

УДК 621.311

Б.А. КОСТЮКОВСЬКИЙ, Т.П. НЕЧАЄВА, О.Л. РАДЧЕНКО, канд. техн. наук, **С.В. ШУЛЬЖЕНКО, П.П. КОБРІН**, канд. техн. наук (Інститут загальної енергетики НАН України, Київ)

ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТУЖНОСТЕЙ В ЕНЕРГОСИСТЕМІ УКРАЇНИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПОТУЖНОСТЕЙ РЕЗЕРВУВАННЯ

Розглянуто особливості роботи вітрових електричних установок у складі енергосистеми, визначено економічні показники, які характеризують їх беззбиткову роботу при застосуванні потужностей резервування для заміщення потужності вітрових електричних установок у разі зменшення енергії вітру.

Цілком реальна перспектива вичерпання найбільш використовуваних у світі джерел традиційних первинних енергоносіїв: нафти та газу – змушує до необхідності пошуку нових джерел енергії. Останнім часом одним із таких джерел стає енергія вітру, яку переважно перетворюють на електричну енергію за допомогою вітрових електричних установок (ВЕУ). Динаміку зростання вітроенергетичних потужностей у світі наведено в таблиці 1.

Слід зазначити, що використання вітрової енергії, крім безперечних переваг – відсутності негативного впливу на довкілля та потреби у видобуванні первинного енергоносія, має і недоліки. Основним із них є недостатня передбачуваність обсягів виробництва електричної енергії як у часі, так і за територіальним розподілом. Це є наслідком недостатнього на сьогодні рівня знань про атмосферні явища. Недатня передбачуваність режимів роботи вітрових електростанцій (ВЕС) зумовлює необхідність мати можливість компенсувати коливання їх потужності за рахунок інших джерел виробництва електроенергії. Така умова є особливо важливою в разі роботи ВЕС в об'єднаній енергосистемі (ОЕС). Необхідно так компенсувати коливання потужності ВЕС, щоб, насамперед, не виникали коливання частоти в ОЕС понаднормативні значення.

В Україні використання енергії вітру набуло промислових обсягів. Результати більш ніж десятирічного досвіду свідчать, що для подальшого розвитку вітчизняної вітроенергетики першочерговим є розв'язання таких основних питань функціонування ВЕС в ОЕС України:

- пошук найбільш придатних для будівництва ВЕС площадок;
- визначення можливостей та обґрунтування вимог, у тому числі економічних, щодо роботи ВЕС в енергосистемі України.

Перша із зазначених задач вимагає виконання комплексу специфічних досліджень з визначення відповідних характеристик вітру. Такі дослідження вже виконуються з урахуванням світових досягнень у цій галузі.

Розв'язання другої задачі в умовах України має певну специфіку в частині як технічного, так і організаційного забезпечення. Найбільш вірогідно, що в перспективі резервувати роботу вітчизняних ВЕС будуть вугільні ТЕС із досить обмеженими маневровими можливостями в умовах зростання потужності та коефіцієнта використання встановленої потужності (КВВП) АЕС [1]. Можуть бути змінені організаційні засади функціонування енергоринку України. Тому, в першу чергу, необхідно визначити, яким чином може формуватись собівартість виробництва електричної енергії в ОЕС з урахуванням впливу ВЕС. Це дозволить обґрунтовано обирати рішення щодо заходів з розвитку ОЕС за умов впровадження ВЕС.

На собівартість електроенергії $C_{\{СПО\}}$ в ціні/тарифі для споживача, приєднаного до ОЕС України, безпосередньо впливає собівартість та обсяги виробництва електроенергії на всіх джерелах, включно з ВЕС. Крім того, існує додатковий вплив, зумовлений витратами через застосування засобів регулювання паралельної роботи ВЕС з електростанціями інших типів, та змін собівартості виробництва електроенергії на цих електростанціях. Собівартість виробництва електроенергії в ОЕС при роботі ВЕС, у загальному випадку, визначається відповідно до такого виразу:

$$C_{\{СПО\}} = \frac{\sum_{l=1}^L C_l W_l + \sum_{v=1}^V C_v W_v + \sum_{m=1}^M C_m^{TPA} W_m^{TPA} + C_{\{DISP\}}}{W_{\{СПО\}}}, \quad (1)$$

