



Соотношение основных параметров ВЭУ

Параметры ветроустановки связаны между собой несложными однозначными физическими зависимостями.

Даже тому, кто не планирует проектировать собственную ВЭУ, а собирается приобрести готовую, полезно ознакомиться с этой информацией. Она не поможет оценить конструктивное совершенство и качество изготовления предлагаемых машин, но позволит лучше оценить их потенциальные возможности, иногда выявить неправдивость (не всегда умышленную) заявленных характеристик.

Основные параметры ВЭУ:

Номинальная мощность $P_{ном}$ [Вт, кВт] - мощность, развиваемая ветроустановкой при расчетной скорости ветра;

Расчетная скорость ветра V_p [м/с] - см. определение номинальной мощности;

Диаметр ветротурбины D [м] - тут все ясно. Для экзотических типов ВЭУ другие размеры, исходя из которых вычисляется площадь ветроприемного устройства;

Выработка энергии за месяц W_m [кВт•ч] - величина, зависящая от средней скорости ветра;

Средняя мощность $P_{ср}$ [кВт] - мощность, при непрерывном поддержании которой, выработка энергии за месяц будет равна реальной.

Мощность ветроустановки равна $P_{ВЭУ} = \eta \cdot P_T$

η - коэффициент полезного действия генератора и трансмиссии (обычно равен 0.8 - 0.9);

P_T - мощность ветротурбины.

Мощность турбины составляет $P_T = \xi \cdot P_П$

ξ - коэффициент ветроиспользования. Принципиально отличается от КПД тем, что "недополученная" мощность, в основном, не является потерями, а остается в потоке. По разным теориям максимальное значение коэффициента ветроиспользования идеального устройства составляет 0.59 - 0.68. Это легко понять, представив крайнюю ситуацию, когда у потока отбирается 100% энергии. В таком случае поток должен полностью остановиться, что уже противоречит его наличию. Реальный коэффициент ветроиспользования хорошо спроектированной турбины составляет 0.4-0.55;

$P_П$ - мощность ветрового потока, проходящего через ометаемую ветротурбиной площадь.

$$P_П = \frac{\rho \cdot V^3}{2} S$$

Мощность потока вычисляется по формуле

ρ - плотность воздуха (стандартное значение 1.225 кг/м³);

V - скорость невозмущенного ветрового потока;

$S = \pi D^2/4$ - ометаемая площадь.

Этих зависимостей достаточно для согласования таких параметров ВЭУ как номинальная мощность, диаметр и расчетная скорость ветра. Но не менее важными являются ожидаемая выработка энергии и

средняя мощность ветроустановки. Достаточно точно эти величины можно вычислить, зная диаграмму распределения скоростей ветра за интересующий период. Для сравнения различных ВЭУ между собой можно обойтись и менее точным теоретическим расчетом.

При расчете месячной выработки энергии принимаются следующие допущения:

- мощность ветроустановки при скорости ветра ниже расчетной пропорциональна кубу скорости ветра $P = P_{НОМ} \cdot (V/V_P)^3$;
- мощность ветроустановки при скорости ветра выше расчетной равна номинальной (ограничивается системой управления или мощностью генератора);
- распределение скоростей ветра по времени подчиняется закону Гаусса

$$p = A \cdot e^{-\pi \cdot A^2 (V - V_0)^2}$$

V_0 - средняя скорость ветра;

A - параметр, зависящий от V_0 . В таблице приведены значения A , определенные М.М. Поморцевым на базе статистических данных.

V_0 , м/с	3	4	5	6
A	0.228	0.185	0.165	0.15

Таким образом, средняя мощность ветроустановки в зависимости от ее расчетной скорости и средней скорости ветра составит:

$$P_{CP} = \int_0^{\infty} P_{НОМ} \left(\frac{V}{V_P} \right)^3 A \cdot e^{-\pi \cdot A^2 (V - V_0)^2} dV$$

Соответственно, выработка энергии за месяц будет равна: $W_M = P_{CP} \cdot 30 \cdot 24$

Рассмотрим основные параметры ВЭУ:

Выработка энергии за месяц, год - это основной параметр ветроустановки, который должен быть согласован с известной или проектной энергией, потребляемой нагрузками за тот же промежуток времени. К сожалению, достаточно часто этот параметр подается как второстепенный или даже не указывается. Он зависит от средней скорости ветра в месте работы ветроустановки, размера ВЭУ (ометаемой площади, диаметра ветротурбины) и конструктивного совершенства ВЭУ.

