0,05 |
| Микроволновка | 1 | 0,1 |  | 0,1 |  |
| Холодильник | 1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| Обогреватель | 2 |  |  |  | 1 |
| Тостер | 1 | 0,1 |  |  |  |
| Стиральная машинка | 1 |  |  | 1,5 |  |
| Освещение | 10 | 1 |  | 4 | 0,1 |
| Резерв | 1 | 0,5 |  | 0,5 |  |

Количество энергии, потребляемой объектом в сутки, составит

PСУТ = 9398 Вт·ч.

Следовательно, номинальная мощность ветроустановки (ВЭУ), необходимая для энергоснабжения данного объекта.

$$P\_{номВЭУ}=\frac{P\_{сут}}{24}=\frac{9398 Вт}{24 час}=391,584 Вт;$$

где, PномВЭУ – номинальная мгновенная требуемая мощность, Вт.

Основной энерго-характеристической особенностью для ветроустановки является площадь ометания.

В частности, для ротора Дарье площадь попечённого сечения или ометаемая площадь рассчитываться по формуле [1]:

$$S=H∙D=2,3 м∙3 м=6,9 м^{2};$$

где, Нрот – высота ротора плотность воздуха, м;

Dрот – диаметр ротора, м.

Номинальная мощность ветроэнергетической установки для автономного энергоснабжения объекта зависит от средней скорости ветра в предполагаемом регионе размещения. [2]. Согласно атласу ветров средняя скорость для центральной части России составляет: v = 5 м/с. Мгновенную мощность ВЭУ можно рассчитать по формуле [3]:

$$P\_{мгнВЭУ}=\frac{ϑ∙p∙S∙V^{3}}{2}=\frac{0,40∙ 1,1839\frac{кг}{м^{3}}∙6,9 м^{2}∙5^{3}}{2}=204,223 Вт;$$

где, $ϑ$ – коэффициент использования энергии ветра, $ϑ$=0,40 [4];

p – плотность воздуха, *p*=1,1839, кг/м3;

S – площадь поперечного сечения потока, м2;

V – скорость ветрового потока, м/с [5].

Для возможности надежного электроснабжения следует рассчитать мгновенную мощность, производимую ВЭУ, причем должно соблюдаться следующее ограничение:

$$P\_{мнгВЭУ}\geq P\_{номВЭУ};$$

$204,223 Вт\geq 391$*,*$584 Вт;$

Данное неравенство не соблюдается, поэтому рекомендуется применять несколько ВЭУ (***n***) для электроснабжения объекта, это обуславливается тем, что чем меньше габариты ветроустановки то тем лучше она стартует при меньших скоростях ветра.

$$n∙P\_{мнгВЭУ}\geq P\_{номВЭУ};$$

$2 шт∙204,223 Вт\geq 391$*,584*$ Вт;$

Суточное производство электроэнергии каждой из установок составит:

$$P\_{сутВЭУ}=P\_{мгнВЭУ}∙24=204,223 Вт∙24 час=4901,352 Вт∙ч;$$

Суточное производство электроэнергии всех установок составит:

$$P\_{сутnВЭУ}=P\_{сутВЭУ}∙n=4901,351 Вт ∙2 шт=9802,704 Вт∙ч;$$

Это удовлетворяет условиям обеспечения электроэнергией поскольку:

$$P\_{сут}\leq P\_{сутВЭУ};$$

$$9398,000 Вт∙ч\leq 9802,704 Вт∙ч;$$

В результате произведённых расчетов определяется, что 2 установки ВЭУ с избытком автономно обеспечивают электроэнергией выбранного потребителя.

Уменьшение количество ВЭУ можно достигнуть тремя путями: увеличить габариты каждой из установок что повысит ее энергоотдачу, но затруднит самозапуск, а также потребует увеличение территории для ее установки. Второй путь снижения количества ВЭУ заключается в размещении данных ветроустановок только в регионе со скоростями ветра более 5м/с. Третий путь, основывается на применении так называемых концентраторов ветровой энергии для регионов с малой ветровой нагрузкой [6].

Экономический расчет о целесообразности применения данной ветроустановки основывается на выбранных компонентах ВЭУ которые соответствуют требуемой нагрузке, и выбранной ВЭУ. Стоимость соответствующих комплектующих представлена в таблице 3 [7-11].

*Таблица 3*

Расчет себестоимости и рыночной цены ВЭУ

|  |  |
| --- | --- |
| **Компонент ВЭУ** | **Стоимость, руб.** |
| **комплекта,****Mвсехвэу** | **шт.,****Nдет** | **стоимость за 1 ед.,****Мnвэу** |
| Ротор | 30 000 | 2 | 15 000 |
| Мачта | 14 000 | 2 | 7 000 |
| Генератор | 58 000 | 2 | 29 000 |
| Инвертор | 40 500 | 1 | 40 500 |
| Стабилизатор напряжения | 38 300 | 1 | 38 300 |
| Аккумулятор | 362 600 | 4 | 25 900 |
| Контроллер | 10 400 | 1 | 10 400 |
| Дополнительные механизмы | 30 000 | 1 | 15 000 |
| Крепеж, руководство погрузка | 30 000 | 2 | 15 000 |
| Прочие расходы | 10 000 | 1 | 15 000 |
| **ИТОГО:** | **623 800** |  |  |

Расчет срока окупаемости ВЭУ составит:

$$Т\_{ок}=\frac{(М\_{вэу}+М\_{вэу})∙0,200}{\frac{Р\_{мгнВЭУ}∙8760}{1000}\*М\_{элсет}};$$

где, Мвэу – стоимость комплекта для энергоснабжения объекта, руб.;

