

УДК 621.311.24 + 621.314

ОЦЕНКА ВЕТРОПОТЕНЦИАЛА МЕСТНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АРХИВОВ ПОГОДЫ ИНТЕРНЕТА И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ ПРИ ВЫБОРЕ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Р.М. Панов

Ассистент кафедры электротехники и автоматики Воронежского государственного аграрного университета, e-mail: panov@students.vsau.ru

П.Ю. Беляков

Профессор кафедры электроэнергетики Международного института компьютерных технологий (г. Воронеж), кандидат технических наук, e-mail: pavelbel-vrn@yandex.ru

Приведены краткие теоретические основы оценки ветропотенциала местности, использованные при создании программного средства, выполненного на базе популярного табличного процессора Microsoft Excel; приведено его краткое описание и возможное применение.

Ключевые слова: ветроэнергетика, оценка ветропотенциала, архивы погоды, алгоритм, прикладное программное обеспечение, описание.

Введение

Рынок российской ветроэнергетики в последние годы предлагает потребителям ряд ветроэлектрических установок (ВЭУ) различной мощности. Однако информация для принятия решения о целесообразности использования данного источника возобновляемой энергии и выборе конкретного типа установки является достоянием узкого круга специалистов и в большинстве случаев недоступна широкому потребителю.

Целью настоящей разработки является создание доступного инструмента для получения информации о распределении ветропотенциала по интересующей территории (в частности Воронежской области) и определения предпочтительных мест размещения объектов ветроэнергетики с использованием метеоданных, публикуемых в Интернете.

Работа выполнена в рамках подготовки диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук.

Краткие теоретические основы вопроса

Удельная мощность ветра (Вт/м^2) однозначно определяется двумя характеристиками: скоростью движения воздушной массы v и плотностью воздуха ρ при текущих значениях температуры окружающей среды и атмосферного давления. Удельная мощность ветра определяется по известной формуле

$$N_{y\partial} = 0,5 \rho S v^3 \quad (1)$$

при $S = 1 \text{ м}^2$.

Из формулы (1) следует доминирующее влияние величины скорости ветра, и ряд авторов при предварительной оценке ветропотенциала не учитывают изменения плотности воздуха. Однако для средней полосы России при изменении температуры от -25°C до $+35^\circ\text{C}$ плотность воздуха изменяется на $0,24 \text{ кг/м}^3$, что соответствует почти 20 %-ному изменению мощности воздушного потока при прочих равных условиях, т.е. величину, которой не стоит пренебрегать при расчёте вероятной годовой выработки энергии.

В практике мировой ветроэнергетики плотность воздуха при нормальных условиях: температуре $t_0 = 15^\circ\text{C}$ ($T_0 = 288^\circ\text{K}$) и атмосферном давлении $p_0 = 760 \text{ мм}$ ртутного столба равна $\rho_0 = 1,225 \text{ кг/м}^3$.

Для других условий, когда высота над поверхностью земли не превышает 100 м, что соответствует большинству башен ветрогенераторов, плотность может быть рассчитана по следующей формуле [1]:

$$\rho_h = \rho_0 \frac{p_h}{p_{10}} \cdot \frac{T_{10}}{T_h} = 0,1225 \frac{p_h}{760} \cdot \frac{273 + t_{10}}{273 + t_h}, \quad (2)$$

где $p_h = p_0 \left(1 - \frac{h}{44300}\right)^{4,256}$ – атмосферное давление высоте h (на уровне ступицы будущей ВЭУ), мм рт. ст.; $t_h = t_0 - \bar{\gamma}h$ – температура воздуха на высоте h , $^\circ\text{C}$; t_0 – температура у поверхности земли, $^\circ\text{C}$; $\bar{\gamma} = 6,5 \cdot 10^{-3}$ – средний градиент температуры в тропосфере, $^\circ\text{C/м}$; h – высота над поверхностью земли, м.

Нижние слои движущейся воздушной массы на высоте 10...15 м в результате трения о поверхность земли имеют меньшую скорость и, как правило, носят ощутимо турбулентный характер. Именно в связи с этими явлениями ветроколеса и роторы ВЭУ рекомендуется располагать на высотах от 30 до 100 м с учётом технико-экономической оптимальности.