де $W_{\{СПО\}}$ – обсяг споживання електроенергії в ОЕС України; $C_{\{DISP\}}$ – собівартість послуг дис-

Таблиця 1

Рік	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Потужність, ГВт	7,47	9,66	13,7	18,0	23,34	31,17	39,3	47,62	59,0

петчеризації ОЕС України; C_v – собівартість виробництва електроенергії на v -й ВЕС, приєднаний до ОЕС України, $v=1, V$; W_v – обсяг виробництва електроенергії на v -й ВЕС, приєднаний до ОЕС України; C_l – собівартість виробництва електроенергії на l -й електростанції, крім ВЕС, $l=1, L$; W_l – обсяг виробництва електроенергії на l -й електростанції; C_m^{TPA} – собівартість транспортування та розподілу електроенергії із використанням мереж різного класу напруги ОЕС України ($m=1, M, M$ – множина всіх типів електричних мереж); W_m^{TPA} – обсяг транспортування та розподілу електроенергії з використанням мереж різного класу напруги ОЕС України.

Відповідно до виразу (1), одним із чинників зміни собівартості є зміна обсягів виробництва електроенергії іншими генеруючими потужностями ОЕС за рахунок зміни частки ВЕС. Загалом вплив роботи ВЕС на собівартість електроенергії в ОЕС може бути визначено через різницю між собівартостями електроенергії в ОЕС при роботі ВЕС та за нульової потужності ВЕС. Оцінка впливу потужності ВЕС на зміну перерозподілу потоків електроенергії в мережах ОЕС є дуже складною. Тому для аналітичної оцінки впливу ВЕС на собівартість електроенергії в ОЕС доцільно, в межах цієї статті, обмежитись процесами її виробництва.

Сучасним умовам функціонування ВЕС у складі багатьох енергосистем, в тому числі в ОЕС України, притаманні такі особливості:

- встановлена потужність ВЕС відносно загальної потужності ОЕС є незначною (в ОЕС України їх частка становить близько 0,2% потужності бруто);
- відсутня система регулювання потужності традиційних джерел генерації електроенергії ОЕС залежно від навантаження ВЕС (це стосується і ОЕС України).

За такої ситуації в ОЕС загальносистемні засоби регулювання практично не мають можливості реагувати на зміну потужності ВЕС. При цьому вплив роботи ВЕС на собівартість електроенергії в таких ОЕС протягом певного часу можна визначити за допомогою наведених нижче залежностей.

$$C_{\{OEC\}}^{\{-BEC\}} = \frac{\sum_{i=1}^I C_{\{TEC\}i}^{-res} W_{\{TEC\}i}^{-res} + \sum_{j=1}^J C_j W_j}{W_{\{OEC\}}} \quad (2)$$

Оскільки загальносистемні засоби регулювання майже не реагують на зміну потужності ВЕС через її незначну частку в потужностях ОЕС,

можна вважати, що є вірними такі співвідношення:

$$C_{\{TEC\}i}^{-res} = C_{\{TEC\}i}^{+res}; W_{\{TEC\}i}^{-res} = W_{\{TEC\}i}^{+res}; \forall i \in I \quad (3)$$

З урахуванням цієї умови:

$$C_{\{OEC\}}^{\{+BEC\}} = \frac{\sum_{i=1}^I C_{\{TEC\}i}^{+res} W_{\{TEC\}i}^{+res} + \sum_{j=1}^J C_j W_j + \sum_{v=1}^V C_v W_v}{W_{\{OEC\}}} = \quad (4)$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^I C_{\{TEC\}i}^{-res} W_{\{TEC\}i}^{-res} + \sum_{j=1}^J C_j W_j + \sum_{v=1}^V C_v W_v}{W_{\{OEC\}}}, \quad (5)$$

$$\Delta C = C_{\{OEC\}}^{\{+BEC\}} - C_{\{OEC\}}^{\{-BEC\}} = \frac{\sum_{v=1}^V C_v W_v}{W_{\{OEC\}}} = C_{\{BEC\}} \frac{W_{\{BEC\}}}{W_{\{OEC\}}},$$

