

ность проявляется во всех видах вращающихся электрических машин – машины большей номинальной мощности всегда имеют соответственно и больший КПД и, наоборот, КПД машины малой мощности и микромашин обычно невелик.

### Литература

1. Радин В.И., Брускин Д.Э., Зорохович А.Е. Электрические машины: асинхронные машины. – М.: Высшая школа, 1988.
2. Китаев В.Е., Корохов Ю.М., Свиринов В.К. Электрические машины. Ч. 2. Машины переменного тока: учебное пособие для техникумов. – М.: Высшая школа, 1978.
3. Вольдек А.И. Электрические машины. Учебник для студентов высших технических учебных заведений. – 3-е изд., перераб. – Л.: Энергия, 1978.
4. Копылов И.П., Клоков Б.К. Проектирование электрических машин: учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 2002.

УДК 621.313

## ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА В БЕЛАРУСИ И СТРАНАХ ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ

Лапушинская Л.И., Дубовик Е.М.

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент ОЛЕШКЕВИЧ М.М.

**Ветроэнергетика Беларуси.** Беларусь не располагает собственными топливно-энергетическими ресурсами (ТЭР). Лишь 15 % собственных ТЭР покрывают потребности страны, остальные 85 % импортируются – в основном из России. В последние годы наблюдается постоянный рост цен на топливо и импортируемую электроэнергию. Этот рост будет иметь место и далее до достижения мировых цен. В связи с этим для Беларуси чрезвычайно важно включать в топливно-энергетический баланс вторичные энергоресурсы и возобновляемые источники энергии. Одной из важных областей энергетики в Беларуси должна стать ветроэнергетика. Ведь даже, несмотря на нестабильность ресурсных характеристик энергии ветрового потока, проявляющуюся в усилении ветра в дневное время и наличии ветроэнергетических максимумов в холодное время года (рисунки 1), ветер является самым надежным источником энергии в пиковые периоды нагрузки энергосистемы.

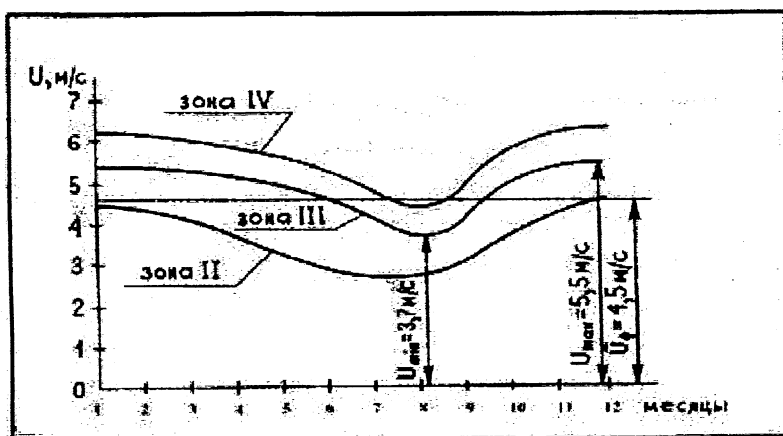


Рис. 1. Годовой ход скорости ветра на территории Беларуси

Ветроэнергетика, как и любая отрасль хозяйствования, должна обладать тремя обязательными компонентами, обеспечивающими ее функционирование:

- ветроэнергетическими ресурсами;
- ветроэнергетическим оборудованием;
- развитой ветротехнической инфраструктурой.

**Выбор ВЭУ для Беларуси.** Освоение ветроэнергетики в Беларуси необходимо вести, ориентируясь на ВЭУ зарубежного производства внутриконтинентального базирования.

Рекомендуется использовать многолопастные и геликоидные ветроагрегаты (скорости ветра выше 12 м/с) (рисунок 2).

