

УДК 621.313.21.001.4 (045)

В. М. Синеглазов, д-р техн. наук, проф.,
Б. И. Дмитренко, асп.,
А. В. Кульбака

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА ВЕТРА НА МЕСТНОСТИ

Институт аэрокосмических систем управления НАУ, e-mail: iesy@nau.edu.ua

Определены ветровые параметры, используемые в ветроэнергетике. Разработан комплекс технических средств, предназначенных для мониторинга ветровой обстановки на местности.

Ключевые слова: ветровые параметры, комплекс технических средств, порывистость, мониторинг, ветровая обстановка, ветроэнергоресурсы.

Введение. Ветроэнергетические ресурсы возникают на Земле при неравномерном нагревании ее поверхности Солнцем. В продолжение дня воздух над большими водными поверхностями остается сравнительно холодным, так как большая часть энергии солнечного излучения тратится на испарение воды или же поглощается ею. Над сушей воздух нагревается в продолжение дня больше, он расширяется, становится легче и поднимается вверх. Его заменяет более плотный холодный воздух, расположенный над водой. Так в прибрежной зоне возникают бризы [1].

Пульсации скорости и энергии воздушного потока связаны с общим характером формирования структуры ветра, ландшафтными и рельефными особенностями местности. Знание о таких пульсациях важно для ветровой энергетической установки (ВЭУ). Нередко причиной разрушений ветроагрегата есть динамика изменения и структура вариаций скорости за короткие промежутки времени. К ним относятся ускорение потока, продолжительность порывов и их совпадение в разных точках поверхности ветроколеса, которое омывается ветром, а также коэффициент порывистости потока K_n – это отношение максимально вымеренной скорости к ее среднему значению за выбранный промежуток времени (не больше двух минут): $K_n = W_{\max}/W_{\text{cp}}$. Его величина изменяется от 1 до 3, и чем большая скорость, тем меньшее значение K_n [2].

Вертикальный профиль ветра – это изменение его скорости от высоты в приземной зоне. Влияние земной поверхности на скорость и направление уменьшается с увеличением высоты. Поэтому скорость ветра с высотой возрастает, а порывистость и ускорение потока уменьшаются. Градиент скорости летом, как правило, меньший чем зимой, когда вертикальный перепад температур относительно небольшой.

Ветровые параметры, используемые для ветроэнергетики, делятся на три основные группы:

– *первая группа* содержит в себе основные статистические распределения, которые позволяют выявить особенности ветрового режима исследуемого региона и дать предварительную оценку его энергетических ресурсов;

– *вторая группа* характеристик предназначена для установления оптимального соотношения между мощностью ветрового потока и мощностью ВЭУ. С их помощью более точно можно прогнозировать реально возможный уровень утилизации ресурсов;

– *третья группа* предназначена для характеристики ветра в то время, когда его режим неблагоприятный для использования энергетических ресурсов. Этот режим формируется при затишье и слабых ветрах, которые в ветроэнергетике называются энергетическими штилями, а также при сильных и очень сильных ветрах.

Потенциальные ветроэнергоресурсы. Энергетические ресурсы подразделяются на два вида: *потенциальные и технические*. *Потенциальные ветроэнергоресурсы* – это суммарная энергия движения воздушных масс, которые перемещаются над рассматриваемой территорией.

В природе эти ресурсы чрезвычайно большие. Однако на практике используется лишь некоторая часть потенциальных энергоресурсов. Эта энергоактивная часть (которая может быть утилизирована) в распределении скорости ветра называется техническими ветроэнергоресурсами.

Технические ветроэнергоресурсы – это часть потенциальных ветроэнергоресурсов, которая может быть использована с помощью имеющихся в это время технических средств с целью получения ветровой электроэнергии.

Для решения поставленных задач следует выбрать соответствующие им климатические показатели ветра. Ветер – векторная величина. В полярных координатах вектор ветра имеет две составляющие: модуль вектора, или скорость ветра, выраженная в метрах на секунду и его направление по 8 или 16 румбам.

