

## РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 65.004.18:620.97

### ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

*Леонов В.Е.,*

*Херсонский государственный морской институт*

**Введение.** Современная ветроэнергетика является одной из наиболее развитых и перспективных областей нетрадиционной энергетики. В Программе ООН развития мировой энергетики, в частности, подчеркивается, что в XXI веке развитыми будут те страны, где интенсивно развивается ветроэнергетика. Согласно оценкам Всемирного энергетического совета по "минимальному" и "максимальному" вариантам развития нетрадиционной энергетики, вклад ветроэнергетики в общее производство энергии в мире на 2020 год будет составлять 122 и 307 млн. т.у.т., соответственно. Суммарная установленная мощность ветроэлектростанций (ВЭС) в мире в 2003 г. составляла 40301 МВт. Мощность ВЭС в европейских странах на конец 2003 г. составляла 26800 МВт, причем только за 2003 г. мощность ВЭС в мире выросла на 8344 МВт, а в Европе – на 5071 МВт [1].

**Актуальность проблемы.** Прогнозируется, что до 2010 г. мощность ВЭС в Европе возрастет до 75 тыс. МВт. Таким образом, работа ВЭС обеспечит выполнение 1/3 обязательств Евросоюза по Киотскому протоколу относительно ограничений выбросов компонентов парниковых газов, причем около 60% ВЭС будут построены в Германии и Испании. В 2030 году Дания планирует покрывать за счет ветроэнергетики до 50 % нужд в электроэнергии, США – до 25 % [2].

Стоимость электроэнергии, произведенной ВЭС в США, за последние 20 лет снизилась с 30 цент/кВт·час до 4 цент/кВт·час, в то время, как стоимость электроэнергии, произведенной на традиционных электростанциях, имеет тенденцию к росту.

**Основная часть.** Украинский энергетический комплекс очень энергорасходный. Наибольшие расходы энергии происходят при производстве электроэнергии, а также тепла. Особенно огромный перерасход энергии имеет место при производстве тепла на конденсационных электростанциях, где используется только 30 % тепла, остальное выбрасывается в окружающую среду. По мнению Министерства энергетики США, в странах Восточной Европы и СНГ через, нерациональное потребление энергии в быту и огромном количестве устаревших, энергоемких производств потребление энергии в семь раз превышает среднестатистическую норму

стран Западной Европы, Канады и Соединенных Штатов. В Украине эта норма превышает в 8-10 раз [3].

Украинская экономика энергоемкая, а показатель обеспеченности нашего государства собственными энергоресурсами составляет 29,3 % от необходимого уровня потребления. За счет собственной добычи потребности украинской экономики в углеводородах обеспечиваются лишь частично: в природном газе – на 24 %, в нефти – на 12 %. Более того, в последнее десятилетие в отечественном топливно-энергетическом комплексе (ТЭК) отмечается стойкая тенденция к падению базовых показателей, он не удовлетворяет нужд Украины в топливе и энергии. Следующие 20 лет наша экономика будет оставаться энергодефицитной, что требует ежегодного импорта топливно-энергетических ресурсов в объемах 110-140 млн. т. условного топлива. Имеет место зависимость отечественного ТЭК от снабжения энергоносителей из Российской Федерации (около 60 % объемов украинского импорта из России).

В 2007 году доля ВЭС в общем объеме производства электроэнергии составила 0,2 % или 12,0 млн. кВт·час (рис. 1).

Поскольку в условиях Украины наблюдается тенденция к ориентации тепловой энергетики на использование в качестве основного топлива каменного угля, то выполнение расчетов для выбора варианта развития энергетических предприятий Херсонской области должны учитывать это обстоятельство. Тем не менее, использование угля предусматривает одновременное применение (для разжигания) природного газа и мазута. Поэтому, в расчетах структура используемого топлива будет браться такой, которой она является в среднем на тепловых электростанциях ОАО "Херсонблэнерго": 77 % – уголь; 20 % – природный газ; 3 % – мазут [4, 5].

