

УДК 620.9

## О методических основах оценки экономической эффективности сооружения ветроэнергоустановок

Соболь А.Ю.

Научный руководитель Падалко Л.П., д.э.н., профессор

Оценка экономической эффективности строительства ветроэнергетической установки (ВЭУ) должна учитывать комплекс влияющих факторов. Основными из них являются три: вид используемого оборудования, скорость ветра на оцениваемой местности и то, в чьем ведомственном подчинении будет находиться установка.

Исходя из ведомственной принадлежности планирующейся ВЭУ можно определить, какой экономический эффект будет нести ее строительство. Если установка строится на средства энергосистемы и впоследствии входит в ее состав, то такая ВЭУ даст возможность сэкономить топливо, используемое в энергосистеме. Подключенный в сеть распределения, ветроагрегат будет замещать электроэнергию, выработанную на станциях энергосистемы. Однако, ввиду непостоянства потоков ветра, ВЭУ не может учитываться в балансе электрической мощности, т.е. введение такой установки может быть рассмотрено только как энергосберегающее мероприятие. Годовую экономию можно определить по следующей формуле:

$$C_{\text{эк}} = \frac{b_{\text{ээ}} \times \mathcal{E}_{\text{отп}} \times \Pi_m \times k_y}{N_y \times h_y} \quad (1)$$

где  $b_{\text{ээ}}$  – удельные затраты топлива на выработку 1 кВт•ч электрической энергии;  $\Pi_m$  – цена топлива;  $\mathcal{E}_{\text{отп}}$  – годовой размер отпуска электроэнергии потребителям от ВЭУ;  $k_y$  – коэффициент, учитывающий потери энергии в сетях;  $N_y$  – установленная мощность ВЭУ;  $h_y$  – число часов использования установленной мощности.

Вторым вариантом при возведении ветроэнергетической установки является ее строительство неподведомственным энергосистеме юридическим лицом. Т.е. ВЭУ устанавливает предприятие-потребитель, а значит экономический эффект будет заключаться в замещении приобретаемой у энергосистемы электроэнергии. В данном случае нужно оценить соотношение стоимости приобретаемой энергии и себестоимости ее производства на ВЭУ. Однако при оценке эффективности возведения установки существенное влияние оказывает принадлежность предприятия к потребителям, платящим по одноставочному тарифу, либо к двухставочным потребителям. Разница заключается в том, что для двухставочного потребителя электроэнергия от ВЭУ замещает плату только по дополнительной ставке – меньшей составляющей тарифа. Это опять же связано с вероятностной выработкой энергии на ветроэнергетических установках, из-за которой предприятие не сможет полностью отказаться от связи с энергосистемой. Так как величина одноставочного тарифа выше дополнительной ставки двухставочного, сооружение ВЭУ выгоднее для одноставочных потребителей, чем для двухставочных. А если учесть, что в составе тарифа на электроэнергию топливная составляющая не единственная (т.е. тариф будет больше топливной составляющей), то можно также сделать вывод о том, что сооружение ветроэнергоустановки предприятием-потребителем будет более экономически эффективно, чем сооружение ее в составе энергосистемы. Себестоимость произведенной на ВЭУ электроэнергии можно рассчитать следующим образом:

$$C_{\text{ээ}}^{\text{ВЭУ}} = \frac{(P_{\text{ам}} + P_{\text{обс}}) \times k_y \times N_y}{h_y \times N_y} = \frac{(P_{\text{ам}} + P_{\text{обс}}) \times k_y}{h_y} \quad (2)$$

где  $P_{\text{ам}}$  и  $P_{\text{обс}}$  – отчисления на амортизацию и обслуживание;  $k_y$  – удельные капиталовложения в ВЭУ.

Третьим вариантом установки ВЭУ является ее сооружение независимым инвестором. В этом случае установка сооружается для получения прибыли от продажи в энергосистему выработанной энергии. Нужно отметить, что экономическая эффективность сооружения ВЭУ зависит, в данном случае, от тарифа, по которому энергосистема будет скупать выработанную установкой электроэнергию. Формула для расчета себестоимости произведенной электроэнергии останется такой же, как в предыдущем примере. А выручку от реализации выработанной электроэнергии в энергосистему будет выглядеть следующим образом:

$$P_{\text{вэ}}^{\text{сис}} = T_{\text{вэ}}^{\text{сис}} \times h_y \times N_y \quad (3)$$

где  $T_{\text{вэ}}^{\text{сис}}$  – тариф, по которому энергосистема приобретает у независимого производителя электроэнергию.

