

2 Ветро двигатели

2.1 Оценка энергии ветра, снимаемой с единицы площади территории

Физические процессы, протекающие при работе ветродвигателей, описываются уравнениями механики сплошной среды и характеризуются плотностью воздуха ρ , скоростью ветра v , коэффициентом отбора мощности ветра ξ и s - сечением воздушного потока, ометающего лопасти ветротурбины [1].

Воздушный поток, двигаясь вдоль поверхности Земли, испытывает трение. Мощность турбулентного трения, отнесенная к единице площади грунта Земли, определяется формулой

$$N_T = k_T \rho \frac{v^3}{2}, \quad (2.1)$$

где k_T - коэффициент трения; ρ - плотность воздуха; v - скорость ветра.

Если выражение (2.1) проинтегрировать по всей поверхности Земли, то получаемая мощность турбулентного трения воздушного потока о грунт Земли N_i будет порядка $0,5 \cdot 10^{12}$ кВт. (Для сравнения отметим, что мощность солнечного излучения, поглощаемого земной поверхностью, $\cong 10^{14}$ кВт). Для потребностей мировой цивилизации достаточно иметь мощность $(1 \div 2) \cdot 10^{12} \cong N_i$.

При сильном изменении шероховатости грунта Земли величина k_T изменяется в относительно малых пределах ($k_T = 0,01 \div 0,03$). Если территория покрыта травой или мелким кустарником, то при ветре со скоростью 10 м/с мощность турбулентного трения N_T на площади в 1 км² достигает 5000 кВт. Расположив на этой территории ветродвигатели, с учетом кубической зависимости мощности от скорости ветра, ветротормозящей силой грунта Земли можно практически пренебречь. Функции съема мощности приземного ветра будут выполнять турбины ветродвигателей, которыми больше половины энергии ветра будет преобразовано в работу вращения валов. Распределение скоростей ветра в атмосфере изменится только незначительно, поскольку воздушный поток будет тормозиться парком ветродвигателей.

Выражение (2.1) удобно использовать для оценки максимально возможного использования энергии воздушного потока при трении его о земную поверхность. Учитывая слабую зависимость k_T от шероховатости, становится очевидной нецелесообразность сооружения дорогостоя-

ящих опорных башен для подъема ветротурбин вверх, так как максимально возможная мощность при этом не увеличится.

Если на территории установить парк ветродвигателей или заполнить ее кустарником, то мощность торможения воздушного потока будет такой же, как при расположении на этой территории крупных ветродвигателей или леса. При плотном размещении ветродвигателей высота опоры ветротурбины не будет влиять на величину суммарной мощности ветротурбин.

Предположение о плотном расположении ветродвигателей ветропарка удобно использовать только как мысленный эксперимент для понижения оценки максимально возможной мощности ветропарка. Экономически оправдан поиск участков с повышенной скоростью приземного ветра и монтирование на них ветродвигателей.

Установив соосно первому ветродвигателю второй, вращающийся в обратном направлении, энергию вращения воздушного потока можно утилизировать, превращая ее во вращательную энергию вала ветродвигателя. Такое попарное расположение ветродвигателей предоставляет свободу выбора угла атаки лопастей первого ветродвигателя, выполняющего функции направляющей решетки.

Многолопастные ветродвигатели обладают большим крутящим моментом при запуске. Такой же крутящий момент $M_{кр}$, или секундный момент импульса, прикладывается к воздушной массе, проходящей через ветротурбину. При этом потери мощности воздушного потока $N_{п}$, обусловленные действием силы F , создающей крутящий момент $M_{кр}$,

составят $N_{п} = \frac{F^2}{2J}$, где J - секундный момент инерции воздушной

массы, проходящей через ветротурбину.

2.2 Выбор варианта конструкции ветродвигателя

Главным критерием, определяющим целесообразность применения какого-либо ветроэнергетического проекта, как источника энергии, является трудоемкость производства 1кВт·ч энергии. Величина трудоемкости определяется всем комплексом затрат на НИР, производство, транспортировку, монтаж и эксплуатацию ветроустановки, а также стоимостью земельного участка на котором устанавливается ветродвигатель.

Выбор оптимального варианта конструкции ветродвигателя $B_{опт}$ сводится к поиску оптимума функции многих переменных $B_{опт} = f(x_1, \dots, x_n)$ и достигается при минимальных трудозатратах

Т, т.е. $B_{\text{опт}} \cong \frac{F^2}{2J}$ при получении 1кВт-ч механической работы.

Нахождение $B_{\text{опт}}$ осуществляется сравнением двух значений функции B при изменении только одной независимой переменной x_i . При этой операции сравнения остальные независимые функции остаются постоянными.

Операция сравнения сводится к нахождению значений функции B на концах отрезка независимой переменной x_i , где с каждым шагом значение B поднимается на ΔB , и последовательному сравнению множества подвариантов

$$\Delta B = B(x_i + \Delta x_i) - B(x_i).$$

На каждом шаге сравниваются два подварианта, при изменении одной из независимых переменных x_i , на величину Δx_i . Все шаги сравнения, в основном, осуществляются путем теоретического анализа двух различных конструкций в точках x_i и $(x_i + \Delta x_i)$. Основными независимыми переменными (x_1, \dots, x_m) могут быть дискретные, непрерывные величины и качественные признаки. Например, число лопастей ветротурбин x_1 , коэффициент быстроходности ветротурбин (x_2, \dots, x_{2m}) : консольность или безконсольность конструкции (x_3, \dots, x_{3m}) , материал изготовления (x_4, \dots, x_{4m}) , ветродвигатель в стационарном или переносном исполнении (x_5, \dots, x_{5m}) , способы крепления ветродвигателя к грунту (x_6, \dots, x_{6m}) .

При определении $B_{\text{опт}}$ нужно иметь в виду, что выбранный оптимум может быть относительным, поскольку значительное изменение одной из независимых переменных может привести к попаданию в другую область значения функции B , где будет свой независимый оптимум с другими значениями функции B .