УДК 621.311.24

Амзина А.,
магистрант
2 курс, факультет «Энергетический»
Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина
Казахстан, г. Нур-Султан
Сарсикеев Е.Ж., PhD
старший преподаватель кафедры «Эксплуатация электрооборудования»
Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина
Казахстан, г. Нур-Султан

АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ И СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМИ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЯМИ

Аннотация: *В статье рассмотрены и проанализированы основы подходы по управлению автономными ветровыми электрическими станциями (ВЭС). Приведена оценка технических критериев эффективности работы ВЭС, работающей на автономную нагрузку. Даны рекомендации по устойчивым и эффективным режимам работы.*

Ключевые слова: *ветровая электрическая станция, режимы работы, скорость ветра, ветровая турбина, эффективность, устойчивость.*

Annotation: *The article reviewed and analyzed the basics of approaches to the management of autonomous wind power plants (WPP). The assessment of the technical criteria for the efficiency of the WPP operating on autonomous load is given. Recommendations on sustainable and efficient modes of operation are given.*

Key words: *wind power plant, operating modes, wind speed, wind turbine, efficiency, sustainability.*

На сегодняшний день широкое использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) является одним из способов снижения антропогенного воздействия на окружающую среду и её экологию. В силу низкой плотности населения на некоторых территориях, энергообеспечение оказывается технически и экономически не целесообразным. В этой связи всемерное развитие местных возобновляемых источников энергии является экономической и экологической альтернативой централизованным системам энергоснабжения. Среди существующих видов ВИЭ наиболее быстро и динамично развивающимся видом является ветроэнергетика.

Стационарные ветрогенераторы могут полностью обеспечивать энергией жилой дом или небольшой производственный объект, накапливать в аккумуляторные батареи необходимый ресурс электроэнергии для применения в периоды отсутствия ветра, могут функционировать в сочетании с дизельными генераторами или солнечными панелями (модулями), а также при параллельной работе с центральной электросетью, существенно снизить затраты на энергетические ресурсы.

На сегодняшний день существует множество способов управления ветроэнергетическими установками (ВЭУ) с целью максимального использования энергии ветра, каждый из которых характеризуются рядом показателей в зависимости от местного ветроэнергетического потенциала и характера нагрузки.

Современные ВЭУ обычно имеют два режима работы: работа с постоянной и переменной скоростью вращения ветротурбины. От зоны работы ВЭУ зависят принципы ее управления. Есть три основных зоны работы ВЭУ.

Эти зоны отмечены на энергетической характеристике ВЭУ, представленной на рисунке 1.

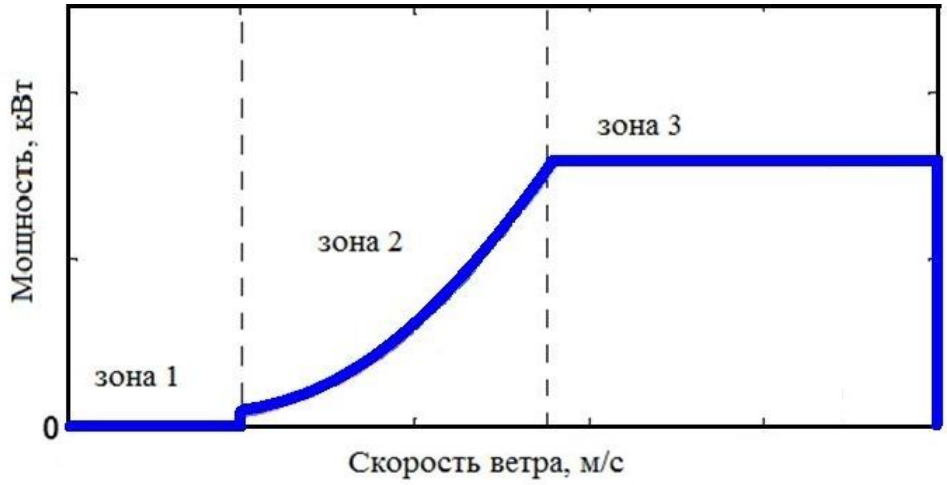

Рисунок 1. Энергетическая характеристика ВЭУ

Зона 1 включает моменты бездействия ВЭУ и её запуска. Регулирование в этой области характеризуется в слежении за скоростью ветра: определяется, находится ли скорость в пределах, нормируемых для начала работы установки, и если находится, то начинается выполнение операций, необходимых для запуска установки. В этой зоне современные стратегии управления не используются.