де $C_{\{OEC\}}^{\{-BEC\}}$ – середня собівартість виробництва електроенергії в ОЕС протягом певного часу за нульової потужності ВЕС у складі ОЕС; $C_{\{TEC\}}^{-res}$ – собівартість виробництва електроенергії потужностями резервування ВЕС (ПР) за нульової потужності ВЕС у складі ОЕС; $W_{\{TEC\}}^{res}$ – обсяг виробництва електроенергії протягом певного часу ПР за нульової потужності ВЕС у складі ОЕС; $C_{\{TEC\}}^{+res}$ – собівартість виробництва електроенергії ПР, які залучені до резервування ВЕС і регулюють своє навантаження відповідно до потужності ВЕС; $W_{\{TEC\}}^{+res}$ – обсяг виробництва електроенергії протягом певного часу ПР, які залучені до резервування ВЕС і регулюють своє навантаження відповідно до потужності ВЕС; C_j – собівартість виробництва електроенергії потужностями ОЕС за винятком ПР і ВЕС; W_j – обсяг виробництва електроенергії протягом певного часу потужностями ОЕС за винятком ПР та ВЕС; $W_{\{OEC\}}$ – загальний обсяг виробництва електроенергії протягом певного часу в ОЕС; $C_{\{OEC\}}^{\{+BEC\}}$ – середня собівартість виробництва електроенергії в ОЕС протягом певного часу за умов виробництва електроенергії на ВЕС і ПР; $C_{\{BEC\}}$ – середня собівартість виробництва електроенергії для всіх ВЕС, приєднаних до ОЕС України; $W_{\{BEC\}}$ – обсяг виробництва електроенергії всіма ВЕС, приєднаними до ОЕС України; ΔC – абсолютний вплив ВЕС на собівартість виробництва електроенергії в ОЕС України з урахуванням того, що загальносистемні засоби регулювання майже не реагують на зміну потужності ВЕС.

Як видно з виразу (5), при незначних потужностях ВЕС і відсутності спеціалізованих систем узгодженої роботи ВЕС і ПР, робота ВЕС не має сенсу і призводить лише до збільшення собівар-

тості електроенергії в ОЕС без зниження негативного впливу на довкілля та економії органічного палива на ТЕС.

Перехід від впливу роботи ВЕС на собівартість виробництва електроенергії до впливу роботи ВЕС на собівартість електроенергії, яка споживається, виконується відповідно до такого виразу:

$$C^a = \Delta C \frac{W_{\{OEC\}}}{W_{\{СПО\}}} \quad (6)$$

де C^a – абсолютний вплив ВЕС на собівартість електроенергії в ОЕС України.

За умов наявності працюючої системи резервування ВЕС і ПР та реагування загальносистемних засобів регулювання на зміну потужності ВЕС, вплив ВЕС на собівартість електроенергії ОЕС визначається із використанням такої залежності:

$$\Delta C_{\{+res\}} = C_{\{OEC\}}^{\{+BEC\}} - C_{\{OEC\}}^{\{-BEC\}} = \frac{\sum_{j=1}^J C_{\{TEC\}j}^{+res} W_{\{TEC\}j}^{+res} + \sum_{j=1}^J C_j W_j + \sum_{v=1}^V C_v W_v}{W_{\{OEC\}}} - \frac{\sum_{j=1}^J C_{\{TEC\}j}^{-res} W_{\{TEC\}j}^{-res} + \sum_{j=1}^J C_j W_j}{W_{\{OEC\}}} = \frac{\sum_{j=1}^J (C_{\{TEC\}j}^{+res} W_{\{TEC\}j}^{+res} - C_{\{TEC\}j}^{-res} W_{\{TEC\}j}^{-res}) + \sum_{v=1}^V C_v W_v}{W_{\{OEC\}}} \quad (7)$$

де $\Delta C_{\{+res\}}$ – абсолютний вплив ВЕС на собівартість електроенергії в ОЕС за умов реагування загальносистемних засобів регулювання на зміну потужності ВЕС.

