

Лекция № 4.3

Ветроэнергетическая установка для выработки электроэнергии

Ветроэнергетическая установка – это генерирующий компонент ВЭС. ВЭУ по типу турбин можно классифицировать следующим образом:

- использующие подъёмную силу ветра;
- использующие силу сопротивления ветра.

К ВЭУ, использующим силу сопротивления X (рис. 4.8), можно отнести, например, парусное судно. Ветроэнергетические установки, использующие подъёмную силу Y (рис. 4.8), преобладают в мировой ветроэнергетике, так как могут развивать окружную скорость конца лопасти (совпадает с направлением действия подъёмной силы Y) значительно больше скорости ветрового потока V .

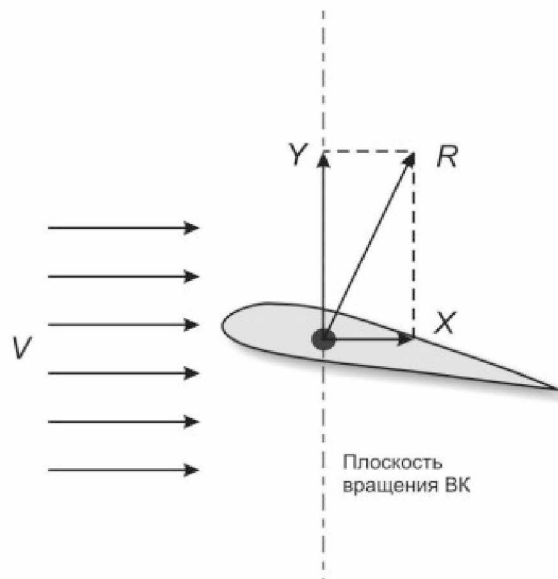


Рис. 4.8 Прямоугольник аэродинамических сил действующих на лопасть ВК

Ветроэнергетические установки можно так же классифицировать по:

- ориентации оси вращения ВК;
- положению ВК относительно всей конструкции.

Различают ВЭУ с горизонтальной и вертикальной осью вращения. Вертикальноосевые ВЭУ обладают рядом достоинств, основным из которых

является отсутствие необходимости ориентировать ВК на ветер. Однако минусы данных установок гораздо существеннее: необходим начальный момент страгивания (стартовое внешнее усилие для раскрутки ВК), невозможность использования ветрового потока верхних слоёв (до 100 м), сложный комплекс силовых проблем. Поэтому в мировой ветроэнергетике горизонтальноосевые ВЭУ башенного типа преобладают над вертикальноосевыми в соотношении 98:2. Для дальнейшего понимания работы ВЭУ необходимо рассмотреть два важных параметра, относящихся к конструкции ВК: коэффициент использования энергии ветрового потока C_p и быстроходность ВК λ .

Коэффициент использования энергии ветрового потока

Коэффициент использования энергии ветрового потока иногда называют критерием Жуковского-Бетца по имени двух учёных, которые теоретически обосновали его предельное (идеальное) значение 0,593. Коэффициент использования мощности часто ошибочно сравнивают с КПД ВК. Это сравнение является не корректным. Ветроколесо ВЭУ в отличие от, например, рабочего колеса гидротурбины находится, в общем случае, в свободном нестеснённом потоке, т. е. часть ветрового потока огибает ВК. В гидротурбине поток воды находится в стеснённом состоянии и вынужден проходить через гидротурбину в полном объёме. Поэтому, говоря о гидротурбине корректно говорить о КПД, а в случае ВК — коэффициенте использования энергии ветрового потока. Таким образом, введя понятие коэффициента использования энергии ветрового потока C_p , можно рассчитать мощность любого ВК по формуле:

$$N_{ВЭУ} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \cdot S \cdot C_p \quad (4.16)$$

где S – ометаемая площадь ВК (для горизонтальноосевых ВЭУ башенного типа $S = \pi R^2$).

Как уже отмечалось, максимальное значение C_p составляет 0,593 для идеального ВК. Для серийных современных ВЭУ согласно техническим паспортам фирм производителей максимальный C_p лежит в диапазоне 0,45...0,52. Для получения электрической мощности ВЭУ выражение (4.16) необходимо умножить на произведение механических (редуктор, подшипники и т. п.) и электрических (генератор, трансформатор и т. п.) КПД элементов силового тракта ВЭУ $\eta_{сум}$. Обычно для современных ВЭУ

суммарный КПД элементов можно принимать в диапазоне 0,90...0,95. Таким образом, окончательная формула выходной электрической мощности ВЭУ приобретает вид:

$$N_{ВЭУ} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \cdot S \cdot C_p \cdot \eta_{сум} \quad (4.17)$$

Быстроходность ВК

Быстроходность ВК λ определяется как:

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{V} \quad (4.18)$$

где ω — угловая скорость ВК; рад/с, R — радиус ВК, м; V — осреднённая скорость ветрового потока, м/с.