Для описания закономерности изменения скорости ветра с высотой над поверхностью земли в зависимости от шероховатости поверхности, расположенной с наветренной стороны относительно ВЭУ могут быть использованы несколько формул, дающих близкие по значению результаты. В нашей работе используется выражение

$$\bar{v}_h = \bar{v}_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^\alpha, \quad (3)$$

где $\bar{v}_h$ и $\bar{v}_0$ – средние скорости ветра на высотах; h – высота, на которой необходимо определить скорость ветра, м; h_0 – высота, на которой скорость ветра известна (высота h_0 называется высотой сравнения и в практике ветроэнергетики принято $h_0 = 10$ м) [2]; α – коэффициент, зависящий от шероховатости подстилающей поверхности с наветренной стороны относительно анемометра и средних скоростей ветра для рассматриваемой местности, который определяется по следующей формуле:

$$\alpha = \frac{0,37 - 0,088 \ln \frac{\bar{v}_1}{\bar{v}_{10}}}{1 - 0,088 \ln \frac{h_1}{10}}. \quad (4)$$

Информация для определения коэффициента α получается при помощи измерительной мачты, на которой устанавливаются два анемометра с флюгерами. Один анемометр зафиксирован на высоте 10 м, второй – на высоте h_1 , равной 20-30 м. При измерении одновременно фиксируются направление ветра (румб) и скорость на обеих высотах. Затем по каждому румбу рассчитываются средние скорости на высотах измерения и определяются коэффициенты шероховатости подстилающей поверхности.

При выборе места положения ВЭУ или ветропарка необходимо знать, продолжительность (в часах) действия ветров со скоростями, подходящими для их эффективной работы за рассматриваемый период времени (месяц или год).

Обработка данных регулярных наблюдений показывает, что годовое (месячное) распределение плотности вероятности частот повторяемости скоростей ветра может быть с достаточной точностью описано статистической функцией Вейбулла, имеющей два параметра [3].

Используя данную функцию, можно построить кривую распределения вероятности повторения скоростей ветра, по которой рассчитыва-

ется указанная продолжительность.

Распределение Вейбулла имеет вид

$$p(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} \exp \left[- \left(\frac{v}{c} \right)^k \right] \text{ для } 1 < k < 10, \quad (4)$$

где $p(v)$ – плотность вероятности повторения скорости со значением v ; v – интересующее значение скорости ветра, м/с; c – масштабный коэффициент определяемый выражением

$$c = \frac{\bar{v}}{\Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right)}, \quad (5)$$

где $\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n}$ – средняя скорость ветра; v_i – те-

кущие значения скоростей ветра, полученные в результате метеорологических наблюдений за некоторый период времени, м/с; n – общее количество наблюдений за тот же период времени; $\Gamma(1+1/k)$ – гамма-функция, вычисляемая в соответствии с выражением

$$\Gamma(x) = \int_0^\infty \exp(-t) t^{x-1} dt, \quad x > 1;$$

k – коэффициент формы распределения Вейбулла, который характеризует асимметрию кривой и определяется выражением

$$k = \left(\frac{\sigma}{\bar{v}} \right)^{-1,086}, \quad (6)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение скорости ветра, определяемое по выражению

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n} - \left(\frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} \right)^2}, \quad (7)$$

где v_i – текущие значения скоростей ветра, полученные в результате метеорологических наблюдений за некоторый период времени, м/с; n – общее количество наблюдений за тот же период времени.

Кривая Вейбулла показывает распределение плотности вероятности повторения скоростей ветра. С практической точки зрения специалистов интересует вероятность повторения ветра в некотором интервале скоростей за определённый период времени, которая определяется приведённым ниже выражением:

$$p(v_1 \leq v \leq v_2) = \int_{v_1}^{v_2} p(v) dv = \exp \left[- \left(\frac{v_1}{c} \right)^k \right] - \exp \left[- \left(\frac{v_2}{c} \right)^k \right]. \quad (8)$$

и позволяет с учётом продолжительности периода наблюдений в часах определить продолжительности действия скоростей ветра в том или ином интервале скоростей.

Формулы (1) – (8) положены в основу расчёта, реализованного с применением табличного процессора Microsoft Excel.

Расчёт производится для каждого календарного месяца. Так как температура и влажность воздуха, значения скоростей ветра и его направления зависят от времени года [4], исходными данными для расчёта являются значения атмосферного давления, температуры и относительной влажности воздуха, скорости и направления ветра, измеренные на ближайшей метеостанции.