Мэлсет – стоимости электроэнергии Мэлсет=3,32 руб./кВт [12].

$$Т\_{ок}=\frac{(623800 руб.+623800 руб. )∙0,200}{\frac{204,223 Вт∙8760}{1000}\*3,320 руб./кВт}=42,011 год;$$

Произведем оценку рентабельности применения ВЭУ, для данного объекта при текущем составе и графике нагрузок электроприборов, а также при текущих скоростях ветра и данных геометрических и аэродинамических параметрах ротора Дарье. Стоимость затрат на систему автономного энергоснабжении от ВЭУ составит:

$$З\_{ВЭУ}=М\_{ВЭУ}+(E\_{потр.год}∙Т\_{ок}∙М\_{элсет});$$

где, Eпотр.год – потребляемая электроэнергия за год, кВт∙год.

$$E\_{потр.год}=\frac{P\_{сут}}{1000}∙365;$$

$$E\_{потр.год}=\frac{9398 Вт}{1000}∙365=3430,270 кВт∙год;$$

$$З\_{ВЭУ}=623800 руб.+\left(3430,270 кВт∙год∙42,011 год∙3,320 руб.\right)=1 102 242,122 руб.;$$

Стоимость затрат энергоснабжении от сети:

$$З\_{СЕТЬ}=М\_{подкл}+(E\_{потр.год}∙Т\_{ок}∙М\_{элсет)};$$

где, Мподкл – стоимость подключения к сети, Мподкл=204 480,400 на основании [13].

$$З\_{СЕТЬ}=204480,400 руб+\left(3430,270 кВт∙год∙42,011 год∙3,320 руб.\right)=682 922,522 руб.;$$

Оценка рентабельности:

$$З\_{СЕТЬ}\geq З\_{ВЭУ};$$

$$682 922,522 руб. \geq 1 102 242,112 руб.;$$

Условие не выполняется, применение ВЭУ не рентабельно [14].

Ветроустановка будет рентабельной при отсутствии подключения к внёсшей электросети, а также в удаленных регионах, где стоимость технического подключения электроснабжения высока.

Произведенный расчет указывает на то что применение классических роторов Дарье не окупается, при малых скоростях ветра, и присутствии альтернативных путей электроснабжения в виде электросети.

Авторы считают перспективным направлением ветроэнергетики использование для регионов с малыми скоростями ветра концентраторов ветровой энергии, позволяющих при меньших массогабаритных показателях получать более высокие энергохарактеристики по сравнению с роторами Дарье и Савониуса, а, следовательно, выдавать потребителю более высокую мощность.

Библиографический список

1. Горелов, Д. Н. Перспективы развития ветроэнергетических установок с ортогональным ротором / Д. Н. Горелов, В. П. Кривоспицкий // Теплофизика и аэромеханика, 2008. – Т. 15, [№ 1](http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=446309&selid=9904494). – С. 163–167.

2. Атлас ветров России = Russian Wind Atlas / А. Н. Старков [и др.] / М-во топлива и энергетики России, Нац. лаб. Рисо (Дания), Рос.-Дат. ин-т энергоэффективности. – М. : Можайск-Терра, 2000. – 551 с.

3. Безруких, П. П. Ветроэнергетика. – М. : – ИД «ЭНЕРГИЯ», 2010. – 320 с.

4. Бабина, Л. В. Анализ ветроустановок для электростанций малой мощности / Л. В. Бабина // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 78. – С. 424–433.

5. Проблемы применения ветроэнергетических установок в регионах с малой ветровой нагрузкой / Р. А. Дайчман [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. –№ 5(36). – С. 39–43.

6. Применение ветроэергетических установок с концентраторами ветровой энергии в регионах с малой ветровой нагрузкой / Р. А. Дайчман [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал.– 2015. – № 5(36). – С. 31–35.

7. Мельников электроветер : прайс-лист ООО «Ветрострой» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.electroveter.ru/prise.html> (дата обращения 06.10.2015)

8. Инвертор 6кВт, 12, 24, 48В - 220В, чистый синус [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://solar-dom.com/product/invertor-6-kvt> (дата обращения 06.10.2015)

9. Компания "МикроАРТ" [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://invertor.ru/zzz/item/ch_lcd_6> (дата обращения 06.10.2015)

10. Компания "МикроАРТ" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://invertor.ru/zzz/item/akb_gfm_200> (дата обращения 06.10.2015)

11. Ваш Солнечный Дом. DATAKOM DKG-207 контроллер автозапуска генератора [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://shop.solarhome.ru/datakom-dkg-207-kontroller-avtozapuska-generatora.html> (дата обращения 06.10.2015)

12. Омская область. Региональная энергетическая комиссия. Приказы. Об утверждении нормативов потребления коммунальных услуг по электроснабжению на территории города Омска и Омской области при наличии технической возможности установки коллективных (общедомовых), индивидуальных или общих (квартирных) приборов учета [Электронный ресурс] : приказ от 17 декабря 2014 года № 537/74. – Режим доступа : http://www.admomsk.ru/web/guest/progress/rates/people/info-2015 (Дата обращения: 21.05.2015).

13. Омская область. Региональная энергетическая комиссия. Приказы. Об установлении ставок платы за технологическое присоединение к электрическим сетям Открытого акционерного общества «Межрегиональная распределительная сетевая компания Сибири» (филиала ОАО «МРСК Сибири» - «Омскэнерго») [Электронный ресурс] : приказ от 26.12.2014 года № 656/78. – Доступ из справочно-правовой системы Гарант.

14. Кирпичникова, И. М. Ветроэнергетические установки. Расчет параметров компонентов : учеб. пособие / И. М. Кирпичникова, Е. В. Соломин. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 83 с.