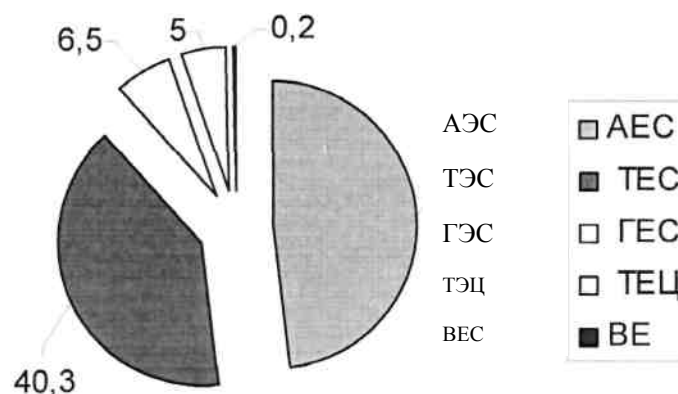


Рисунок 1. Структура производства электроэнергии в Украине

Годовой объем производства электроэнергии блоком ТЭС мощностью 640 кВт при 6800 ч использования установленной мощности будет составлять 4352000 кВт·час. Учитывая, что 4,7 % этой электроэнергии будет использовано на собственные нужды [6], отпуск электроэнергии с ТЭС будет равным 4147456 кВт·час ( $4352000 \times 0,953$ ).

Для получения 4352000 кВт·час электроэнергии (при нормативном расходе на 1 кВт·час 384,7 г условного топлива [6]) должно быть сожжено 1674 т условного топлива. При этом, уголь, мазут и природный газ характеризуются такими коэффициентами относительно перерасчета их на условное топливо [6]:

- уголь – 1,53 т/т.у.т.;
- мазут – 0,72 т/т.у.т.;
- природный газ – 843 м<sup>3</sup>/т.у.т.

Следующей важной составной себестоимости производства электроэнергии, которая имеет разные значения при традиционном и модифицированном расчетах, является экологическая составная. Очевидно, чтобы осуществить ее количественную экономическую оценку, необходима информация об эмиссии токсичных компонентов в отработанных газах в зависимости от вида сжигаемого топлива (табл. 1).

Таблица 1. Эмиссия токсичных компонентов при работе ТЭС на разных видах топлива (г/кВт·час) [7]

| Вредные выбросы      | Виды топлива   |       |               |
|----------------------|----------------|-------|---------------|
|                      | Каменный уголь | Мазут | Природный газ |
| Сернистый газ        | 6,0            | 7,4   | 0,002         |
| Оксиды азота         | 21,0           | 2,4   | 1,9           |
| Твердые частицы      | 1,4            | 0,7   | -             |
| Фтористые соединения | 0,05           | 0,004 | -             |

Среди нетрадиционных возобновляемых источников энергии по потенциалу и экономическим показателям в Херсонской области одним из наиболее эффективным является энергия ветра. Проведен расчет и анализ стоимостных показателей, связанных с производством электроэнергии ВЭС мощностью 640 кВт. Расчетные исследования проведены применительно к работе ВЭС на базе ветроагрегатов USW 56-100. Выбор данного типа ветроагрегатов обусловлен достаточно широкой практикой их применения в Украине и, соответственно, существованием значительных массивов соответствующей информации, необходимой для расчета объективных стоимостных показателей относительно генерирования электроэнергии ветра.

Одним из приоритетных экономических показателей, который касается работы ВЭС, является объем необходимых инвестиций (капиталовложений), которые включают расходы на производство строительно-монтажных работ и стоимость технологического оборудования.

В таблице 2 приведены данные об общем и удельном объемах капиталовложений относительно установленной мощности ВЭС.

Таблица 2. Значения общего и удельного объема капиталовложений

| Название показателя                           | Единица измерения | Значение показателя |
|---|-------------------|---------------------|
| 1. Установленная мощность, $N_{ВЭС}$          | кВт               | 640                 |
| 2. Общий объем капиталовложений, $K_{ВЭС}$    | долл.             | 357000              |
| 3. Удельный объем капиталовложений, $K_{ВЭС}$ | долл./кВт         | 558                 |

Зная установленную мощность 640 кВт и общий объем капиталовложений – 357000 долл. (в том числе, 9,3% – стоимость строительно-монтажных работ), рассчитаем удельный объем капиталовложений:

$$\frac{357000 \text{ долл.}}{640 \text{ кВт}} = 558 \left( \frac{\text{долл.}}{\text{кВт}} \right).$$

Расчет годового объема амортизации для сравнительного анализа выполнен по традиционной и модифицированной методике при работе в течение – 10; 20 и 25 лет (табл. 3). Коэффициент дисконтирования в расчетах принят в размере 5 %.

Таблица 3. Расчет амортизационных отчислений ВЭС

| Показатели   | Срок функционирования ВЭС, годы |       |       |
|--|---------------------------------|-------|-------|
|  | 10                              | 20    | 25    |
| А. Традиционный расчет                               |                                 |       |       |
| - норма амортизационных отчислений                   | 0,1                             | 0,05  | 0,04  |
| - годовая величина амортизационных отчислений, долл. | 35700                           | 17850 | 14280 |
| Б. Модифицированный расчет                           |                                 |       |       |
| - норма амортизационных отчислений                   | 0,08                            | 0,03  | 0,02  |
| - годовая величина амортизационных отчислений, долл. | 28560                           | 10710 | 7140  |

В таблице 4 приведены результаты расчета годовых расходов на текущие и капитальные ремонты.