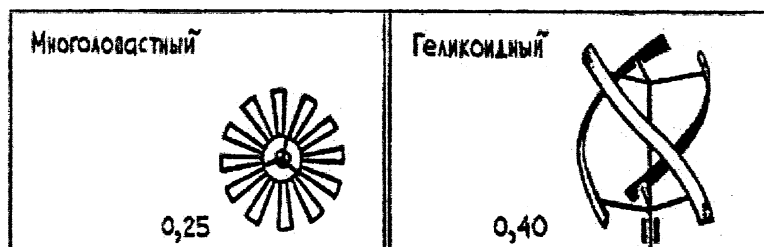


Рис. 2. Типы ветроагрегатов, рекомендуемых для Беларуси

Проблемы с ограничениями по выбору ветротехники можно решить, если, с одной стороны, применять в системе централизованного электроснабжения импортные ВЭУ мощностью 250–1500 кВт, а с другой стороны, использовать маломощные ВЭУ (до 100 кВт), массовый выпуск которых реально организовать в течение 2–3 лет на предприятиях нашей страны. Следует также вложение немалых финансовых средств.

Основными показателями технического уровня ВЭУ являются коэффициент использования энергии ветра и быстроходность ветроротора. ВЭУ с горизонтальной осью вращения ветроротора, широко используемые за рубежом в климатических условиях, аналогичных белорусским, имеют коэффициент использования энергии ветра 0,40–0,42 при рабочих скоростях ветра 13–15 м/с и стартовой скорости ветра 4,5 м/с. Более дешевые ортогональные ВЭУ с вертикальной осью вращения ветроротора имеют коэффициент использования энергии ветра 0,32–0,35 при рабочих скоростях ветра более 14 м/с. Старт такой ветроустановки – принудительный, то есть с приводом от электросети или другой ВЭУ. По всем показателям такая ветротехника для наших условий не годится. В Беларуси ведется усиленный поиск путей удешевления и повышения энергетических показателей ветротехники, в том числе новых типов.

Чрезвычайно высокая экологическая безопасность геликоидной ветротехники допускает ее эксплуатацию вблизи жилых зданий, а некоторые типы геликоидных ВЭУ можно устанавливать даже на крышах зданий и сооружений. Отсутствие низкочастотных вибраций и шума в инфразвуковом диапазоне, укороченный шлейфовый след допускают применение геликоидных ВЭУ и с высокой плотностью расположения ветророторов. Технические решения геликоидных ветророторов для различных видов ВЭУ, которые запатентованы и патентуются, позволяют находить совершенно новые архитектурно-строительные энергосберегающие решения зданий и сооружений.

Ввиду довольно сильной пересеченности и холмистости территории Беларуси диапазон расчетных скоростей ветра  $V_{\text{ном}}$  ветроагрегатов строго регламентирован градациями 8, 9, 12 м/с на уровне ветроротора в соответствующих климатических зонах.

Чтобы определить наиболее подходящие для ветротехники типы местности, удобно руководствоваться величиной коэффициента использования установленной мощности  $K$ . Этот коэффициент соответствует доле обеспеченности расчетной скорости ветра  $v_{\text{ном}}$  от полного, 100 %-го, распределения скорости ветра  $v$  на конкретной территории и для определенного типа ВЭУ. В каждом конкретном случае объем

ветроэнергоресурсов определяет возможную выработку ВЭУ заданной мощности, размещенных на определенной территории, за суммарное время в заданном диапазоне:

$$W = \frac{K_y N_{\text{ном}} T}{100},$$

где  $N_{\text{ном}}$  – установленная мощность ВЭУ;

$T$  – продолжительность работы ВЭУ.

Для заданной точки внедрения ветротехники вместо  $K_y$  используется суммарный коэффициент полезного действия конкретной ВЭУ.  $N_{\text{ном}}$  и  $T$  определяются прямым расчетом по специальной методике, исходящим из распределения скоростей ветра по градациям. Оценка же объема ветроэнергоресурсов на территории определяется для условных ВЭУ, обозначаемых для удобства В6, В8, В10 и т. д. Числа здесь соответствуют номинальной рабочей скорости ветра (соответственно 6; 8; 10 м/с), при которой осуществляется регулирование числа оборотов ротора под номинальную мощность генератора. Стартовые скорости ветра (соответственно 3; 4; 4,5 м/с), при которых начинается вращение ротора ВЭУ, обеспечивают выработку энергии генератором в предноминальном режиме. В последнем случае большинство ВЭУ, работающих на централизованные электросети, снабжается преобразователями, которые приводят энергетические характеристики генератора в соответствие с требованиями электросетей. Эти ВЭУ вырабатывают электроэнергию во всем диапазоне рабочих скоростей ветра, обеспечивая автономный объект энергией. Использование ВЭУ считается эффективным в случае  $K_y > 25\%$  при работе генератора в номинальном режиме. Использование вырабатываемой генератором ВЭУ электроэнергии, начиная со стартовых скоростей ветра, превышает нижнее значение  $K_y$  до 33 %.