Эти данные за период с 2004 года можно просмотреть, например на сайте «Расписание

погоды» [5]. На рис. 1 приведён общий вид интерфейса при задании места исследования.

Измерения параметров производятся через каждые 3 ч, поэтому для рассматриваемого календарного месяца можно получить в среднем 240 наборов чисел, подлежащих обработке. На рис. 2 приведено окно сайта при просмотре архива погоды.

Помимо этого следует указать высоту относительно поверхности земли, на которой необходимо определить ветропотенциал.

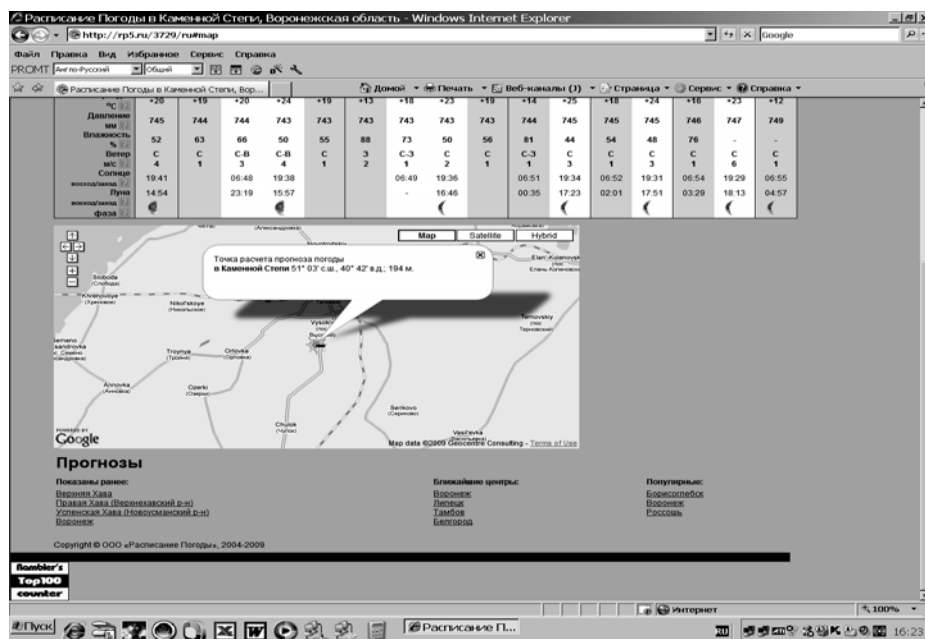


Рис. 1. Окно сайта rp5.ru

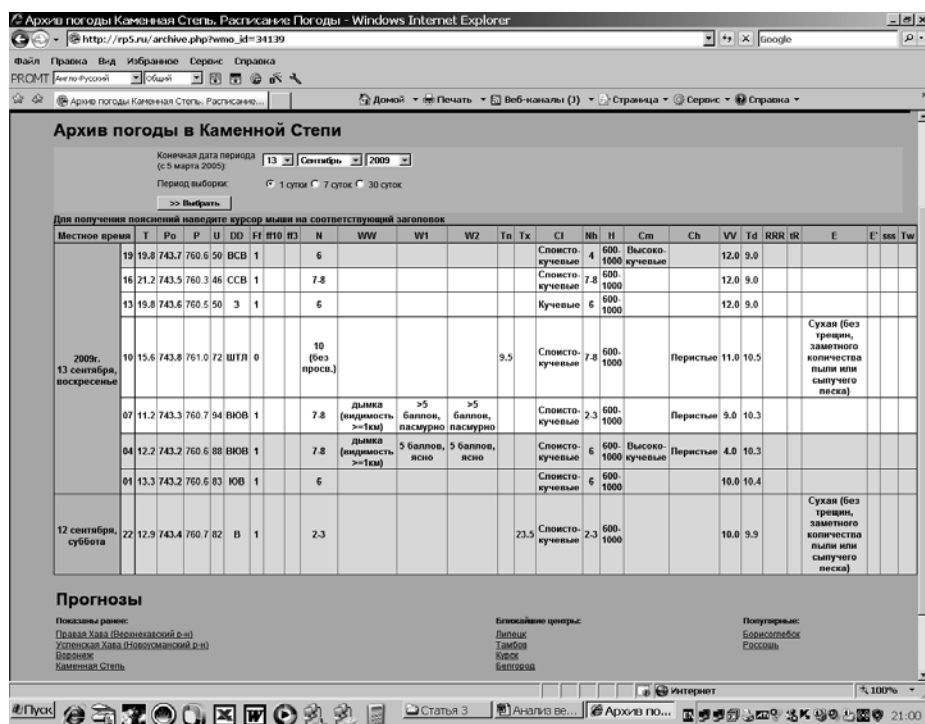


Рис. 2. Окно сайта с архивом погоды

Порядок расчёта

В программном обеспечении использован следующий порядок расчёта:

- 1) расчёт среднемесячной температуры;
- 2) расчёт среднемесячной относительной влажности;
- 3) определение среднемесячной плотности воздуха на высоте ступицы;
- 4) пересчёт скоростей ветра на высоту ступицы ветроприёмника с учётом шероховатости подстилающей поверхности по румбам;
- 5) определение параметров распределения Вейбулла;
- 6) расчёт вероятности повторения ветра со скоростями по интервалам с дискретностью 1 м/с;
- 7) расчёт времени действия ветров со скоростями, равными средним скоростям из указанных интервалов;