Така схема резервування ВЕС є найбільш ефективною, коли ВЕС і ПР належать до однієї генеруючої енергетичної компанії [2].

Щоб визначити вплив ВЕС на використання конкретної технології (або генеруючих потужностей конкретного типу), яка є складовою генеруючих потужностей ОЕС і знаходиться в стані резервування ВЕС, необхідно враховувати зміну складових собівартості для цієї технології.

В загальному випадку собівартість виробництва на будь-якому об'єкті генерації електроенергії складається з трьох основних складових:

– витрати, пов'язані з основними фондами (з інвестиціями в основні фонди), які під час експлуатації об'єкту через амортизаційні відрахування включаються до собівартості;

– постійні та умовно-постійні експлуатаційні витрати, які пов'язані із забезпеченням виробництва необхідними трудовими ресурсами, матеріалами, витратами на технічне, ремонтне обслуговування виробничих засобів, витрати, пов'язані із транспортом тощо;

– витрати на паливо для виробництва основної продукції – ця складова є найбільш чутливою до зміни режиму роботи генеруючого обладнання. Від обсягів споживання палива також залежать обсяги викидів шкідливих речовин і пов'язані із цим обсяги оплати штрафів за ці викиди.

Обсяг амортизаційних відрахувань для будь-якого об'єкту електроенергетики є величиною, яка протягом обмеженого часу за сталих умов роботи виробничого обладнання змінюється повільно. Суттєве збільшення амортизаційних відрахувань може бути спричинене, наприклад, додатковими значними інвестиціями у виробниче обладнання.

Експлуатаційні витрати залежать від характерного режиму експлуатації об'єкту. Відчутний вплив на них може бути спричинений модернізацією або реконструкцією основних виробничих фондів. Якщо генеруючі потужності використовуються у сталих режимах, то експлуатаційні витрати також є величиною майже постійною.

Паливна складова собівартості виробництва в енергетиці суттєво залежить від режиму експлуатації виробничого обладнання. Що більше режим роботи відрізняється від номінального, то зазвичай більшими стають питомі витрати палива. При цьому зростають і питомі обсяги викидів шкідливих речовин.

Таким чином, собівартість виробництва електроенергії для i -ої технології протягом часу t , в якому генеруючі потужності працюють із навантаженням P_{it} , у найбільш загальному випадку із використанням перелічених складових собівартості можна представити виразом:

$$C_{it} = \frac{A_{it}(Inv) + E_{it}(Inv, P_{it}) + F_{it}(P_{it}, t)}{P_{it} t} \quad (8)$$

де C_{it} – собівартість виробництва електроенергії для i -ої технології протягом часу t ; $A_{it}(Inv)$ – обсяг амортизаційних відрахувань протягом часу t , які залежать від обсягу попередніх інвестицій Inv ; $E_{it}(Inv, P_{it})$ – обсяг експлуатаційних витрат протягом часу t , які залежать від обсягу попередніх інвестицій Inv та характерного режиму експлуатації технології P_{it} ; $F_{it}(P_{it}, t)$ – обсяг витрат на паливо протягом часу t , які залежать від навантаження генеруючого обладнання та тривалості роботи виробничих потужностей в такому режимі.

Якщо традиційна i -та генеруюча потужність застосовується як ПР, то може виникнути необ-

хідність у додаткових інвестиційних витратах $Inv_{(BEC)}^{+res}$, які пов'язані із необхідністю вдосконалення систем регулювання потужності цієї технології відповідно до потужності ВЕС. У цьому випадку її собівартість буде визначатись таким виразом:

$$C_{it}^{+res} = \frac{A_{it}(Inv + Inv_{(BEC)}^{+res}) + E_{it}(Inv + Inv_{(BEC)}^{+res}, P_{it}) + F_{it}(P_{it}, t)}{P_{it}t} \quad (9)$$

де C_{it}^{+res} – собівартість виробництва електроенергії для i -ої технології протягом часу t у припущенні відсутності виробництва електроенергії на ВЕС.