Также на эффективность ВЭУ существенное влияние оказывает выбор площадки. Главным критерием при выборе является среднегодовая скорость ветра. Номинальная мощность агрегатов рассчитана для определенных условий, например, 10-13 м/с для немецких и многих других ветроустановок. Реальные среднегодовые скорости ветра могут быть ниже номинальных значений, что скажется на рабочей мощности ВЭУ. Рабочая мощность ветроагрегатов снижается пропорционально третьей степени снижения скорости ветра. Для выявленных в Беларуси площадок среднегодовые скорости ветра составляют 5,5-6 м/с. Т.е. для этих площадок рабочая мощность будет в 8 раз меньше номинальной. Однако с ростом скорости ветра мощность растет только до определенного предела, после которого идет на спад. График зависимости рабочей мощности ВЭУ от скорости ветра представлен на рисунке 1. Показатели скорости ветра изменяются также и в зависимости от высоты измерения. Для нижнего пятисотметрового слоя атмосферы эту зависимость можно выразить следующими формулами:

$$\text{для июля-марта} \quad \frac{V_H}{V_h} = 1 + 4,2 \times \left[ 1 - \left( \frac{H}{h} \right)^{-0,23} \right]; \quad (4)$$

$$\text{для апреля-июня} \quad \frac{V_H}{V_h} = 1 + 2,46 \times \left[ 1 - \left( \frac{H}{h} \right)^{-0,41} \right]. \quad (5)$$

Если принять скорость у земли на высоте 10 м ( $h=10\text{м}$ ) равной 4 м/с, то получим следующие значения для высоты 50 м и 100м ( $H_1=50\text{м}$ ,  $H_2=100\text{м}$ ):

для июля-марта  $V_{H_1} = 9,2 \text{ м/с}$   $V_{H_2} = 10,9 \text{ м/с}$

для апреля-июня  $V_{H_1} = 8,8 \text{ м/с}$   $V_{H_2} = 10 \text{ м/с}$

Получается, что на высоте 50-100 м скорость ветра увеличивается более чем в два раза. Из вышеприведенных расчетов можно сделать вывод о том, что с увеличением высоты ветроагрегата, можно повысить его рабочую мощность. Следовательно, ВЭУ с высотой мачты 50-100 м можно устанавливать на площадках с более низкими фоновыми скоростями ветра, измеренными на высоте 10 м. Такие установки смогут выйти на номинальные показатели мощности.

С увеличением высоты мачты вырастут капитальные затраты. Значит для определения оптимальной высоты установки нужно найти баланс между ростом капитальных затрат и увеличением прибыли в результате повышения рабочей мощности ветроагрегата. Если выделить из капитальных вложений затраты, приходящиеся на строительство 1 м мачты установки, то формула себестоимости энергии ВЭУ примет следующий вид:

$$C_{\text{вэ}}^{\text{ВЭУ}} = \frac{(P_{\text{ам}} + P_{\text{обс}}) \times (k_y \times [D_{\text{ост}} + d_{\text{мачта}} \times H] \times N_y)}{N_{\text{раб}} \times h_{\text{год}}} \quad (6)$$



Рисунок 1. Зависимость рабочей мощности ВЭУ от скорости ветра

$$C_{\text{вэу}}^{\text{вэу}} = \frac{(P_{\text{ам}} + P_{\text{обс}}) \times (k_y \times [D_{\text{ост}} + d_{\text{мачта}} \times H] \times N_y)}{N_y \times \left(\frac{V_H}{V_y}\right)^3 \times h_{\text{год}}} \quad (7)$$

где  $D_{\text{мачта}} = d_{\text{мачта}} \times H = 1 - D_{\text{ост}}$ ;  $d_{\text{мачта}}$  – доля от капитальных затрат, приходящаяся на строительство мачты, в расчете на 1 м;  $H$  – высота мачты;  $D_{\text{мачта}}$  – доля от капитальных затрат, приходящаяся на строительство мачты;  $D_{\text{ост}}$  – доля от капитальных затрат, приходящаяся на остальную часть установки ветроагрегата (без затрат на строительство мачты);  $V_y$  – скорость ветра, при которой достигаются номинальные параметры мощности;  $V_H$  – скорость ветра на высоте  $H$ ;  $h_{\text{год}}$  – число часов в году;  $N_y$  – рабочая мощность.

Расчеты показывают, что в условиях Беларуси, особенно с учетом современных цен на углеводородное топливо, строительство ветроэнергетических установок при правильной разработке проекта экономически целесообразно.

#### Литература

1. Падалко Л.П., Ми Цзянь Фэн. Экономическая эффективность развития распределенной генерации энергии на базе ветроэлектрогенерирующих установок. Энергетическая стратегия, № 2. 2008
2. Шефтер Я. И., Рождественский И. В. Изобретателю о ветродвигателях и ветроустановках. Издательство Министерства сельского хозяйства СССР. Москва, 1987г.