Быстроходность определяет количество пар полюсов генератора, т. е. его габариты и материалоемкость. Чем выше быстроходность ВК, тем меньше у генератора пар полюсов и, следовательно, тем меньше его размеры. Кроме того, с увеличением быстроходности ВК частота вырабатываемого электрического тока ближе к стандартной в энергосистеме (~50Гц). По сравнению с другими энергетическими установками ВЭУ являются тихоходными. Таким образом, даже для самых быстроходных ВК частота вращения генератора может быть недостаточной для получения вырабатываемого качественного по частоте тока. В современной практике проектирования ВЭУ частоту вырабатываемого тока увеличивают путём применения редукторов (коробки передач, повышающей частоту вращения вала генератора), а также применением многополюсных генераторов большого диаметра. Используют так же электрические схемы, повышающие частоту переменного тока. Однако все эти технические решения связаны с увеличением материалоемкости ВЭУ, поэтому быстроходность остаётся определяющим критерием для выбора типа ВЭУ.

Краткое описание элементов горизонтальноосевых ветроэлектрических установок башенного типа

Горизонтальноосевая ВЭУ башенного типа в общем случае состоит из:

ветроколеса (рис. 4.9, 1); гондолы (рис. 4.9, 2); башни (рис. 4.9, 3); фундамента (рис. 2.9, 4).

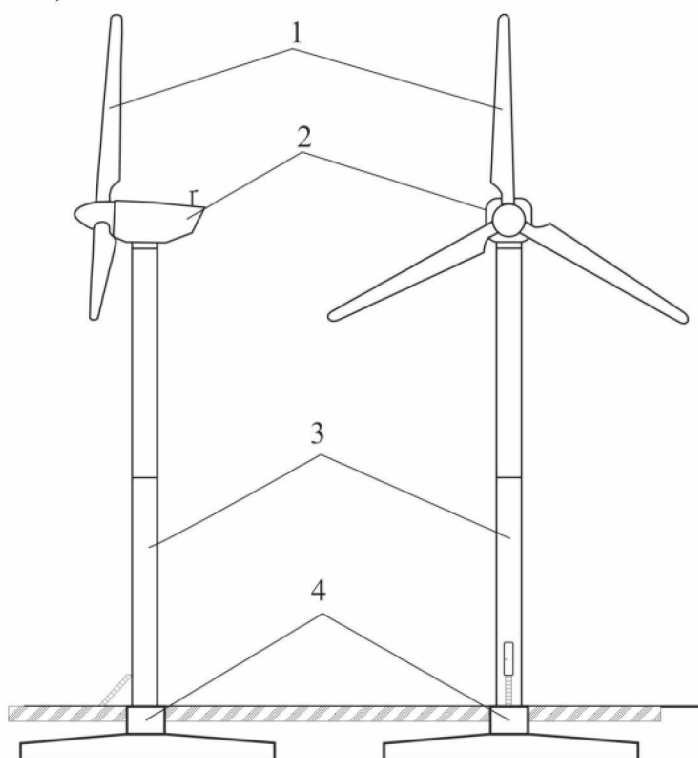


Рис. 4.9 Основные элементы горизонтальноосевой ВЭУ башенного типа

Ветроколесо имеет три лопасти, прикреплённые к ступице и для ВЭУ мегаваттного класса мощности имеет ось вращения, наклоненную к горизонту на небольшой угол. Наличие этого угла связано с тем, что при работе ВК лопасти под давлением ветрового потока имеют некий прогиб, увеличивающийся от ступицы ВК к концу лопасти. Прогиб конца лопасти способен достигать таких значений, что при отсутствии угла наклона оси ВК к горизонту может произойти столкновение конца лопасти ВК с башней ВЭУ. Чтобы этого избежать, создают наклон оси ВК к горизонту, который для большинства современных ВК лежит в диапазоне $3...6^{\circ}$. На рис. 4.10 видно какой изгиб могут иметь лопасти ВК при работе в рабочем диапазоне скоростей ветрового потока.

Компоновка гондолы ветроэлектрического агрегата

Гондола представляет собой капсулу, в которой располагается основное оборудование ветроэлектрического агрегата (ВЭА). По составу основного оборудования ВЭА можно классифицировать как:

- редукторные;
- безредукторные.



Рис. 4.10 Прогибы лопастей ВК ВЭУ

Редукторные ВЭА в свою очередь можно классифицировать как:

- с интегрированной силовой магистралью;
- с распределённой силовой магистралью.