Размер ВЭУ - обычно указывается диаметр ветротурбины. Ометаемая площадь ветротурбины пропорциональна квадрату ее диаметра, а номинальная мощность и выработка энергии ветроустановкой пропорциональна площади ветроприемного устройства. Таким образом, если диаметры ветроустановок различаются, например в 1.5 раза, их энергетические возможности различаются в $1.5 \times 1.5 = 2.25$ раза.

Номинальная мощность - мощность развиваемая ветроустановкой при выбранной расчетной скорости. Этот параметр часто ошибочно принимается основным при выборе и сравнении различных ВЭУ между собой. На самом деле он не настолько важен, так как, практически никогда нагрузка не подключается к ВЭУ напрямую. Важна мощность преобразователя, который берет энергию от ВЭУ и аккумуляторной батареи. Реальная мощность ВЭУ не равна номинальной, а изменяется в зависимости от текущей скорости ветра. Номинальная мощность ветроустановки пропорциональна квадрату диаметра ветротурбины и **кубу** выбранной расчетной скорости. Таким образом, сравнивать ВЭУ по номинальной мощности корректно только при равных расчетных скоростях ветра, а еще лучше сравнивать их по диаметру и выработке энергии. Ведь установка с заявленной мощностью 1 кВт при расчетной скорости 12 м/с даст максимум 0.4 кВт при 9 м/с, хотя, на первый взгляд может показаться более выгодной чем ВЭУ 0.5 кВт при 9 м/с. Особенно при приблизительно равной цене.

Расчетная скорость ветра - (см. выше) скорость ветра, при которой ветроустановка достигает номинальной мощности. Обычно при превышении расчетной скорости ветра начинает работать система регулирования, которая ограничивает дальнейший рост оборотов и мощности.

Стартовая скорость ветра - скорость ветра при которой ветроустановка начинает вращаться и заряжать аккумуляторы. Обычно находится в диапазоне 2.5-3.5 м/с. Может быть выше машин с узкими жестко установленными лопастями. Завышенная стартовая скорость приводит к снижению суммарной выработки энергии из-за частых простоев.

Максимальная эксплуатационная скорость ветра - скорость ветра, которая может привести к разрушению не остановленной ветроустановки. Для стационарной ветроустановки должна быть не менее 45-50 м/с. Иначе ее эксплуатация становится достаточно опасной.

Способ регулирования - мощность потока пропорциональна кубу скорости ветра. Например, если мощность потока проходящего через турбину киловаттной ВЭУ при расчетной скорости ветра 9 м/с равна,

приблизительно 2.5 кВт, то, при скорости 45 м/с его мощность составит $2.5 \times 5 \times 5 \times 5 = 312$ кВт. Поэтому регулирование ветротурбины является очень важной и непростой задачей. Существуют ветроустановки без регулирования. Это, в основном, очень небольшие машины диаметром до 1.5 - 2 м. Более крупные нерегулируемые машины ради простоты конструкции жертвуют своей надежностью и/или эффективностью. Наиболее эффективный способ регулирования - изменение угла установки лопастей (шага турбины). В этом можно убедиться рассмотрев способ регулирования всех больших ВЭУ, используемых для промышленной выработки энергии. Компромиссным вариантом являются системы с выводом ветротурбины из под ветра. Они проще реализуются, но имеют и ряд существенных недостатков.

Высота мачты - часто для снижения общей стоимости комплекта ВЭУ предлагаются очень низкие мачты. Такая экономия может оказаться слишком дорогой, так как скорость и равномерность ветрового потока сильно зависит от высоты. В среднем, если принять скорость потока на высоте 10 м за 1, то на других высотах его скорость составит (5м - 0.87; 10м - 1; 15м - 1.08; 20м - 1.15; 25 - 1.20). А если учесть кубическую зависимость, то энергетика распределится (5м - 0.66; 10м - 1; 15м - 1.28; 20м - 1.52; 25 - 1.73). Таким образом ода и та же ветроустановка на мачте 20 м по сравнению с 5 м даст энергии в $1.52/0.66 = 2.3$ раза больше. Кроме того, ветроустановка на более высокой мачте создает меньше шума.

Привод генератора - практически все ветроустановки сейчас имеют прямой привод генератора. Но встречаются и ветроустановки с мультипликатором. Они принципиально не могут иметь хорошего ресурса. Для сравнения можно пересчитать ресурс автомобильной коробки передач из пробега в часы. Исключение составляют лишь ряд больших ветроустановок, на которых производится регулярное техобслуживание с полной заменой масла не реже 1 раза в месяц.

Схема ветроустановки - существует огромное количество вариантов реализации нескольких принципиальных схем ВЭУ. Но эффективнее классической трехлопастной ВЭУ с горизонтальной осью и прямым приводом генератора ничего нет и не будет. Тема сложная и большая. В качестве простого аргумента можно привести те же большие реально работающие ветроустановки.