Оскільки потужність ВЕС не є постійною, то і ПР може змінюватись. Тому в разі збільшення потужності ВЕС повинна бути зменшена ПР, що призведе до зміни собівартості виробництва електроенергії, що відображає наведена нижче залежність.

$$C_{(it+BEC)}^{+res} = \frac{A_{it}(Inv + Inv_{(BEC)}^{+res}) + E_{it}(Inv + Inv_{(BEC)}^{+res}, P_{it} - P_{(BEC)t})}{(P_{it} - P_{(BEC)t})t} + \frac{F_{it}(P_{it} - P_{(BEC)t}, t)}{(P_{it} - P_{(BEC)t})t} \quad (10)$$

де $C_{(it+BEC)}^{+res}$ – собівартість виробництва електроенергії для i -ої технології, яка резервує ВЕС протягом часу t за умов необхідності зниження своєї потужності відповідно до потужності ВЕС – $P_{(BEC)t}$.

З використанням виразів (8), (9) та (10) абсолютний вплив ВЕС на i -ту ПР, що резервує ВЕС протягом часу t , можна визначити таким виразом:

$$\Delta C_{\{it+BEC\}}^{+res} = C_{\{it+BEC\}}^{+res} + \frac{\sum_{v \in V} C_{v} W_{vt}}{\sum_{v \in V} W_{vt}} - C_{it} \quad (11)$$

де $\Delta C_{\{it+BEC\}}^{+res}$ – абсолютний вплив ВЕС на i -ту ПР протягом періоду часу t за умов резервування ВЕС з множини V ; V' – множина всіх ВЕС, які резервує i -та ПР; W_{vt} – обсяг виробництва електроенергії v -ою ВЕС протягом часу t .

Відповідно до наведеного вище підходу, визначення впливу обсягу генерації ВЕС на собівартість виробництва електроенергії на конкретній ПР, можна розраховувати з використанням наступної послідовності дій.

1. Для всіх ПР або енергоблоків, для яких оцінюється вплив генерації електроенергії на ВЕС на техніко-економічні показники ПР, який виникає через зміну їх потужності відповідно зміни до потужності ВЕС, визначається (задається або приймається за фактичними значеннями) графік генерації електроенергії в припущенні відсутності генерації електроенергії на ВЕС.

2. Для кожної ПР визначається собівартість виробництва електроенергії за умов, наведених у попередньому пункті.

3. Визначається (задається або приймається за фактичними значеннями) графік виробництва електроенергії на ВЕС.

4. Обчислюється середня собівартість виробництва електроенергії на ВЕС.

5. З урахуванням графіка виробництва електроенергії на ВЕС проводиться трансформація графіка генерації електроенергії на ПР і визначається собівартість виробництва електроенергії при його покритті ПР.

6. З використанням виразів (8)-(11) обчислюється загальний вплив ВЕС на собівартість виробництва електроенергії для конкретної ПР.

7. З використанням виразу (7) обчислюється загальний вплив ВЕС на собівартість виробництва електроенергії в ОЕС.

8. З використанням виразу (6) обчислюється загальний вплив ВЕС на собівартість електроенергії для споживачів ОЕС.

Найбільш складно оцінити вплив ВЕС на собівартість електроенергії ОЕС в умовах, коли узгодження роботи ВЕС з електростанціями інших типів забезпечується засобами первинного та вторинного регулювання режимів ОЕС. У цьому випадку майже неможливо визначити, які саме електростанції резервують ВЕС, і можливо лише отримати діапазон кількісних показників впливу роботи ВЕС на собівартість виробництва електроенергії в ОЕС.

Для визначення цього діапазону розроблено підхід, що базується на таких припущеннях:

1. Система регулювання потужності в ОЕС досить точно реагує на зміну потужностей на ВЕС.

2. На обсяг виробництва електроенергії на ВЕС зменшується виробництво електроенергії на ПР.

Для визначення мінімальної та максимальної зміни собівартості електроенергії в ОЕС використовується такий алгоритм:

1. Визначається собівартість електроенергії в ОЕС ($C_{(OEC)}$), а також собівартість її виробництва на ВЕС ($C_{(BEC)}$) та ПР ($C_{(PEC)}$) для фіксованого проміжку часу t .

2. Для кожної k -ої ПР, $k=1, K$, робоча потужність якої P_k у цей період менша за номінальну, визначається залежність зміни собівартості ΔC_k від зміни потужності на ПР у діапазоні від P_k до N_k , де N_k – номінальна потужність k -ої ПР. Враховуючи оціночний характер розрахунків, цю залежність можна визначити з такого виразу:

$$\Delta C_k = \frac{C_k - C_n}{N_k - P_k}, \quad (12)$$

де C_k і C_n – собівартість при потужності P_k та N_k відповідно.

3. Формується лінійна модель оптимізації довантаження ПР, яке компенсує потужність ВЕС (тобто моделюють умови, коли ВЕС не працювали), що формалізується наступним чином.

За критерій приймається зміна собівартості при довантаженні ПР:

$$\sum_{k=1}^K \Delta C_k X_k \rightarrow EXTR \quad (13)$$

де X_k – довантаження k -ої ПР для компенсації потужності працюючих ВЕС.

Баланс довантаження ПР, яке повинно дорівнювати потужності ВЕС у період t (за умов, коли б ВЕС не працювали):

$$\sum_{k=1}^K X_k = P_{(BEC)} \quad (14)$$

Обмеження на можливість довантаження ПР:

$$X_k \leq N_k - P_k; \forall k \in K \quad (15)$$

4. Модель реалізується як на мінімум, так і на максимум зміни собівартості виробництва електроенергії на ПР. У результаті ми отримуємо $\Delta C_{\{TEC\}min}$ та $\Delta C_{\{TEC\}max}$.

5. Для кожного з отриманих значень потужності довантаження X_k визначається собівартість виробництва електроенергії C_{xk} при потужності $P_k + X_k$, з використанням якої розраховується зміна собівартості виробництва електроенергії відповідно до такого виразу:

$$\Delta C = \frac{C_{\{OEC\}} P_{\{OEC\}} + \sum_{k=1}^K ((P_k + X_k) C_{xk} - C_k P_k) - C_{\{BEC\}} P_{\{BEC\}}}{P_{\{OEC\}}} - \frac{C_{\{OEC\}} P_{\{OEC\}}}{P_{\{OEC\}}} \quad (16)$$

де $P_{\{OEC\}}$ – потужність усіх електростанцій в ОЕС, $P_{\{BEC\}}$ – потужність усіх ВЕС.

6. Виконуються обчислення показників впливу ВЕС на собівартість електроенергії для споживачів системи за виразом (5).

Використання цієї моделі є доцільним для визначення тих ПР, економічна ефективність використання яких для резервування ВЕС є найвищою (тобто на яких краще створювати спеціалізовану систему узгодженої роботи ВЕС і ПР). При цьому модель реалізується за критерієм максимуму зміни собівартості на ПР.

Розроблені методичні засади та математичні моделі дозволяють оцінювати вплив роботи ВЕС на собівартість електроенергії ОЕС для різних варіантів резервування їх роботи.

Поряд з оцінкою впливу ВЕС на собівартість електроенергії в ОЕС важливе значення має можливість визначення показників ПР і ВЕС, при яких перехід ПР у режим роботи резервування ВЕС не змінює загальної собівартості виробництва. Точка такої рівноваги визначається за рівнянням:

$$(C_{\{TEC\}}^{+res} - C_{\{TEC\}}^{-res}) \cdot W_{\{TEC\}}^{+res} = (C_{\{BEC\}} - C_{\{TEC\}}^{+res}) \cdot W_{(BEC)} \quad (17)$$

Компенсація впливу роботи ВЕС на собівартість електроенергії може бути забезпечена за рахунок збільшення тарифів для ПР або за рахунок відрахувань ВЕС відповідних сум на користь ПР. Можливими є механізми встановлення цільової надбавки на ОРЕ для створення відповідного фонду компенсації впливу ВЕС на собівартість електроенергії на ПР або компенсація цих витрат безпосередньо з бюджету.