Зона 2 является рабочим режимом ВЭУ. В этой области важно выработать максимальное количество электроэнергии. Аэродинамические потери препятствуют достижению установкой ее максимального теоретически возможного отбора энергии из ветра, называемого пределом Бетца (c_p=0,59), но цель – приблизиться к этому значению. В зоне 2 часто используются два принципа регулирования работы ВЭУ: поворот гондолы в горизонтальной плоскости и изменение вращающего момента генератора.

Зона 3 включает моменты работы ВЭУ при скорости ветра, выше номинальной, то есть при скорости ветра выше той, при которой производится максимальное количество энергии. Установка должна ограничивать отбираемую долю энергии ветра так, чтобы не выйти за пределы электрических и механических расчетных нагрузок генератора. В зоне 3 установка, работающая с

переменной скоростью, поддерживает постоянное значение скорости вращения турбины, неизменную развиваемую мощность, изменяя угол атаки лопастей для сброса избыточной энергии. В этой области могут быть использованы все три выше указанных принципа управления выработкой мощности.

Механическая мощность, производимая горизонтально-осевой турбиной в установившемся режиме, определяется по формуле

$$P_m = \frac{1}{8}\rho\pi D^2 v^3 c_p(\beta, \lambda_{cp}),$$

где ρ – плотность воздуха, D – диаметр ометаемой ветротурбиной площади; v – скорость ветра, c_p– коэффициент мощности.

При этом коэффициент мощности определяется по выражению

$$c_p(\beta, \lambda) = c_1\left(\frac{c_2}{\lambda_{cp}} - c_3\beta - c_4\right)e^{\frac{-c_5}{\lambda_{cp}}} + c_6\lambda_{cp},$$

где λ – быстроходность в безразмерных величинах; β – угол атаки лопасти ротора в градусах; ω – механическая угловая скорость вращения ротора.

Быстроходность в безразмерных величинах определяется по выражению

$$\frac{1}{\lambda_{cp}} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.35}{\beta^3 + 1},$$

$$\lambda = \frac{\omega R}{v_{ветер}},$$

Коэффициент мощности, как функция от λ при разных углах атаки лопасти, приведен на рисунке 2[2].

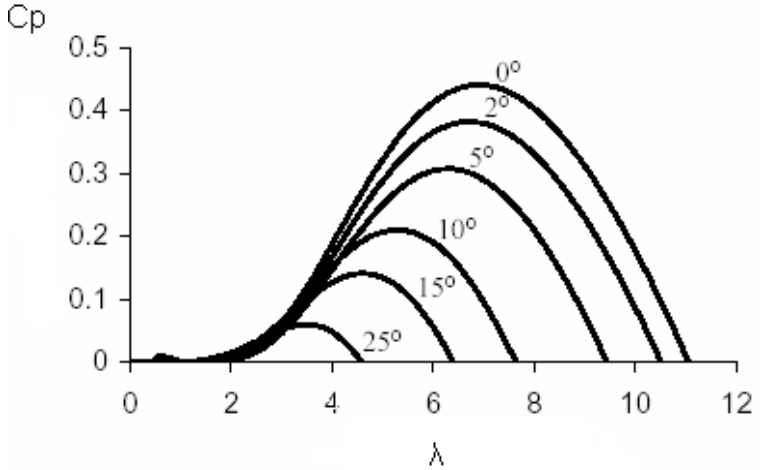

Рисунок 2. Зависимость коэффициента мощности от быстроходности

При низких скоростях ветра угол атаки лопасти поддерживают равным нулевому значению, так как максимальный коэффициент мощности достигается при этом значении угла.