#### **Экономические вопросы, связанные с внедрением и эксплуатацией ветротехники.**

Ветроэнергетика не бесплатна, она требует определенных единовременных затрат. Здесь надо обратить внимание на следующее. С ростом мощности ветроагрегата удельный показатель стоимости серийных ВЭУ снижается вплоть до мощности, равной 80 кВт. Дальнейшее заметное снижение затрат на 1 кВт установленной мощности характерно для очень мощных ВЭУ.

Срок окупаемости ветротехники мощностью от 250 до 1500 кВт при поставке энергии в централизованные электросети составляет не более 5 лет, если ВЭУ правильно подобраны и размещены с учетом условий эксплуатации и климатических характеристик (параметры рельефа, степень открытости ВЭУ на рельефе, высота ее опоры и т. п.). Что касается маломощных ВЭУ, то их целесообразно применять в основном локально для конкретных технологических целей.

Немалая доля рекомендуемых для размещения ветротехники площадок на территории Беларуси – это возвышенности, холмы, места вблизи больших водных массивов, где часто отсутствуют потребители энергии. Строительство коммуникаций для этих площадок потребует дополнительных затрат, что вряд ли может быть экономически оправданным. В то же время жилые массивы, промышленные и перерабатывающие сельхозпродукцию предприятия располагаются в комфортных «маловетренных» климатических зонах Беларуси. Естественно, ВЭУ, соответствующие по технико-экономическим показателям таким условиям эксплуатации, будут дороже.

Маркетинговые исследования, проведенные специалистами Международной академии экологии, показали, что сроки окупаемости ветротехники сопоставимы со сроками окупаемости малых гидроэлектростанций, парогазовых и газо-мазутных электростанций, но значительно ниже сроков окупаемости угольных, атомных и дизельных

электростанций. При этом затраты на эксплуатацию ВЭУ гораздо ниже затрат на эксплуатацию электростанций, работающих на жидком, газообразном, твердом и ядерном топливе.

Масштабное развитие белорусской ветроэнергетики потребует, разумеется, соответствующих маркетинговых исследований, организации сферы обслуживания, строительных работ, монтажа, наладки и ремонта ветротехники. Это приведет к созданию новых рабочих мест, более-менее равномерно распределенных по территории страны.

### **Ветроэнергетика в странах Восточной Европы.**

*Польша.* Мощность действующих ВЭС составляет 108 тыс. кВт. Выработка электроэнергии – 280 млн. кВт·ч в год.

Благодаря отличным ветровым условиям и стимулирующему законодательству Польша считается одним из наилучших рынков ветроэнергетики в Европе. Средняя скорость ветра на высоте 50 м находится в пределах 5,5–7 м/с. Т. е. на стандартной высоте 10 м над поверхностью земли она равна 4,5–5,6 м/с. Согласно карте ветров на северо-западе есть зоны, где среднегодовая скорость ветра превышает 6 м/с. На большой территории на Балтийском побережье и в центре страны скорость ветра равна или превышает 5 м/с. Собственные компании (NOWOMAG и KOMAG) производят небольшие ВЭУ мощностью до 160 кВт и готовят выпуск ВЭУ мощностью 1 МВт.

*Словакия.* Ветровой потенциал относительно невелик и составляет около 3 % потенциала возобновляемых источников энергии. Мощность действующих ВЭУ составляет 5 МВт. Отсутствует информация о заинтересованности в развитии ветроэнергетики, что является наибольшим препятствием в ее развитии.

*Литва.* Общая установленная мощность ВЭС – более 6 тыс. кВт. Литва обладает высоким ветровым потенциалом. Перспективные для ветроэнергетики площади со скоростью ветра 5–5,5 м/с и выше прилегают к Балтийскому побережью: районы Паланги, Клайпеды, Куршская коса, западные районы. Ветровые ресурсы могут быть использованы на 10 % территории. Большой потенциал обеспечит использование прибрежных зон, но развитие ветроэнергетики морского базирования пока не планируется. В средней части страны ветровой потенциал составляет 3,5–4 м/с.