Компоновка гондолы ВЭА с интегрированной силовой магистралью проиллюстрирована на рис. 4.11. Из рисунка видно, что редуктор, вал магистральной линии и подшипники магистральной линии объединены в моноблок. В последнее время на рынке ВЭУ мегаваттного класса мощности появились тенденции компоновать силовую магистраль в моноблок. Это связано с экономией габаритов гондолы ВЭА мегаваттного класса мощности, а также с желанием устранить главный вал, который сделан из очень дорогой стали методом штамповочного пресса. Как уже отмечалось, в такой компоновке все элементы крепятся к единой монолитной конструкции, обеспечивающей и крепление узлов, и транспорт механической энергии вращения от ВК к генератору. Корпус такого моноблока представлен на рис. 4.12.

Компоновка гондолы ВЭА с распределённой силовой магистралью представлена на рис. 4.13. Для такой компоновки характерно то, что вал магистральной линии и подшипник магистральной линии не объединены в

моноблок, а разнесены и прикреплены к несущей раме гондолы, которая поддерживает корпус подшипника, редуктор и генератор.

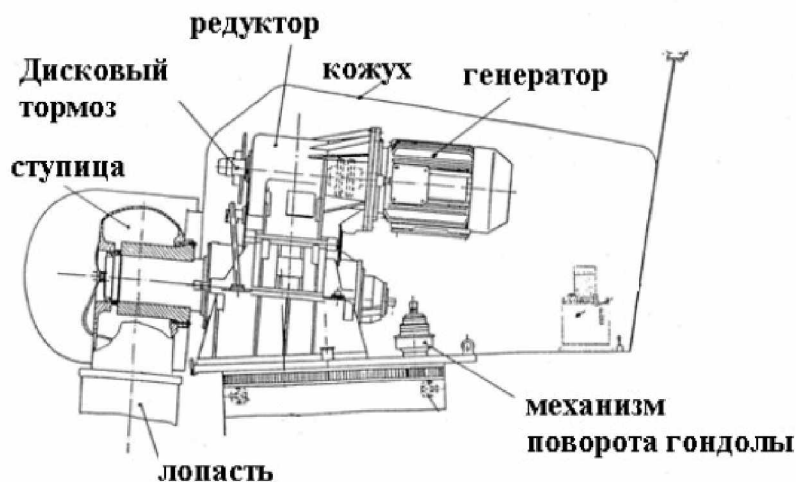


Рис. 4.11 Компоновка ВЭА с интегрированной силовой магистралью



Рис. 4.12 Каркас моноблока ВЭА

Гондола при изменении направления ветра поворачивается вокруг вертикальной оси, совпадающей с осью башни. Для безредукторных или ВЭА с прямым приводом характерно отсутствие редуктора, повышающего частоту вращения ВК. Особенностью генератора таких ВЭА является увеличенное по сравнению с редукторной схемой число пар полюсов генератора. Это приводит к заметному увеличению диаметра генератора и, как следствие, всей гондолы в целом. Поэтому современные безредукторные ВЭА легко узнаваемы, прежде всего, по характерным формам и габаритам гондолы (рис. 4.14).

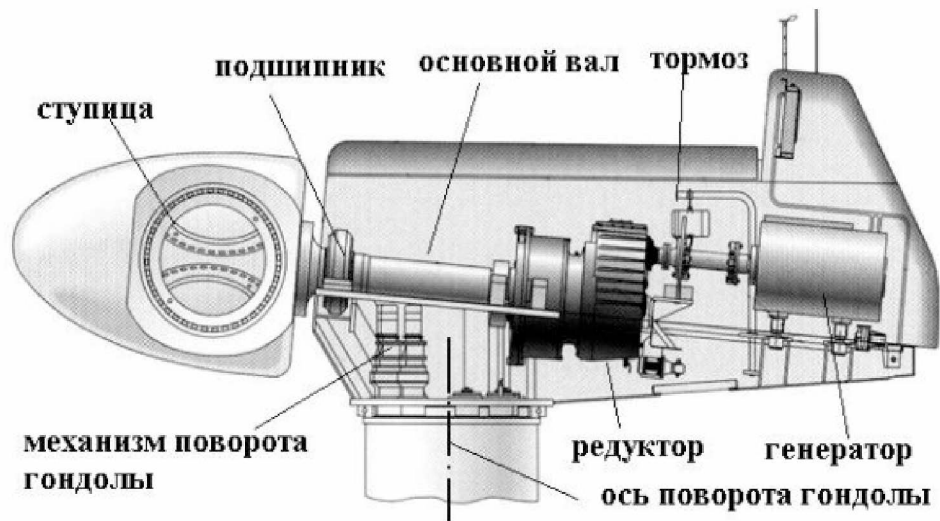


Рис. 4.13 Компоновка ВЭА с распределённой силовой магистралью



Рис. 4.14 Безредукторный ВЭА