

М.В. Дюльдин

А.А. Панфилов, канд. техн. наук

Н.В. Столяров

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕТРОВОГО ПОТОКА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Развитие народного хозяйства в целом и агропромышленного комплекса в частности неразрывно связано с увеличением энергопотребления. Темпы развития централизованного энергоснабжения порой не отвечают повышенному спросу на электроэнергию и мощность. Этот сдерживающий фактор вынуждает отдельные сельскохозяйственные предприятия создавать собственное энергонезависимое производство. Как показывает мировой опыт, одним из решений данной проблемы является использование ветроэлектрических станций (ВЭС), которые могут не только удовлетворить собственные нужды энергопотребления, но и получать прибыль от продажи электроэнергии.

Все используемые способы прогнозирования энергетической, а впоследствии и экономической эффективности ВЭС, основаны на использовании теоретических или эмпирических моделей распределения ветрового потока в приземном слое предполагаемого размещения ветроэлектрической установки (ВЭУ) и ее характеристик. В математическом плане расчеты сводятся к определению функции распределения скоростей ветра на высоте расположения оси ветроколеса ВЭУ с заданной рабочей характеристикой.

В случаях отсутствия метеостанций вблизи предполагаемого размещения ВЭС расчет ВЭР, определяющих предполагаемую выработку электроэнергии проектируемой ВЭС, существенно усложняется и может быть реализован проведением натурных измерений непосредственно в месте расположения ВЭС длительностью 1–2 года. Способ, несомненно, имеет более высокую точность, особенно если учесть, что на некоторых метеостанциях до сих пор не осуществлен переход от флюгерных измерений с помощью доски Вильда к автоматическим измерениям с помощью анеморумбометров [1]. Установлено, что усредненные скорости по флюгеру Вильда за 2-минутный интервал существенно отличаются от 10-минутных скоростей, осредненных автоматическими анемометрами типа М63. Недостатками данного способа является отсутствие учета годовой изменчивости ветра и более высокая стоимость. Как правило, при проектировании ВЭС для повышения точности измерений указанные методики используют совместно. Это по-

зволяет установить соответствие данных ветромониторинга и региональных климатических норм.

При проведении ветромониторинга измерения производятся одновременно на разных высотах, поскольку существующие одноуровневые модели экстраполяции флюгерных измерений могут значительно отличаться в зависимости от местных ветровых условий. Так, например, при определении среднегодовой скорости ветра на высоте 100 м над поверхностью земли общепринятая в мировой практике датская логарифмическая экстраполяция дает погрешность до 50 %, а двухуровневая модель В.Г. Николаева «Флюгер-XXI» дает погрешность до 15 % [2].

Мачты, как правило, оборудуются автоматизированными метеорологическими комплексами, в состав которых, кроме датчиков скорости и направления ветра, входят датчики температуры, относительной влажности, атмосферного давления и осадков. Информация с датчиков регистрируется, архивируется и передается пользователю с помощью специального оборудования и программного обеспечения. Количество датчиков ветра зависит от высоты мачты.

Датчики скорости и направления ветра могут быть отдельными (рис. 1а), объединенными (рис. 1б–д) или модульными с единым портативным модулем, в который помимо датчиков ветра входят датчики температуры, влажности, давления, осадков, а также измерительный преобразователь. При проведении мачтовых измерений, как правило, используются чашечные и ультразвуковые датчики ветра.

Принцип работы чашечных анемометров основан на использовании зависимостей между скоростью воздушного потока и частотой вращения вертушки. Преимуществом чашечных анемометров является простота конструкции, низкая стоимость и широкое использование в мировой практике. К недостаткам можно отнести погрешности измерений за счет инерционности конструкции и трудоемкости обслуживания необогреваемых моделей при их обледенении.

Более точными и надежными являются ультразвуковые датчики за счет отсутствия подвижных частей. В зависимости от модели датчики снабжаются

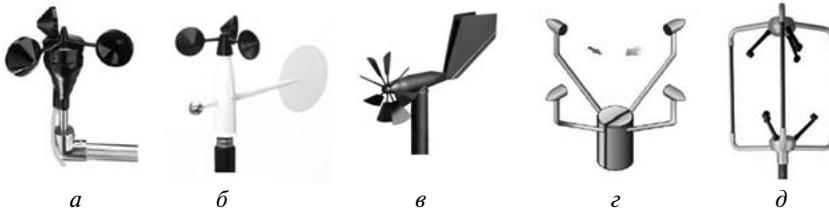


Рис. 1. Датчики скорости и направления ветра:

а — чашечный анемометр; б — анеморумбометр с чашечным анемометром; в — анеморумбометр типа М63 с крыльчатым анемометром; г — ультразвуковой датчик ветра; д — ультразвуковой 3D датчик ветра

тремя или четырьмя равноудаленными друг от друга ультразвуковыми измерительными преобразователями (рис. 1в). Скорость и направление ветра определяются по времени, за которое ультразвук проходит от одного преобразователя до других. Время прохождения сигнала зависит от скорости ветра: при нулевой скорости ветра время прямого и обратного хода сигнала одно и то же, при ветре вдоль траектории звука время прохождения сигнала против ветра больше, а по ветру меньше. Многократное измерение времени прохождения сигнала, обеспечивает точность измерений до 0,01 м/с. Современные ультразвуковые датчики позволяют определять три компоненты скорости ветра (рис. 1г). Единственным недостатком данного типа измерительного оборудования по сравнению с чашечными анемометрами является его более высокая стоимость.