Таблица 4. Расчет годовой величины расходов на ремонт ВЭС

| Показатели  | Вид ремонта |             |
|---|-------------|-------------|
|   | текущий     | капитальный |
| 1. Норма годовых расходов на ремонты (Н <sub>р</sub> ), %           | 1,3         | 2,8         |
| 2. Общий объем капиталовложений в ВЭС (К), долл.                    | 357000      | 357000      |
| 3. Годовая величина расходов на ремонты, (К·Н <sub>р</sub> ), долл. | 4641        | 9996        |

В таблице 5 приведены расчеты расходов, связанных с трудовыми ресурсами. Учитывая, что численность работающих на ВЭС мощность 640 кВт составляет семь человек [8], а среднегодовая заработная плата одного работающего эквивалента 1000 долл., годовой фонд заработной платы будет составлять 7000 долл.

Таблица 5. Расчет годовой величины расходов, связанных с трудовыми ресурсами

| Показатели   | Единицы измерения | Значение показателя |
|--|-------------------|---------------------|
| 1. Численность работающих                            | чел               | 7                   |
| 2. Среднегодовая заработная плата одного работающего | долл.             | 1000                |
| 3. Годовой фонд заработной платы                     | долл.             | 7000                |
| 4. Отчисление на социальные нужды (0,52)             | долл.             | 3640                |
| 5. Общие расходы, связанные с трудовыми ресурсами    | долл.             | 10640               |

Отчисление на социальные нужды составляют 52 % от годового фонда заработной платы, связанные с трудовыми ресурсами, достигают 10640 долл. (7000+3640).

Поскольку годовая величина амортизации зависит от срока эксплуатации ВЭС, то общезаводские расходы должны быть рассчитаны для 10-, 20- и 25-летнего срока работы оборудования (табл. 6).

Таблица 6. Расчет годовой величины общезаводских затрат

| Показатели  | Единицы измерения | Значение показателя, годы |        |       |
|---|-------------------|---------------------------|--------|-------|
|   |                   | 10                        | 20     | 25    |
| 1. Годовая величина амортизационных отчислений:                           |                   |                           |        |       |
| а) традиционный расчет  | долл.             | 35700                     | 17850  | 14280 |
| б) модифицированный расчет  |                   | 28560                     | 10710  | 7140  |
| 2. Годовой фонд заработной платы  | долл.             | 7000                      | 7000   | 7000  |
| 3. Годовая суммарная величина амортизации и зарплаты:                     |                   |                           |        |       |
| а) традиционный расчет  | долл.             | 42700                     | 24850  | 21280 |
| б) модифицированный расчет  |                   | 35560                     | 17710  | 14140 |
| 4. Доля общезаводских затрат от суммарной величины амортизации и зарплаты | %                 | 5                         | 5      | 5     |
| 5. Общезаводские затраты:   |                   |                           |        |       |
| а) традиционный расчет  |                   | 2135                      | 1242,5 | 1064  |
| б) модифицированный расчет  | долл.             | 1778                      | 885,5  | 722   |

Имея рассчитанные показатели амортизации, стоимости ремонта, расходов, связанных с трудовыми ресурсами, общезаводские затраты, определим заводскую себестоимость электроэнергии ВЭС (табл. 7).

Из данных таблицы 7 следует два обстоятельства:

- во-первых, заводская себестоимость снижается при росте срока эксплуатации ВЭС;
- во-вторых, модифицированный расчет заводской себестоимости позволяет снизить ее по сравнению с традиционным.

Таблица 7. Значение заводской себестоимости электроэнергии ВЭС

| Показатели (в долл.)  | Значение показателя, годы |        |       |
|---|---------------------------|--------|-------|
|   | 10                        | 20     | 25    |
| 1. Годовая величина амортизационных отчислений:               |                           |        |       |
| а) традиционный расчет  | 35700                     | 17850  | 14280 |
| б) модифицированный расчет                                    | 28560                     | 10710  | 7140  |
| 2. Годовая величина расходов на текущий ремонт                | 4641                      | 4641   | 4641  |
| 3. Годовая величина расходов на капитальные ремонты           | 9996                      | 9996   | 9996  |
| 4. Годовая величина расходов, связанных с трудовыми ресурсами | 10640                     | 10640  | 10640 |
| 5. Годовая величина общезаводских расходов:                   |                           |        |       |
| а) традиционный расчет  | 2135                      | 1242,5 | 1064  |
| б) модифицированный расчет                                    | 1778                      | 885,5  | 722   |
| 6. Заводская себестоимость:                                   |                           |        |       |
| а) традиционный расчет  | 63112                     | 44370  | 40612 |
| б) модифицированный расчет                                    | 55615                     | 36873  | 33139 |