- 8) расчёт удельной мощности, развиваемой ветром при средних скоростях выбранных интервалов;
- 9) расчёт количества доступной энергии ветра от средней скорости и времени для каждого интервала;
- 10) расчёт суммарного количества энергии путём сложения доступных энергий, рассчитанных в предыдущем пункте.

В результате расчёта получается количество доступной энергии ветра, протекающей за

месяц через площадку сечением в один квадратный метр, расположенную на принятой высоте над поверхностью земли.

Интерфейс программы и порядок её использования

Стартовый интерфейс программы представлен на рис. 3.

Ввод исходных данных осуществляется путём заполнения таблиц для каждого месяца года. Результаты расчёта можно просмотреть на вкладке «Результат».

Полученная информация может быть использована при выборе площадки для монтажа ВЭУ или для выбора наиболее подходящей для данной площадки ВЭУ с учётом известных технических характеристик (необходимо знать площадь ометаемой поверхности ветроприёмника, его тип, КПД применяемой трансмиссии и КПД электрогенератора).

Выбор ВЭУ

Выбор с использованием кривой развиваемой мощности ВЭУ

Оптимальным вариантом при выборе ВЭУ считается тот, который обеспечивает минимальную стоимость 1 кВт·ч выработанной электроэнергии в течение срока службы.