Существует национальная программа развития ветроэнергетики. К 2010 г. планируется установить ВЭС общей мощностью 170 тыс. кВт.

*Латвия.* Общий объем энергии, производимый ВЭУ, составляет всего 27 МВт (тысячная часть от Европейской). Однако условия для строительства таких установок в прибрежной зоне весьма благоприятны. Особенно эффективны так называемые офшорные станции, возводимые прямо в море, где препятствий для ветряных потоков гораздо меньше. По расчетам специалистов, на Курземском побережье можно построить ВЭУ мощностью до 600 МВт.

Так же наилучшими местами для установки ВЭС являются западный берег и восточная часть Рижского залива. Скорость ветра там превышает 5 м/с, а местами достигает 6 м/с.

Латвийский проект является сопутствующим крупному европейскому проекту «Развитие ветряной энергетики в Балтийском регионе», в котором участвуют 30 партнеров из Германии, Дании, Швеции, Финляндии, Латвии, Литвы, Эстонии, Польши, России и Норвегии. Латвию представляет RMS. Этот проект осуществляется в рамках программы INTERREG, финансируемой Евросоюзом.

*Украина.* Основное влияние на ветровой режим территории Украины имеет Атлантический океан. Важное значение для формирования климата отдельных регионов имеют горы, их высота и направление расположения. Речь идет о Карпатах, Подольской, Волынской и Приднепровской возвышенностях, Донецком кряже и Крымских горах.

Для других регионов имеет значение близость Черного и Азовских морей, и также равнинный характер местности (Причерноморская низина). Для современного технического уровня ВЭУ используются районы со среднегодовыми скоростями ветра 5 м/с и больше на высоте флюгера равным 10 м. Поэтому предварительная оценка ветровых характеристик территории Украины дается с использованием этого критерия. Анализ данных многолетних наблюдений 214 метеостанций за долгий период времени свидетельствуют о том, что в Украине преобладают ветры от 0 до 5 м/с (70–90 %).

Общая установленная мощность перспективных ветроэлектростанций в Украине оценивается в 53 МВт с возможной годовой выработкой электроэнергии около 140 млн. кВт·ч. По среднегодовым скоростям ветра более 5 м/с можно выделить семь регионов и две зоны. К регионам относятся Карпатский, Причерноморский, Приазовский, Донбасский, Западно-Крымский, Восточно-Крымский, к зонам – Харьковская и Полтавская. Для внедрения ветроэнергетики пригодно более 40 % территории.

### Литература

1. Олешкевич М.М. Состояние и перспективы вероэнергетики в странах Балтийско-Черноморского региона и Беларуси // Энергоэффективность. – 2007. – № 8. – С. 7–11.

УДК 621.311

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕДОСТОВЕРНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

*Шуканов А.И.*

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор АНИЩЕНКО В.А.

Математическая модель, используемая при статистическом оценивании взаимосвязанных аналоговых переменных, характеризующих состояние системы электропитания, предполагает отсутствие грубых погрешностей измерений этих аналоговых переменных.

Грубые погрешности приводят к неоптимальным статистическим оценкам, поэтому необходима предварительная идентификация недостоверных результатов измерений, которая состоит из двух последовательных этапов:

- обнаружения факта наличия грубой погрешности;
- локализации грубой погрешности.

Обнаружение грубой погрешности блокирует работу алгоритма оценивания (задача-минимум), а локализация грубой погрешности, если удаётся её произвести, позволяет найти вероятное замещающее недостоверное измерение значение переменной и осуществить статистическое оценивание, то есть расчётным путём повысить точность измерительной информации (задача-максимум) [1, 2].

Исходная система уравнений имеет вид:

$$\sum_{i=1}^m a_{ij} x_i = 0, \quad j = 1, \dots, r, \quad (1)$$

где  $x_i$  – неизвестное истинное значение  $i$ -й переменной;

$m$  – число переменных;

$a_{ij}$  – коэффициенты при неизвестных, принимающие значения +1, -1, 0;

$r$  – суммарное число независимых и зависимых уравнений связи.

Условия отсутствия недостоверных результатов измерений записываются следующим образом: