

УДК 621.311.24

Развитие ветроэнергетических установок мегаваттного класса

Лукуть А.С.

Научный руководитель Лосюк Ю.А. к.т.н, доцент

В ветроэнергетике последние двадцать лет прослеживается устойчивая тенденция роста единичной мощности ветроагрегатов. Это объясняется несколькими причинами. Эксплуатация десятков тысяч (около 70) установок в мире позволила сделать вывод, что с увеличением масштабов ветродвигателей сокращаются капитальные затраты, т.е. стоимость 1кВт установленной мощности. Большие агрегаты отличаются повышенной удельной выработкой электроэнергии, выраженной в кВт·ч на м² площади ометаемой поверхности (площади условного круга, описываемого вращающимися лопастями). Отсюда появляется возможность замены ранее установленных маломощных ветродвигателей на современные, мощность которых достигает 1000 – 6000 кВт. А в проекте предусматривается даже увеличение мощности установки с горизонтальной осью вращения до 7500 кВт с ветроколесом диаметром до 150м.

Подобная тенденция хорошо подтверждается практикой немецкой ветроэнергетики. Так, в Германии в 1990-х годах XX века средняя мощность установленных ветроагрегатов составляла 300 кВт. К 2000г. она выросла до 600 кВт. В 2005-2006г. немецкие компании предпочитают устанавливать машины, превышающие по мощности 2-3 МВт [1]. Естественно, количество установленных агрегатов на тех же площадях сокращается приблизительно на одну треть. Отработавшие 10-15 лет ветроустановки не выбрасываются, а снимаются с фундаментов и продаются в другие страны, например, в Индию, Китай, Испанию, где могут еще работать в течение 10-15 лет.

Увеличение удельной выработки машинами мегаваттного класса объясняется с точки зрения аэродинамики. Мощность ветроагрегата описывается следующим уравнением:

$$P = C_p \frac{\pi V^3 R^2}{2}, \text{ Вт,}$$

где C_p – коэффициент мощности; V – скорость набегающего потока, м/с; R – радиус ветроколеса, м.

Понятно, что при одном и том же продольном профиле лопасти выработка электроэнергии зависит от длины лопасти.

Важнейшим фактором эффективной работы ветроагрегата является скорость потока в месте установки машины. По метеорологическим данным, скорость ветра возрастает с увеличением высоты по закону:

$$V = V_1 \left(\frac{H}{H_1} \right)^{0,14}, \text{ м/с,}$$

где V_1 – скорость потока на высоте $H_1=10$ м; H – высота оси ветроагрегата от поверхности земли, м.

Для установок мегаваттного класса соотношение между диаметром ветроколеса D и высотой его установки H выражается следующим образом [2]:

$$D \approx H.$$

Иначе говоря, большие ветроколеса будут работать в скоростном воздушном потоке. В обычной практике установки мегаваттного класса размещаются на стальных или комбинированных (сталь – железобетон) башнях высотой 90 – 100 м. Немецкие фирмы предлагают выпускать башни более высокие – до 140 – 160 м. Это позволит увеличить выработку электроэнергии приблизительно на 45% [3].

Американские исследователи [4] изготовили экспериментальную облегченную башню с применением композиционных материалов высотой в 180 м.

Естественно, подобные многотонные конструкции потребовали создавать усиленные фундаменты. Так, например, для установки фирмы Enercon E 112 фундамент имеет размеры: диаметр 20 м и высоту 15 м. Его объем превышает 1000 м³. Для изготовления стальной башни используется листовая сталь толщиной 50 мм, которая изгибается в трубу на специальных мощных станах.

Современные авиационные технологии и материалы применяются при изготовлении лопастей ветроколес. Длина лопастей установок мегаваттного класса изменяется от 30 до 61 м, а их масса колеблется от 8 до 20 т.

Так, например, ветроагрегат фирмы Siemens Wind Power мощностью 2,3 МВт имеет лопасти длиной 45 м и массой 12 т.

ВЭУ Multibrid M5000 (P = 5000 кВт) оснащена лопастями длиной 56,5 м и массой 16,5 т [5]. При длине 52 м лопасти ВЭУ Enercon E 112 (P = 4500 кВт) имеют массу 20 т. Основным материалом для изготовления лопастей служит композит. Это может быть сочетание высокопрочных полимерных волокон (волоконный полиуретан), стекловолокна или стеклоткани, углеродных волокон с эпоксидной смолой и полиэфирными смолами. После послойной укладки волокон или тканей и нанесения скрепляющей эпоксидной смолы производится вакуумирование изделия. Тем самым удаляются мелкие воздушные пузырьки, которые ослабляют конструкцию.

В качестве мультипликатора в трансмиссии, синхронизирующего малую скорость вращения ветроколеса 7 – 10 об/мин и большую скорость вращения якоря генератора, применяются обычные многоступенчатые, массивные передаточные механизмы, с коэффициентами передачи 30 – 150. Но некоторые фирмы в мощных ветроустановках стали использовать двух- и трехступенчатые планетарные передачи. По утверждению разработчиков, в таких передачах снижаются на 30% нагрузки, что обеспечивает более длительную работу ответственных механизмов [6].

Некоторые фирмы, например, Vensys Energy AG (Германия) вообще отказались от встраивания мультипликатора в трансмиссию. Это позволило серьезно облегчить поворотную часть ветроагрегата [7]. Взамен был разработан многополюсный тихоходный электрогенератор с постоянными магнитами до 48 штук. Это новшество позволило поддерживать стабильной требуемую частоту тока. Финские разработчики (фирма Kone-Sampol) для условий порывистого ветра создали гидropередачу, в которой циркулирует масло под высоким давлением для передачи крутящего момента на электрогенератор.

В условиях переменного по скорости и направлению потока воздуха необходимо поддерживать оптимальное положение поворотной части ветроагрегата – вектор скорости потока должен быть направлен по нормали к плоскости вращения ветроколеса.

Для малых и средних по мощности машин такое положение сохраняется с помощью обычного хвоста (флюгера) либо с применением виндроз. Виндроза представляет собой два небольших ветроагрегата, которые располагаются симметрично по бокам корпуса поворотной части. Когда один из поворотных ветроагрегатов затеняется корпусом поворотной части при боковом ветре, то возникает крутящий момент, который разворачивает всю поворотную часть до тех пор, пока оба

ветродвигателя виндрозы не оказываются в одинаковом положении по отношению к набегающему потоку.

Крупные машины мегаваттного класса, имеющие поворотные части массой в 350 – 500 т, оборудуются иной системой настройки на поток. В систему входят датчик скорости и направления ветра – анемоскоп, а также исполнительный механизм – отдельный электропривод, соединенный с шестерней. При возникновении импульса на анемоскопе он передается электродвигателю. Последний включается, и шестерня начинает обегать зубчатый венец, закрепленный в верхней части башни – опоры. Поворот многотонной гондолы продолжается до остановки в оптимальном по отношению к направлению ветра положении.

И наконец, регулировка мощности ветроагрегата. Ветроустановки первых поколений выполнялись с фиксированным положением лопастей. При этом не использовались малые, превышающие номинальную (расчетную) скорости потока.

Современные ветроагрегаты лишены этого недостатка, поэтому используют более широкий диапазон скоростей ветра.

Для этого предусмотрены 2 пути регулирования мощности: путем изменения шага лопастей и при аэродинамическом срыве потока.

По первому варианту лопасть поворачивается, чтобы изменить угол атаки, т.е. угол между направлением потока и хордой – линией в сечении лопасти, соединяющей наиболее удаленные точки сечения.

Ветродвигатели мегаваттного класса оборудуются для этих целей либо рычажным механизмом с гидроприводом, либо шестеренчатым механизмом на каждой лопасти с индивидуальным электроприводом. Работа поворотных механизмов всех лопастей синхронизируется.

Аэродинамическое регулирование мощности достигается постепенным уменьшением площади поперечного сечения лопасти по длине и одновременным относительным закручиванием сечений по спирали. При различной относительной скорости движения сечений лопасти, связанной с расстоянием от корневого сечения, в каждом из них возникает своя подъемная сила из-за различных условий срыва потока. В условиях номинальной скорости вся лопасть работает эффективно. С повышением скорости потока выше расчетной, часть лопасти начинает работать со срывом потока, что уменьшает подъемную силу лопасти, и, следовательно, мощность ветроагрегата.

Литература

1. A2 SEA errichtet Thanet Offshore. Wind Kraft J. and Natur Energien. 2007.27, №5, с.61. Нем.
2. A plan for action in Europe: Wind energy-the facts. European Commission. 1999.
3. Iken J. Sonne Wind and Warne. 2007.31, №1, с.96,98. Нем.
4. Lightweight composite material could triple wind tower height. Power Eng. 2002.106, №8, с.15. Англ.
5. Up, up and away. Eige de Vries. Renewable Energy World. 2005. July-August.
6. Siemens Wind Power A/S. Wind Kraft J. and Natur Energien. 2005, Прил., с.36-39. Парал. нем., англ.
7. Wind innovation-the ingenious is always simple. De Vries E. Renewable Energy World. 2007.10, №6, с.68,70,72,74-75. Англ.