Скорость ветра является важнейшей составляющей, оценка которой необходима для расчета потенциальных ветроэнергоресурсов исследуемой территории.

Более полной климатической характеристикой режима скорости ветра есть распределение повторяемости ветра по градациям скоростей.

Стойкость характеристик повторяемости зависит не только от длины ряда, но и от количества градаций скорости ветра. Обычно используют 6 градаций: 0-1, 2-5, 6-11, 12-15, 16-20 и больше 21 м/с.

Указанные градации, выбраны с учетом точности наблюдений, которые обеспечиваются флюгером. Повторяемость ветра выражается количеством случаев или в процентах, рассматривается по градациям их скорости и отдельно по каждому сезону. Распределение скорости ветра – резко ассиметричное.

Важными показателями являются максимальная скорость ветра и *средний куб скорости ветра*, который входит в формулы расчета ветроэнергоресурсов.

В международной климатической практике эту характеристику чаще всего определяют косвенным способом, используя закон Максвелла или закон Вейбулла.

Ветер это сложный геофизический процесс, прогноз которого возможен только с определенной степенью вероятности.

С точки зрения ветроэнергетики важными характеристиками ветра есть: *порывистость, вертикальный профиль, предельная скорость*.

Величина скорости ветра изменяется на протяжении сезона и года. Поэтому рассматривают суточный, месячный и сезонный ход скоростей, которые определяют тенденционное изменение их в указанные периоды и оценку макроструктуры воздушного потока.

Характеристика силы ветра и действие его на работу ВЭУ определяет условия эксплуатации таких установок, методы управления таким нетрадиционным источником энергии и согласование его функционирования с потребителями.

Местность, на которой скорость ветра $W_0 \leq 5$ м/с, непригодная для установления ВЭУ. Если на местности скорость ветра $W_0 \geq 8$ м/с, это уже есть определяющим фактором для установления ВЭУ. Нужно ставить ВЭУ на высоких, округленных без препятствий от локальных сооружений, гористых местностях, желательно окруженных полями или водой.

Описанное выше подтверждает важность проведения мониторинга на местности, запланированной для установления ВЭУ.

Выбор мест размещения ВЭУ должен производиться в районах с благоприятными ветровыми условиями, обеспечивающими экономическую целесообразность использования энергии ветра. В районах со среднегодовыми скоростями ветра от 6 м/с и выше использование энергии ветра становится выгодным для ВЭУ любого назначения в широком диапазоне мощностей. Проектирование ветроэнергетических систем для районов со среднегодовыми скоростями ветра ниже 6 м/с требует дополнительного обоснования с расчетом ожидаемой выработки энергии и ее сопоставления с данными потребностями, а также для оценки приемлемости полученных результатов по экономическим показателям для конкретных потребителей.

Структура измерительного комплекса. Полную характеристику ветровых условий данной местности можно оценить с помощью измерительного комплекса, структурная схема которого представлена на рис. 1.

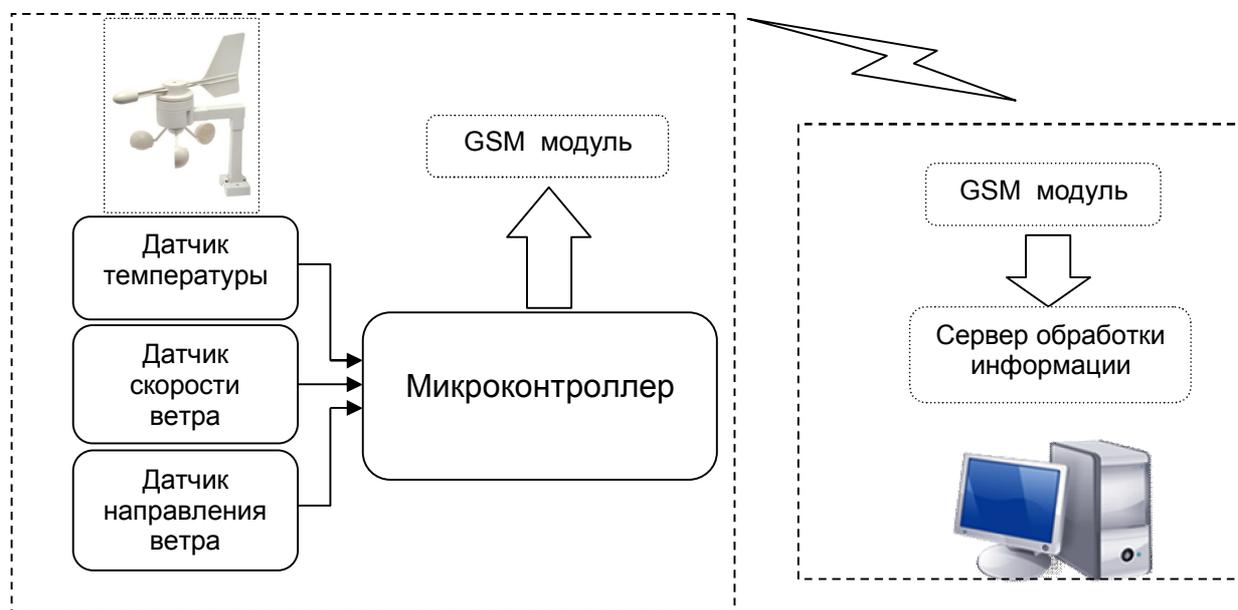


Рис. 1. Структурная схема комплекса для измерения характеристик ветрового потока:
GSM – Global System for Mobile Communications

Выполненный анализ погрешностей измерения скорости ветра показал, что основной причиной их образования является инерционность ветроизмерительного устройства и связанных с ним механизмов. Известны анемометры, содержащие винт, коническую передачу и тахогенератор, преобразующий скорость вращения вала в напряжение, пропорциональное частоте вращения винта анемометра. Коническая передача и тахогенератор являются дополнительными источниками инерционных погрешностей измерения скорости ветра.

Для сведения погрешностей к минимуму целесообразно использовать ветроизмерительное устройство, содержащее малоинерционный приемник скорости ветра и фотоэлектрический преобразователь с обтюратором и электронным блоком счета импульсов.

Прогнозирование скорости ветра. Увеличение мощности ветровых электростанций (ВЭС) требует все более тщательного прогнозирования скорости ветра. Для каждой ветростанции можно использовать как данные метеопрогнозов, так и накопленную информацию о работе самой станции.

В большинстве расчетных моделей прогнозируется скорость ветра, а не мощность ВЭС, на что есть ряд причин. Показатель скорости ветра является объективным и нормированным, тогда как мощность ВЭУ нелинейной характеристикой скорости ветра, зависящей от технических возможностей конкретных ВЭУ при том, что их характеристика мощности сама по себе является довольно нестабильной и зависит не только от скорости, а и от характера изменения ветрового потока. Поэтому при составлении прогноза в большинстве расчетных моделей текущие данные о работе ВЭУ конвертируются в скорость ветра, и только на последней стадии вычислительного алгоритма прогнозная скорость ветра, сопровождаемая оценками точности и надежности прогноза, превращается в ожидаемую мощность ВЭУ. Однако на практике значения мощности ВЭУ может иметь свои закономерности, связанные с расположением ВЭУ, внутренним распорядком работы станции, особенностями диспетчерского управления энергосетью и т. п.

Математическая постановка задачи прогнозирования. Пусть заданы n дискретных отсчетов $\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ в последовательные моменты времени t_1, t_2, \dots, t_n . Тогда задача прогнозирования (рис. 2) заключается в прогнозировании значения y_{n+k} в некоторый будущий момент времени t_{n+k} , где k – длительность прогноза:

$$y_{n+k} = F(y_1, y_2, \dots, y_n),$$

где F – функциональный преобразователь.