В таблице 8 приведены результаты расчета общей себестоимости расходов с учетом аренды земли и суммарных отчислений в фонды. Так, общая себестоимость производства электроэнергии при модифицированном расчете (Т=25 лет) равна 35539 долл., полученная как сумма соответствующей заводской себестоимости (33139 долл.), стоимости аренды земли (600 долл.) и величины отчислений в фонды (1800 долл.).

Таблица 8. Расчет общей себестоимости производства электроэнергии ВЭС

| Показатели (в долл.)        | Значение показателя, годы |       |       |
|-----------------------------|---------------------------|-------|-------|
|                             | 10                        | 20    | 25    |
| 1. Заводская себестоимость: |                           |       |       |
| а) традиционный расчет      | 63112                     | 44370 | 40612 |
| б) модифицированный расчет  | 55615                     | 36873 | 33139 |
| 2. Стоимость аренды земли   | 600                       | 600   | 600   |
| 3. Отчисление в фонды       | 800                       | 1800  | 1800  |
| 4. Общая себестоимость:     |                           |       |       |
| а) традиционный расчет      | 65512                     | 46770 | 43021 |
| б) модифицированный расчет  | 58015                     | 39273 | 35539 |

В таблице 9 приведены расчеты удельной себестоимости в зависимости от годового фонда рабочего времени ВЭС.

Таблица 9. Удельная себестоимость производства 1 кВт·час электроэнергии ВЭС

| Фонд рабочего времени установленной мощности ВЭС, час | Удельная себестоимость (цент/кВт·час) в зависимости от срока эксплуатации ВЭС, лет |                  |              |                  |              |                  |
|---|--|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|
|   | 10   |                  | 20           |                  | 25           |                  |
|   | Традиционный   | Модифицированный | Традиционный | Модифицированный | Традиционный | Модифицированный |
| 1000  | 10,44  | 9,25             | 4,76         | 6,26             | 6,86         | 5,67             |
| 1200  | 8,7  | 7,71             | 6,21         | 5,22             | 5,72         | 4,72             |
| 1400  | 7,46   | 6,61             | 5,33         | 4,47             | 4,9          | 4,05             |
| 1600  | 6,52   | 5,78             | 4,66         | 3,91             | 4,29         | 3,54             |
| 1800  | 5,8  | 5,14             | 4,14         | 3,48             | 3,81         | 3,15             |
| 2000  | 5,22   | 4,62             | 3,73         | 3,13             | 3,43         | 2,83             |
| 2200  | 4,74   | 4,2              | 3,39         | 2,84             | 3,12         | 2,58             |
| 2400  | 4,35   | 3,85             | 3,11         | 2,61             | 2,86         | 2,36             |
| 2600  | 4,01   | 3,56             | 2,87         | 2,41             | 2,64         | 2,18             |
| 2800  | 3,73   | 3,3              | 2,66         | 2,24             | 2,45         | 2,02             |
| 3000  | 3,48   | 3,08             | 2,49         | 2,09             | 2,29         | 1,89             |
| 3200  | 3,26   | 2,89             | 2,33         | 1,92             | 2,14         | 1,77             |
| 3400  | 3,07   | 2,72             | 2,19         | 1,84             | 2,02         | 1,67             |
| 3600  | 2,9  | 2,57             | 2,07         | 1,74             | 1,9          | 1,57             |
| 3800  | 2,75   | 2,43             | 1,96         | 1,65             | 1,8          | 1,49             |
| 40000   | 2,61   | 2,31             | 1,86         | 1,56             | 1,71         | 1,42             |

В таблице 10 приведены результаты расчетов приведенных затрат в зависимости от времени эксплуатации ВЭС.

Таблица 10. Расчет приведенных затрат на производство электроэнергии ВЭС

| Показатели (в долл.)                          | Время, лет |       |       |
|---|------------|-------|-------|
|   | 10         | 20    | 25    |
| 1. Общая себестоимость (С):                   |            |       |       |
| а) традиционный расчет                        | 65512      | 46770 | 43021 |
| б) модифицированный расчет                    | 58015      | 39273 | 35539 |
| 2. Годовая величина убытков (В <sub>р</sub> ) | 17850      | 17850 | 17850 |
| 3. а) Приведенные затраты (традиционный)      | 83362      | 64260 | 60871 |
| б) Приведенные затраты (модифиц.)             | 75865      | 57123 | 53389 |

В таблице 11 приведены значения удельных приведенных затрат, в зависимости от количества часов использования установленной мощности ВЭС в году.