З використанням розроблених методів були виконані дослідження з кількісної оцінки впливу впровадження ВЕС до складу ОЕС України. Розрахунки собівартості електроенергії на ВЕС проводились згідно з такими припущеннями:

- питомі капіталовкладення – 1000 \$/кВт встановленої потужності та 1200 \$/кВт встановленої потужності;

- термін експлуатації ВЕС – 20 років;

- експлуатаційні витрати – 10% від обсягу капіталовкладень на початку експлуатації ВЕС з поступовим зростанням до 20% від обсягу капіталовкладень на останній рік експлуатації ВЕС;

- амортизаційні відрахування, податки та нарахування – відповідно до чинного законодавства України;

- як позикові інвестиційні ресурси було обрано банківські кредити терміном на 5 років, з відстрочкою платежу на рік та відсотковою ставкою 12%;

- витрати на оснащення ВЕС засобами узгодженої роботи з ПР в ОЕС України враховувались на рівні 3% необхідних інвестиційних ресурсів;

- коефіцієнт готовності всіх ВЕУ в складі ВЕС приймався на рівні 97%;

- КВВП ВЕС приймався в діапазоні 16-40%, що відповідає досвіду використання ВЕС середньої потужності в країнах Західної Європи в різні сезони року та в різні періоди доби.

Проведені розрахунки дозволили визначити усереднені граничні значення собівартості виробництва електроенергії на ВЕС у \$/МВт-год, за

Таблиця 2

Собівартість електроенергії на ТЕС	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0
Собівартість електроенергії на ВЕС	13,9	16,7	19,4	22,2	25,0	27,8	30,6	33,3

яких робота ВЕС не впливає на собівартість електроенергії в ОЕС за постійного режиму їх резервування ПР (табл. 2). Ці собівартості відповідають таким режимам:

– виробництва електроенергії на ТЕС без резервування ВЕС;

– роботі ПР спільно з ВЕС, за якої не відбувається збільшення собівартості електроенергії в ОЕС.

Аналіз отриманих результатів досліджень показує, що позитивний вплив роботи ВЕС на собівартість електроенергії в ОЕС України виникне за таких умов:

– після суттєвого зниження питомих капіталовкладень у ВЕС;

– зростання КВВП ВЕС до 30-35%;

– використання ефективних механізмів державної підтримки будівництва ВЕС;

– зростання собівартості виробництва електроенергії на ПР, що зумовлюватиметься об'єктивними чинниками – збільшенням інвестиційної складової в їх собівартості по мірі оновлення практично відамортизованих основних фондів у тепловій енергетиці;

– зростання вартості палива та рівня екологічних платежів, зокрема за викиди парникових газів.

Враховуючи значну інерційність процесів розвитку енергетики, в період найближчих щонайменше 5-10 років, розвиток вітроенергетики в країні швидше за все негативно впливатиме на собівартість електроенергії в ОЕС України, передусім, через невисоку собівартість у цей період виробництва електроенергії на вітчизняних ПР (здебільшого ТЕС).

1. Звіт про науково-дослідну роботу "Розроблення теоретичних та методологічних основ і засобів прогнозування довгострокового розвитку паливно-енергетичного комплексу України в умовах ринкових та екологічних обмежень (заключний)", УДК 621.311. – № держреєстрації 0207U000290, Київ. – 2006.

2. Науково-технічний звіт "Перспективи використання вітроенергетичних потужностей в регіональному розподілі структури виробництва та споживання електричної енергії по Україні", УДК 621.311. – № держреєстрації 0105U006433. – Київ. – 2005.