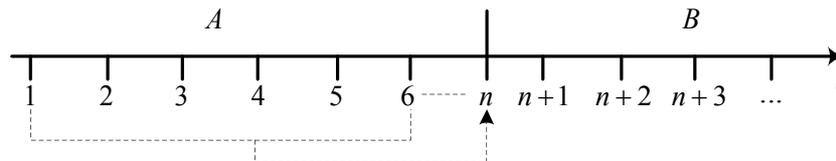


Рис. 2. Графическая иллюстрация постановки задачи прогнозирования: A – известные значения; B – прогнозируемый период

В работе [3] обоснована целесообразность использования для решения задачи прогнозирования искусственных нейронных сетей (ИНС). Применительно к нейронным сетям входные данные будут те же: n дискретных отсчетов $\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$. Меняется лишь сама задача прогнозирования, поскольку общий вид функционального преобразователя F уже определен – будет использоваться нейронная сеть. Соответственно задача прогнозирования для ИНС состоит в построении сети – выборе топологии сети (сети прямого распространения, рекуррентной сети); определении структуры сети (количества скрытых слоёв, количества нейронов в слоях); определении параметров сети (вида активационной функции – сигмоида, пороговой функции, значений весовых коэффициентов и порогов); выборе алгоритма обучения сети (алгоритма обратного распространения ошибки с постоянным шагом обучения с адаптивным шагом), а также в выборе критерия остановки обучения сети, при которых сеть предсказывала бы с максимальной точностью значение y_{n+k} .

Алгоритм решения задачи прогнозирования с помощью нейронных сетей.

1. Выбор топологии. В работах [7; 8] обосновывается выбор многослойного прогнозирования (МП) в качестве топологии сети для задачи прогнозирования. В работе [9] путем создания искусственных временных последовательностей было установлено, что если прогнозируемый процесс включает в себя МА (Moving Average – скользящее среднее), составляющую или мультипликативный шум, то рекуррентные нейронные сети намного лучше, чем МП справляются с задачей прогнозирования. Следует начать с выбора МП в качестве топологии сети, так как МП обучается быстрее и проще, чем рекуррентные ИНС.

2. Структурный синтез ИНС:

– определение количества и типов входов сети. Тип входов сети зависит от конкретного прогнозируемого процесса и совпадает с типом значений процесса. Количество входов выбирают в зависимости от количества имеющихся точек в обучающей выборке и допустимой сложности сети. Очевидно, что чем больше входов имеет сеть, тем более сложные скрытые зависимости между входными данными она может находить, тем лучше она может прогнозировать. Большее количество входов увеличивает сложность сети и уменьшает количество обучающих примеров. Поэтому следует начать с какого-то малого количества входов $p = 0,05 \cdot n \dots 0,15 \cdot n$, где n – количество точек в обучающей последовательности;

– определение количества скрытых слоев и количества нейронов в них. Не существует универсального правила выбора количества скрытых слоев и количества нейронов в них. Поэтому следует начать с количества скрытых слоев $t=1$ и малого количества нейронов в единственном скрытом слое $s^{(1)}=3\dots5$, где верхний индекс указывает на номер скрытого слоя;

– определение количества выходов сети. Количество выходов сети зависит от поставленной задачи. В случае задачи прогнозирования, когда требуется предсказать одно будущее значение y_{n+k} , выбирается один выход, который и будет прогнозировать это значение.

3. Параметрический синтез ИНС:

– выбор типа активационных функций слоев. В качестве активационной функции скрытых слоев обычно выбирают сигмоиду $f(u) = \frac{1}{1+e^{-u}}$, поскольку она является наиболее распространенной активационной функцией. В качестве активационной функции выходного нейрона следует выбрать линейную функцию $f(u)=u$, так как он должен предсказывать нужное значение, которое в общем случае является действительным числом, а область значений сигмоиды лежит в границах $[0\dots1]$;

– определение значений весовых коэффициентов. Значения весовых коэффициентов определяется в ходе обучения сети.

4. Выбор алгоритма обучения и критерия останова обучения.

