

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОЖИДАЕМОЙ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ЭНЕРГОИСТОЧНИКОВ

Р.В. Кадиров, П.А. Кочанов, В.В. Надвоцкая

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
г. Барнаул

Статья посвящена разработке алгоритма распределения электроэнергии системы автономного электроснабжения на основе комбинации различных возобновляемых источников.

Ключевые слова: автономная система электроснабжения, ветроэнергетическая установка, солнечная фотоэлектрическая установка, среднегодовая выработка электроэнергии.

Иссякание мировых запасов нефти и газа, которые сегодня являются ключевыми энергоресурсами, постоянное удорожание электричества определяют активное развитие возобновляемых энергоисточников. Также немаловажным фактором развития альтернативного энергоснабжения является безопасность и автономность их использования.

Разработка полностью автономной эффективной энергоустановки, использующей в качестве первичных источников энергии солнечную и ветровую энергию, связана с проблемой поиска и обоснованием ее оптимальной конфигурации и состава с учетом реальных климатических условий эксплуатации, характеристик используемого оборудования, а также особенностей потребителя, включая ожидаемые переменные графики потребления энергии. Критерием оптимизации должна быть минимальная стоимость энергообеспечения при гарантированном энергообеспечении потребителя. Решение задачи создания таких оптимальных автономных энергоустановок возможно лишь на основе сочетания расчетно-теоретических и экспериментальных исследований.

Так как рассматриваемые нами возобновляемые источники энергии (солнечное излучение и ветер) имеют различную природу, то их анализ проводится отдельно для каждого, с последующим определением степени взаимной коррелированности [1].

Для определения ожидаемой выработки электроэнергии в конкретном местоположении необходимо располагать данными о распределении скорости ветра по градациям $f(u)$. Учитывая изменчивость скорости ветра во времени, для получения достоверных данных о повторяемости $f(u)$ требуются данные наблюдений за период не менее 10 лет по флю-

геру или анеморумбометру. Недостатком наземных наблюдений за ветром является существенная их зависимость от степени защищенности метеостанции. Данные наблюдения за ветром на метеостанциях характеризуют условия ветрового режима на самой станции, а не того района, где предлагается устанавливать ветроэнергетическую установку (ВЭУ). Поэтому для того чтобы получить расчетные значения скорости ветра у земли, лучше использовать данные радиозондовых измерений на различных высотах нижнего слоя атмосферы при условии их достоверности и репрезентативности. Преимущество такого подхода заключается в том, что здесь используются данные о скорости ветра на высотах, где влияние рельефа и прочих неоднородностей подстилающей поверхности несущественно [2].

Для расчета выработки энергии ВЭУ в конкретном пункте на заданной высоте необходимо в значение средней годовой скорости ветра на уровне 100 м ввести поправку на уменьшение, приведя её к высоте оси ветроколеса, с учетом рельефа и климатических условий местности.

Формула для расчета средней годовой выработки энергии ВЭУ с учетом энергетической характеристики ветроустановки имеет вид:

$$W_{\text{ср.год}} = \sum_{i=1}^n f(u)_i P_i,$$

где $f(u)_i$ – значение функции распределения для i -й скорости ветра, ч; P_i – генерируемая мощность ВЭУ при i -й скорости ветра, кВт.

Количество ветроустановок, необходимое для обеспечения потребителей электроэнергией, определяется следующим образом:

$$W_{\text{ср.год}} N = W_{\text{нагр.год}},$$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОЖИДАЕМОЙ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ЭНЕРГОИСТОЧНИКОВ

где N – количество ВЭУ [2].

Полученное количество ВЭУ необходимо расставить на местности и соединить в общую автономную систему или присоединить к энергосистеме.

Выработка электроэнергии ветроагрегатом в месте его установки зависит от энергетических характеристик ветра и конструкции ВЭУ. Мощность ветрового потока вычисляется по следующей формуле:

$$P = \frac{\rho A u_0^3}{2},$$

где P – мощность ветрового потока, Вт; $\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$ – плотность воздуха при обычных условиях; A – поперечная площадь сечения ветрового потока, м^2 ; u_0 – скорость ветра, м/с.

Если известна средняя скорость ветра (например, за год) и распределение скоростей ветра имеет типичный характер, то средняя мощность ветрового потока определяется из выражения:

$$P_c = 1,17 A u_c^3,$$

где P_c и u_c – средняя мощность и скорость ветра.

Современные ВЭУ малой и средней мощности способны преобразовать только около 25% полной мощности воздушного потока в полезную мощность, поэтому

$$P_{ВЭУ} = 0,25 \cdot 1,17 A_k u_c^3 = 0,292 A_k u_c^3,$$

где $P_{ВЭУ}$ – мощность на выходе ветроагрегата, Вт; A_k – площадь поверхности ометаемой ветроколесом, м^2 ; u_c – средняя скорость ветра на уровне ступицы ветроколеса, м/с.

Количество энергии, которую вырабатывает ветроагрегат за расчетный период времени, можно определить следующим образом:

$$W = \frac{P_{ВЭУ} T}{1000},$$

где W – количество вырабатываемой энергии, кВт·ч; T – расчетное время работы ветроагрегата, ч.

Среднее количество энергии, которую ветроагрегат вырабатывает за год, находится по формуле:

$$W_{сг} = \frac{24 \cdot 365 P_{ВЭУ}}{1000} = 2,56 A_k u_{сг}^3,$$

где $u_{сг}$ – среднегодовая скорость ветра.

Таким образом, для ветроагрегата среднегодовой выработка электроэнергии зависит от диаметра ветроколеса и среднегодовой скорости ветра. Сравнивая среднегодовую выработку ВЭУ с потребностями нагрузки на годовом интервале, можно определить количество и мощность ВЭУ.