Максимальная высота ветроизмерительных метеомачт варьируется от 50 до 100 м, что позволяет полностью удовлетворить потребности малой ветроэнергетики (мощность ВЭУ до 100 кВт). При проектировании ВЭУ мегаваттного класса с высотой башни более 80 м проведение мачтовых измерений полностью не перекрывает всю ометаемую площадь ротора, а в некоторых случаях не позволяет оценить скорость ветра даже на высоте оси ротора. Поэтому часто полученные данные скорости ветра с метеомачты должны быть пересчитаны при помощи метода экстраполяции на большую высоту, где будет находиться ось ветроколеса (рис. 2).

В связи с этим внимание привлекают метод дистанционного акустического зондирования ветрового потока (Sodar — Sonic Detection and Ranging) и метод дистанционного оптического зондирования (Lidar — Light Detection and Ranging), которые предлагают альтернативный подход к измерениям скоростей ветра. В основе принципа работы Sodar (аналогично работает Lidar, только вместо звукового сигнала используется лазерный луч) лежит эффект Доплера, который описывает изменение частоты звуковой волны от движущегося источника, регистрируемое неподвижным приемником. Sodar посылает в атмосферу высокочастотные звуковые сигналы (около 4,5 кГц) последовательно в трех направлениях: один луч в вертикальном

направлении и два ортогональных луча, наклоненных примерно 17° от вертикали. Акустические волны отражаются от подвижных турбулентных воздушных масс в атмосфере, и часть посланного сигнала возвращается в Sodar с некоторой измененной частотой. После этого Sodar измеряет отраженный сигнал и рассчитывается доплеровское изменение частоты для ряда высот (до 200 м) с интервалом в 10 м по каждому направлению луча. После чего скорости ветра по каждому направлению луча усредняются в 10-минутный интервал и рассчитывается средняя векторная скорость ветра и направление ветра.

Следует отметить, что точность измерения скорости ветра при помощи технологии Sodar немного отличается от точности измерений чашечных анемометров. Sodar измеряет ортогональные компоненты скорости ветра и затем осредняет их для определения векторной скорости ветра. Чашечные или крыльчатые анемометры измеряют скалярную скорость ветра. Скалярная скорость обычно на 1...2% больше векторной [3].

Для проведения ветромониторинга в удаленных и не имеющих централизованного электропитания местах могут использоваться автономные передвижные установки Sodar и/или Lidar. В 2011 году ФГБОУ ВПО СПбГУ закуплена установка Sodar WindExplorer в рамках реализации программы национального исследовательского университета (НИУ). Установка состоит из двусосного прицепа в прочном фанерном корпусе, в который встроены антенный модуль и рефлектор, электронный блок с компьютером, панелью управления и жестким диском, датчики скорости ветра, температуры, влажности, дождя и снега. В условиях холодного климата предусмотрено наличие подо-

дальше текст обрезан.

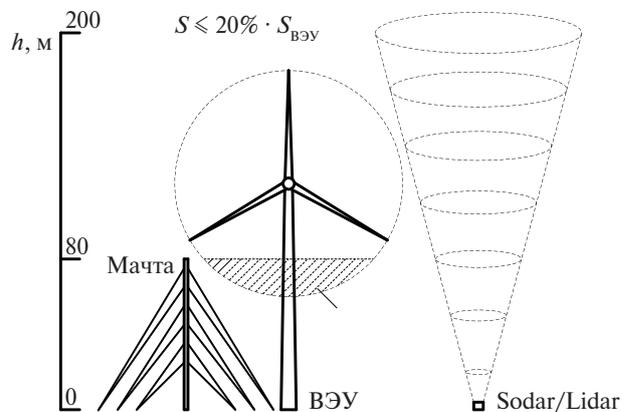


Рис. 2. Высотное сравнение метеомачты высотой 80 м, установок типа Sodar/Lidar и габаритов ВЭУ мегаваттного класса