– выбор алгоритма обучения. Наиболее известным и изученным алгоритмом обучения нейронных сетей является алгоритм обратного распространения ошибки [10], а большинство остальных алгоритмов является его модификациями. Специально для оптимизации вычислений на вычислительных машинах были разработаны численно-оптимизированные методы обучения сети, например метод BFGS (Broyden–Fletcher–Goldfarb–Shanno method);

– выбор критерия останова обучения. В качестве критерия останова обычно принимают какое-то наперед заданное значение среднеквадратической ошибки (СКО) сети на проверочной либо на обучающей выборке. При обучении сети после каждой итерации следует вычислять значение СКО, и если оно меньше либо равно нужного значения, то следует прекратить обучение.

5. Обучение сети. Если после обучения сети её СКО является неудовлетворительной, то следует вернуться к п. 2 и увеличить количество входов сети, после чего заново обучить сеть. Если же количество входов достигло 50 % от количества точек в обучающей последовательности и требуемая СКО не была достигнута, следует вернуться к количеству входов $p = 0,05 \cdot n \dots 0,15 \cdot n$ и начать увеличивать количество нейронов в скрытом слое, каждый раз выполняя обучение сети и находя значение СКО. Если количество нейронов в скрытом слое стало больше либо равно утроенному количеству входов $s^{(1)} \geq 3 \cdot p$ и требуемая СКО не была достигнута, то следует вернуться к начальному количеству нейронов $s^{(1)} = 3\dots5$ и добавить еще один скрытый слой с количеством нейронов в нем $s^{(2)} = s^{(1)} = 3\dots5$, постепенно наращивая количество нейронов в слоях и количество входов, выполняя обучение сети после каждого изменения её структуры. Если в результате требуемая СКО так и не была достигнута, то либо данная топология сети не подходит для этой задачи прогнозирования и следует изменить топологию сети, либо для прогнозирования нужного значения y_{n+k} ряда $\{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ знания самих предыдущих значений недостаточно, и тогда следует искать дополнительные данные.

Выводы. Для принятия решения относительно строительства ВЭУ обоснована необходимость размещения в данном месте измерительного комплекса, позволяющего регистрировать основные параметры ветра с последующей передачей данных в компьютерный центр с последующей их обработкой и выполнением прогноза возможного изменения.

Список литературы

1. Кузнецов М. П. Вдосконалення моделі прогнозування потужності ВЕС з урахуванням напряму вітру / М. П. Кузнецов // Відновлювальна енергетика – 2011. – 2(25) – С. 45–52.
2. *Нетрадиційна енергетика: основи теорії: навч. посіб. для студ. вищих навч. закладів* / Д. Л. Дудюк, С. С. Мазепа, Я. М. Гнатишин / Магнолія 2006, 2009. – 187 с.
3. *Джерела енергії на Землі: конспект лекцій* / І. О. Баганов // Херсон: Херсон. нац. техн. ун-т – 2009. – 185 с.
4. Amir F. A. A comparison between neural-network forecasting techniques / F. A. Amir, I. S. Samir – case study: river flow forecasting // IEEE Transactions on neural networks. – Vol. 10, No. 2. – 1999. – P. 402–409.
5. Mohsen H. Artificial neural network approach for short term load forecasting for Illam region / H. Mohsen, S. Yazdan // World Academy of Science, Engineering and Technology 28 2007. – P. 280–284.
6. Jerome T. C. Recurrent neural networks and robust time series prediction / T. C. Jerome, R. M. Douglas, L. E. Atlas // IEEE transactions on neural networks. – Vol. 5, No. 2. – 1994. – P. 240–254.

В. М. Синеглазов, Б. І. Дмитренко, А. В. Кульбака

Технічні засоби моніторингу вітру на місцевості

Визначено вітрові параметри, що використовуються у вітроенергетиці. Розроблено комплекс технічних засобів, призначених для моніторингу вітрової обстановки на місцевості.

V. M. Sineglazov, B. I. Dvitrenro, A. V. Kulbaka

Locality Wind Monitoring hardware

Used in energetics wind parameters are determined. The complex of wind monitoring at the locality is designed.