Таблица 11. Приведенные затраты на 1 кВт·час электроэнергии ВЭС

| Количество часов использования установленной мощности | Общая себестоимость (цент/кВт·час) в зависимости от срока работы ВЭС, годы |                  |              |                  |              |                  |
|---|--|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|
|   | 10   |                  | 20           |                  | 25           |                  |
|   | Традиционный   | Модифицированный | Традиционный | Модифицированный | Традиционный | Модифицированный |
| 1000  | 13,29  | 12,1             | 10,3         | 9,11             | 9,7          | 8,51             |
| 1200  | 11,01  | 10,08            | 8,59         | 7,59             | 8,09         | 7,09             |
| 1400  | 9,49   | 8,64             | 7,36         | 6,51             | 6,93         | 6,08             |
| 1600  | 8,3  | 7,56             | 6,44         | 5,69             | 6,06         | 5,32             |
| 1800  | 7,38   | 6,72             | 5,72         | 5,06             | 5,39         | 4,73             |
| 2000  | 6,64   | 6,05             | 5,15         | 4,55             | 4,85         | 4,25             |
| 2200  | 6,04   | 5,5              | 4,68         | 4,14             | 4,41         | 3,87             |
| 2400  | 5,54   | 5,04             | 4,29         | 3,8              | 4,04         | 3,55             |
| 2600  | 5,11   | 4,65             | 3,96         | 3,5              | 3,73         | 3,27             |
| 2800  | 4,75   | 4,32             | 3,68         | 3,25             | 3,46         | 3,04             |
| 3000  | 4,43   | 4,03             | 3,43         | 3,04             | 3,23         | 2,84             |
| 3200  | 4,15   | 3,78             | 3,22         | 2,85             | 3,03         | 2,66             |
| 3400  | 3,91   | 3,56             | 3,03         | 2,68             | 2,85         | 2,5              |
| 3600  | 3,69   | 3,36             | 2,86         | 2,53             | 2,69         | 2,36             |
| 3800  | 3,5  | 3,18             | 2,71         | 2,4              | 2,55         | 2,24             |
| 4000  | 3,32   | 3,02             | 2,57         | 2,25             | 2,42         | 2,13             |

**Выводы.** Таким образом, результаты сравнения вариантов модифицированного расчета показывают, что работа электроэнергетических предприятий в Херсонской области должна ориентироваться на традиционные энергоносители лишь в том случае, когда количество часов использования установленной мощности ВЭС не превышает 2600 ч. Во всех других случаях, т.е. тогда, когда количество часов использования установленной мощности ВЭС превышает 2600 часов, электроэнергетические предприятия в Херсонской области необходимо ориентировать на использование энергии ветра.

Необходимо указать, что с учетом интенсивного роста цен на невозобновимые энергоносители экономические преимущества использования ветросиловой энергетики будут еще предпочтительнее. Это особенно важно отметить на фоне истощения невозобновимых ресурсов и интенсивного роста цен на них.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конеченков А., Пирогов В. Возобновляемая энергетика мира // Зеленая энергетика. – 2005. – № 1. – С. 4–5.
2. Безруких П.П. Ветроэнергетика Европы: факты и комментарии // Энергия : экономика, техника, экология. – 1996. – № 8. – С. 25–29.



3. Козорез Г. Политика энергообеспечения и пути ее реализации в Украине // Региональная экономика. – 1998. – № 2. – С. 61–67.
4. Отчет правления ДАЕК "Херсоненерго" за 2003 год. – Херсон, 1997. – 16 с.
5. Отчет правления ДАЕК "Херсоненерго" за 2004 год. – Херсон, 1998. – 17 с.
6. Васька П.Ф., Брыль А.А., Пекур П.П. Определение технических показателей эффективности использования ветроэлектрических агрегатов в Украине // Энергетика и электрификация. – 1995. – № 2. – С. 48–52.
7. Постановление от 1 марта 1999 г. № 303 "Об утверждении порядка установления нормативов сбора за загрязнение окружающей среды и взыскание этого сбора" // Все о бухгалтерском учете. – 1999. – № 25. – С. 13–20.
8. Руда О.И. Математическая модель для анализа экономической эффективности инвестиционного проекта модернизации системы энергоснабжения с использованием ВЕУ // Научный вестник. – Львов : УкрДЛТУ, 1997. – № 7. – С. 1991–2000.