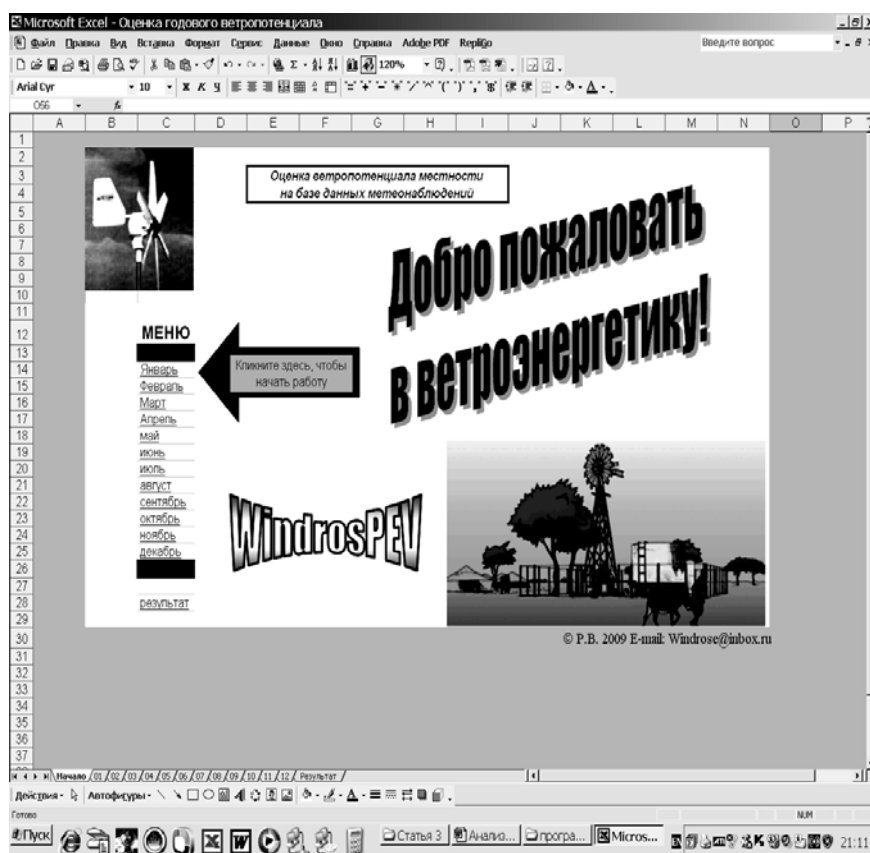


Рис. 3. Стартовый интерфейс прикладной программы

Цивилизованные производители ВЭУ сопровождают свою продукцию кривой зависимости развиваемой электрической мощности от скорости ветра (рис. 4).

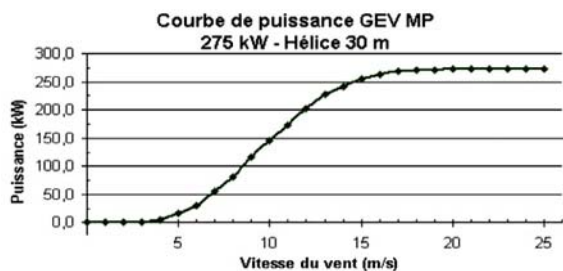


Рис. 4. Пример кривой мощности ВЭУ

Таким образом, с учётом информации о высоте башни (мачты) ВЭУ, задавшись рядом значений скоростей ветра и определив по кривой мощности ВЭУ соответствующие им выходные мощности, а по п. 7 время, в течение которого они развиваются, можно рассчитать выработку электроэнергии за весь срок службы.

Сложив капитальные затраты на покупку и монтаж ВЭУ со стоимостью периодического обслуживания за срок службы, и, отнеся эту сумму к рассчитанной выработке, определяют

стоимость кВт·ч. Недостатком данного способа является то, что кривые развиваемой мощности ВЭУ строятся для одной величины плотности воздуха, чаще всего стандартной. Таким образом, точность расчёта не превышает $\pm 10-15\%$.

Выбор на основе информации о прочих характеристиках ВЭУ

Рассчитанное значение ветропотенциала помимо определения наиболее подходящих точек расположения ВЭУ на местности может быть использовано для выбора наиболее подходящей установки.

В этом случае у производителя уточняется коэффициент использования энергии ветра для используемого ветроколеса (ВК). По диаметру ВК рассчитывается площадь ометаемой поверхности и путём умножения рассчитанной величины ветропотенциала на эту площадь и на коэффициент использования энергии ветра получается количество располагаемой механической энергии. С учётом КПД трансмиссии, применяемой в ВЭУ и её генератора определяется возможная выработка электроэнергии. Данный путь сложнее, но точнее, поскольку при расчёте ветропотенциала были учтены сезонные изменения плотности воздуха

Литература

1. Keita M. Cours de conversion de l'énergie éolienne / M. Keita, V. Lomonosov ; Université de Conakry. – Conakry, 2001. – 51 p.
2. Официальный сайт датской ассоциации ветроэнергетики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.windpower.org>.
3. Ветроэнергетика: теоретические основы и технические решения : учеб. пособие / П. Ю. Беляков. – Воронеж : Междунар. ин-т компьют. технологий, 2007. – 122 с.
4. Фатеев Е.М. Ветро двигатели и ветроустановки / Е.М. Фатеев. – М. : Сельхозгиз, 1957. – 532 с.
5. Российский метеорологический сайт «Расписание погоды» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rp5.ru>.

ESTIMATION OF TERRAIN ENERGY POTENTIAL OF A WIND WITH USE OF ARCHIVES OF WEATHER OF THE INTERNET AND ITS APPLICATION AT CHOICE OF A WIND GENERATOR

R.M. Panov, P.J. Beljakov

Brief theoretical bases of an estimation Energy potential of a wind the terrains used at making of a software, executed are given on the basis of popular tabulated processor Microsoft Excel; its brief description and possible application is given.

Keywords: *wind-power engineering, an estimation energy potential of a wind archives of weather, algorithm, applied software, the description*