В качестве критерия выбора оптимального значения площади солнечной фотоэлек-

трической установки (СФЭУ) принимается минимум суммы отклонений значений электроэнергии вырабатываемой в каждом месяце года, от заданного значения потребляемой электроэнергии в этом же месяце $W_{потрj}$:

$$\Delta W_{\Sigma k} = \sum_{j=1}^{12} |\Delta W_j| \rightarrow \min,$$

где $\Delta W_j = \frac{W_{СФЭУj} - W_{потрj}}{W_{потрj}}$ – относительное отклонение энергии для каждого месяца года.

Суммирование проводится по абсолютной величине, так как отклонение в ту или иную сторону является нежелательным и приводит либо к удорожанию фотоэлектрической установки, либо к значительному увеличению потребления электроэнергии из сети [3].

При расчете площади солнечной установки необходимой для обеспечения заданного потребления электрической энергии, используется следующая последовательность действий:

1. Задаются различные значения площади солнечной фотоэлектрической установки $S_{СФЭУk}$, для которых будет проводиться расчет.

2. Для каждого значения площади находится энергия, вырабатываемая установкой в средний день j каждого месяца. Формула при отсутствии затенения имеет вид:

$$W_{СФЭУj} = \int_{t_{восх}}^{t_{зах}} N_{СФЭУi} \cdot dt,$$

где $N_{СФЭУi}$ – электрическая мощность, вырабатываемая СФЭУ.

Для определения значения вырабатываемого незатененной поверхностью солнечной установки электрической мощности используется формула:

$$N_{СФЭУi} = E_{СФЭУi}^{СИ} \cdot S_{СФЭУk} \cdot \eta_{СФЭУ},$$

где $E_{СФЭУi}^{СИ}$ – плотность солнечного излучения, падающего на ориентированную поверхность установки, Вт/м^2 ; $\eta_{СФЭУ}$ – КПД СФЭУ.

Формула при взаимном затенении установок имеет вид:

$$W_{СФЭУj}^{зам} = \int_{t_{восх}}^{t_{зах}} N_{СФЭУi}^{зам} \cdot dt,$$

где $N_{СФЭУi}^{зам}$ – электрическая мощность, вырабатываемая частично затененной СФЭУ.

3. Определяем энергию, вырабатываемую СФЭУ в течение каждого месяца года:

$$W_{СФЭУj}^{мес} = W_{СФЭУj} \cdot N_j.$$

4. Находим относительное отклонение между электроэнергией, вырабатываемой СФЭУ в каждый месяц года, и потребляемой электроэнергией для этого месяца.

5. Определяем сумму относительных отклонений для всего года [3].

Для энергетически и экономически эффективного применения солнечных ресурсов необходимо использовать знания о природе и характеристиках солнечного излучения. Наиболее важные свойства солнечного излучения, которые влияют на выбор фотоэлектрической установки, это с одной стороны высокий энергетический потенциал, позволяющий получать предельный КПД солнечных элементов – 93%, а с другой стороны низкая плотность и неравномерное распределение излучения на поверхности Земли.

В алгоритм использования солнечной энергии входит определение энергетического потенциала района размещения установки, учета влияния географических и астрономических факторов, а также физических и климатических свойств атмосферы. Для расчета электрической нагрузки и проектирования солнечных установок необходимо математически описать плотность солнечного излучения и график его изменения с применением данных государственных метеорологических служб, установить предельно возможные размеры батареи фотоэлектрических преобразователей в зависимости от заданной вероятности энергообеспечения [1, 3, 5].

Разрабатываемый алгоритм учитывает среднесуточную эквивалентную мощность нагрузки с учетом графика потребления электрической энергии [4, 5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Воронин С. М. Формирование автономных систем электроснабжения сельскохозяйственных объектов на основе обновляемых источников энергии: диссертация ... доктора технических наук : 05.20.02 / Воронин Сергей Михайлович. – Зерноград, 2009. – 303 с.

2 Удалов, С.Н. Возобновляемые источники энергии: учебное пособие / С.Н. Удалов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск : НГТУ, 2014. - 459 с.: табл., граф., ил. - (Учебники НГТУ). – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7782-2467-4; То же [Электронный ресурс]. – URL: //biblioclub.ru/index.php?page=book&id=436051 (23.10.2016).

3 Елистратов, В.В. Солнечные энергоустановки. Оценка поступления солнечного излучения : учебное пособие / В.В. Елистратов, В.А. Грилихес, Е.С. Аронова ; Федеральное агентство по образованию, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет ; под ред. В.В. Елистратова. – СПб. : Издательство Политехнического университета, 2009. – 101 с.: схем., табл., ил. – Библиогр. в кн. – ISBN 978-5-7422-2051-0; То же [Электронный ресурс]. – URL: //biblioclub.ru/index.php?page=book&id=363033 (23.10.2016).

4 Болятко, В.В. Экология ядерной и возобновляемой энергетики: учебное пособие / В.В. Болятко, А.И. Ксенофонтов, Харитонов В.В. – М.: МИФИ, 2010. – 292 с. – ISBN 978-5-7262-1343-9; То же [Электронный ресурс]. – URL: //biblioclub.ru/index.php?page=book&id=231899 (16.10.2016).

5 Тихонов А. В. Повышение эффективности комбинированных систем автономного электроснабжения на основе возобновляемых источников энергии: диссертация ... кандидата технических наук: 05.14.08 / Тихонов Антон Валентинович. – Москва, 2013. – 169 с.

Надвоцкая Валерия Валерьевна к.п.н., доцент, тел.: (3852) 290-913, e-mail: nadvotskaya7@mail.ru;

Кадилов Роман Вениаминович – студент;
Кочанов Павел Александрович – студент.