Коэффициент мощности имеет максимальное значение для каждого коэффициента λ и угла атаки. Это значит, что для извлечения максимальной мощности отдельной турбиной, стратегия регулирования должна быть такой, чтобы поддерживать оптимальную быстроходность при любой скорости ветра.

При малых скоростях ветра необходимо стремиться получить максимально возможную мощность турбины до тех пор, пока не будет достигнута номинальная мощность. При скоростях ветра выше, чем номинальная скорость вращения ВЭУ, стратегия регулирования должна быть изменена таким образом, чтобы ветровая турбина производила номинальную, а не оптимальную мощность.

Управление избыточным аэродинамическим моментом может быть достигнуто двумя путями: изменением геометрии ротора (например, изменение угла атаки лопасти или её длины) или изменением скорости вращения ротора, так как ротор работает с оптимальным коэффициентом быстроходности.

Первый метод – изменение угла атаки лопасти, применяют в зоне 3 работы ВЭУ (рисунок 3). Для поддержания постоянного момента генератора используется силовая электроника, изменение коэффициента мощности происходит при поддержании постоянной скорости вращения ротора.

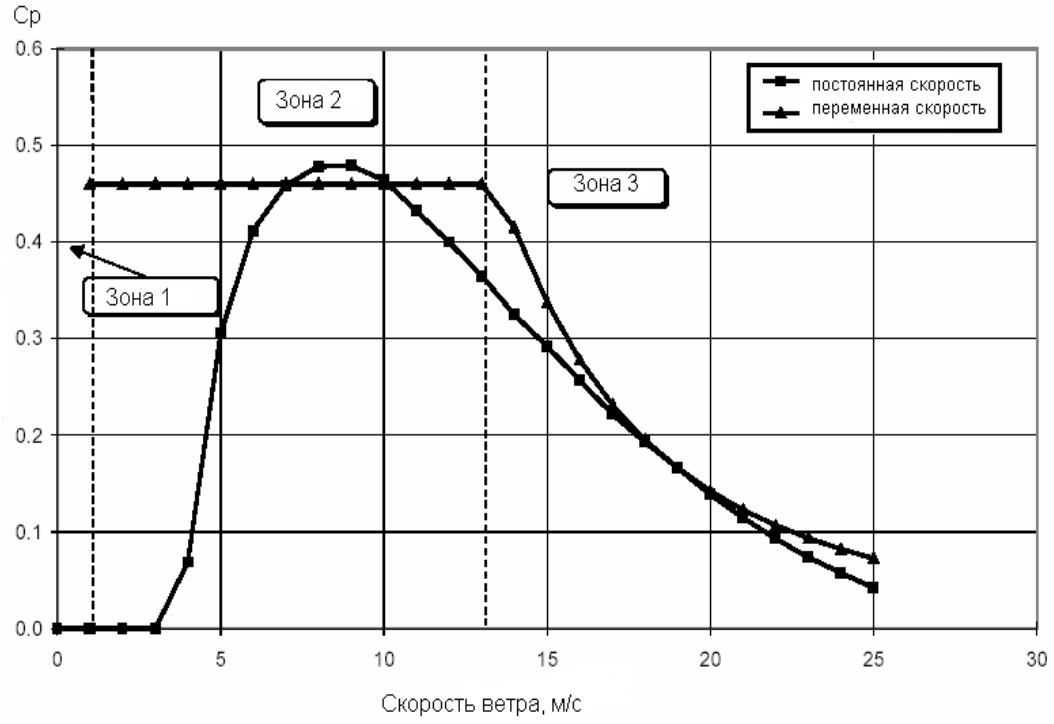

Рисунок 3. Зависимость коэффициента мощности от скорости ветра

Второй метод регулирования - изменение скорости вращения ротора - используется для максимизации захватываемой энергии ветра в зоне 2. Для достижения максимального захвата энергии ветровые турбины должны работать с оптимальным коэффициентом быстроходности, в этом случае поддерживается c_{pmax} [4].