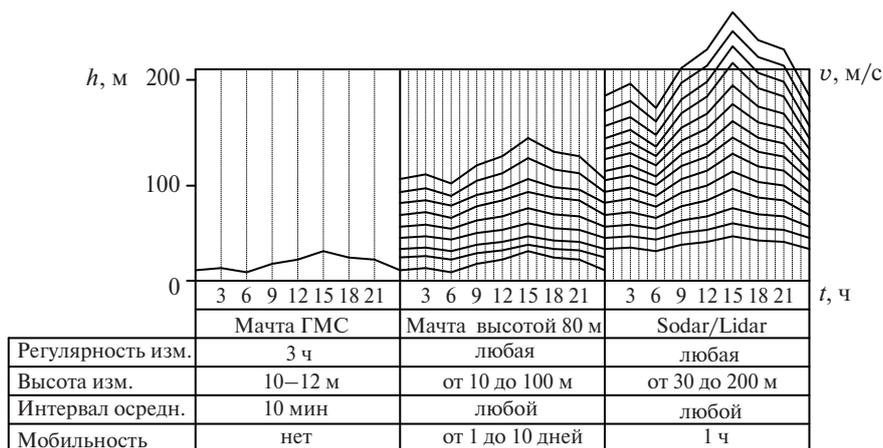


Рис. 3. Сравнительная характеристика проведения измерений на ГМС с помощью метеомачт и установок типа Sodar/Lidar

гревающего элемента на корпусе рефлектора в целях предотвращения накопления снега и удаления льда. Для более длительного и постоянного использования установки Sodar оснащаются небольшим бензиновым генератором, солнечными фотоэлектрическими модулями и иногда ветрогенератором малой мощности, которые автоматически подзаряжают встроенные аккумуляторные батареи, когда это необходимо.

Коммерческие установки Sodar и Lidar используются на практике ветромониторинга с целью уменьшения неточности в измерениях скорости ветра ниже высоты оси ветроколеса, присущей традиционному методу ветромониторинга при помощи метеомачт (рис. 3). Данные установки можно использовать как самостоятельно, так и совместно с метеомачтой.

Системы Sodar и Lidar позволяют проводить ветромониторинг с целью более точного и достоверного прогнозирования среднегодовой выработки электроэнергии и обеспечения прогноза выработки с вероятностью до 90 % и как следствие снижения инвестиционных рисков строительства ВЭС, что является ключевой информацией для банков и инвесторов при принятии решения по финансированию проектов [4].

Несмотря на схожий принцип работы, системы Sodar и Lidar имеют ряд принципиальных отличий. Так, установки Sodar характеризуются относительно низким энергопотреблением, более низкой стоимостью, чем Lidar. К недостаткам Sodar относят помехи в виде эхо, которые образуются в случае отражения звукового сигнала от близко расположенных препятствий (деревьев или строений), шумовые помехи от внешних источников (транспортные магистрали, строительная площадка и т. п.), снижение точности измерений в периоды

атмосферных осадков, невозможность расположения установки Sodar в непосредственной близости с метеомачтой. По причине использования не звуковой, а световой волны установки Lidar не имеют недостатков в виде помех из-за эха и позволяют получать достоверные данные в периоды осадков. Эти установки производятся в компактных и легких исполнениях (вес около 45 кг) и могут быть установлены двумя рабочими менее чем за 20 мин [5]. К недостаткам установок Lidar можно отнести их высокую стоимость, более

высокое энергопотребление, чем у Sodar, и наличие хрупких компонентных частей, что требует обеспечения дополнительной безопасности при транспортировке.

Таким образом, сравнивая результаты измерений ветрового потока различными способами, можно сделать вывод, что установки Sodar и Lidar позволяют дополнять, а в некоторых случаях заменять ветромониторинг при помощи анемометров, получать более точные и достоверные данные по ветру одновременно на нескольких заданных высотах, снижать затраты на проведение ветромониторинга, снижать технические риски, связанные с реализацией проектов строительства ВЭС.

Список литературы

1. Климатические факторы возобновляемых источников энергии / Под ред. В.В. Елистратова, Н.В. Кобышевой, Г.И. Сидоренко. — СПб.: Наука, 2010. — 236 с.
2. Николаев В.Г., Ганага С.В., Кудряшов Ю.И. Национальный кадастр ветроэнергетических ресурсов России и методические основы их определения; под ред. В.Г. Николаева. — М.: Атмограф, 2008. — 584 с.
3. Long Island, MA: SODAR-Based Wind Resource Assessment. — University of Massachusetts Amherst, RERL, 2006 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.umass.edu/windenergy/publications/resource/Long_Island/Report/Long_Island_Wind_Resource_Assessment_Report.pdf, свободный.
4. Naomi Pierce: What Is Sodar? A Snapshot of Wind Development Applications // SECONDWIND: WindIQ Knowledge Center [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://info.secondwind.com/knowledge-center/bid/59589/What-Is-Sodar-A-Snapshot-of-Wind-Development-Applications>, свободный.
5. Technical specs WINDCUBEv2 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.leosphere.com/products2.php?rubrique=36&cat=wl&item=1wc7ts>, свободный.