Рассмотрим общие принципы управления ВЭУ в режиме частичной загрузки и полной загрузки. Система контроля должна обеспечивать, в дополнение к максимизации коэффициента мощности, следующие существенные ограничения

$$P(t) \le P_{\max}. \qquad (1)$$

Когда ограничение в уравнении (1) выполняется, система работает в режиме полной загрузки. Во избежание акустического возмущения (шумовых помех), особенно для крупных ветровых турбин, наиболее часто применяется следующее ограничение

$$\Omega(t) \le \Omega_{\max}. \qquad (2)$$

Если ограничение по скорости вращения (Ω) происходит при частичной нагрузке, то оптимизация возможна только для турбин с изменяемым углом заклинения.

Третье ограничение заключается в механическом моменте, который развивает турбина

$$M_{\text{мех}}(t) \leq M_{\max}. \quad (3)$$

Последнее ограничение рассматривается, если ВЭУ работает с частичной нагрузкой, пониженной скоростью вращения и механической мощностью. Если в первую очередь должно быть выполнено ограничение по скорости, то тогда выполнение условия в уравнении (1) неявно гарантирует, что условие в уравнении (3) выполнено. Из трех ограничений, наиболее важными являются те, которые касаются энергии ветра и низкой скорости вращения вала.

Таким образом, роль и задачи управления ВЭУ, представленные выше, могут быть резюмированы следующим образом:

- включение ВЭУ при скоростях старта и отключение при предельных скоростях, а также переключение контроллеров, отвечающих конкретным условиям эксплуатации;
- управление аэродинамической мощностью и скоростью вращения при скоростях ветра выше номинальных;
- максимизация, в данном случае вырабатываемой электроэнергии, которая может быть извлечена из ветра в зоне частичной загрузки;
- снижение переменных нагрузок до гарантированного уровня устойчивости механических частей во всех режимах работы;
- передача электрической энергии в сеть с заданной величиной мощности для широкого интервала скоростей ветра;
- соблюдение стандартов на качество электрической энергии;
- защита ВЭУ и в то же время активная поддержка сети при нарушениях в ней.

Перечень задач управления ВЭУ, указанный выше, не является исчерпывающим, из этих целей можно сформулировать и другие, вытекающие

из них. ВЭУ с изменяемой скоростью вращения являются нелинейными системами изменчивыми во времени, возбуждаемыми стохастическими входными переменными, что существенно влияет на их надежность и приводит к очень большим изменениям динамического поведения системы в течение рабочего диапазона. Это одна из причин, по которой способы управления ВЭУ с изменяемой скоростью вращения ротора все еще находятся на этапе поиска технических решений применения в промышленной ветроэнергетике.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Зубова, Н.В. Повышение режимной управляемости ветроэнергетических установок с изменяемой геометрией лопастей регуляторами на нечеткой логике: Автореф. … дис. канд. техн. наук. – Новосибирск, 2014. – 20 с.
2. Лукутин, Б.В., Сарсикеев, Е.Ж., Методика исследования динамических характеристик ветрогенераторов // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. - №1. – С. 140-143.
3. Ляпунов, Д.Ю., Сарсикеев, Е.Ж. Расчет параметров электропривода постоянного тока для моделирования механических характеристик ветротурбины // Интернет-журнал «Науковедение». – 2012. - №4(13). С. 85-95.
4. Олейников, А.М., Матвеев, Ю.В., Канов, Л.Н.Моделирование режима ветроэлектрической установки малой мощности // Электротехника и электромеханика. – 2010. - №2. – С. 16–20.
5. Удалов, С.Г., Зубова, Н.В. Основные принципы управления ветроэнергетической установкой // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. – 2012. - №3. С. 153–160.