

ПРОГНОЗУВАННЯ, СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРНОГО РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИКИ

УДК 621.311

М.М. Кулик, академік НАН України, Б.А. Костюковський, С.В. Шульженко, І.Я. Гольденберг (Інститут загальної енергетики НАН України, Київ)

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВІТРОЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

Проаналізовано поточний стан розвитку вітроенергетики в Україні. Розглянуто переваги та недоліки технологій виробництва електроенергії на базі використання енергії вітру в порівнянні з традиційними технологіями. Визначено умови, за яких вітроенергетика в перспективі зможе отримати помітний розвиток. Оцінено можливі обсяги впровадження об'єктів вітроенергетики з урахуванням необхідних системних резервів до 2010 р.

Проанализировано текущее состояние развития ветроэнергетики в Украине. Рассмотрены преимущества и недостатки технологий производства электроэнергии на базе использования энергии ветра в сравнении с традиционными технологиями. Определены условия, при которых технологии, использующие энергию ветра, в перспективе смогут получить заметное развитие. Оценены возможные объемы внедрения объектов ветроэнергетики с учетом необходимых системных резервов до 2010 г.

Перспективи розвитку вітроенергетики в Україні, доцільні обсяги впровадження вітроелектроенергетичних установок та станцій (ВЕУ та ВЕС) у найближчі 5 - 10 років, незважаючи на прийняття "Програми державної підтримки розвитку нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії, та малої гідро- і теплоенергетики" (далі ПНВДЕ), яка була схвалена Постановою Кабінету Міністрів України №1505 від 31.12.97 р. як складова частина Національної енергетичної програми України, сьогодні є предметом жвавих дискусій [1].

Це обумовлено тим, що виробництво електроенергії за допомогою вітру має як певні переваги, так і недоліки по відношенню до традиційних технологій, що використовують органічне та ядерне паливо.

До основних переваг виробництва електроенергії за допомогою вітру в першу чергу потрібно віднести наступні:

1. Відсутність споживання органічного палива і як наслідок - відсутність споживання атмосферного кисню та викидів в атмосферу токсичних газів та газів, що викликають парниковий ефект, обсяги яких при використанні органічного палива дуже великі.

2. Відсутність радіоактивних відходів, переробка та

зберігання яких є однією з найбільш складних проблем в атомній енергетиці.

3. Відсутність потреби у воді, яку у великих обсягах використовують АЕС та ТЕС.

4. Розміщення вітроенергетичних установок можливе на площах, які використовуються для скотарства та рослинництва при практичному збереженні можливості продовжувати цю діяльність.

5. Малий термін будівництва (ВЕС потужністю 50 МВт можна збудувати за 18 місяців [2]).

Головними недоліками, які обумовлюють досить значні проблеми впровадження ВЕС, є наступні:

1. Незважаючи на досить швидке падіння цін на вітроенергетичні установки та собівартості виробництва на них (з початку 80-х років вартість 1 кВт встановленої потужності зменшилась з \$3900-4100 до \$900-1200 на кінець 90-х років, а собівартість виробництва електроенергії за цей період змінилась від \$0.28 - 0.32 за кВт-год до \$0.05 - 0.06 за кВт-год на найкращих нових ВЕС [2, 3]), поки що вони в загальному випадку неконкурентоспроможні по відношенню до традиційних ТЕС та АЕС (дивись табл. 1, яка підготовлена за даними [3]).

Таблиця 1. Середня вартість виробництва електроенергії в різних країнах світу на нових електростанціях на різних видах палива та при використанні енергії вітру, центів за кВт-год.

Країна	Вид палива			
	Вугілля	Газ	Ядерне	Енергія вітру
Данія	3.6	4.3 - 5.5	-	5.5
Італія	5.1	3.5	-	7.5
Німеччина	-	3.3	-	5.8 - 11
Нідерланди	5.4 - 5.9	2.6 - 2.8	-	9
Нова Зеландія	5	2.8	-	4.5 - 6.3
Франція	5.7	3.2	4.8	6.5
Японія	7.4	7.8	7.6	13.3

2. Неможливість гарантування потужності ВЕУ на якомусь певному рівні. В загальному випадку для забезпечення надійного енергопостачання рівень резерву від інших джерел енергопостачання для ВЕУ сягає 100%.

Для ВЕС, які працюють паралельно з об'єднаною електроенергетичною системою (ОЕС), необхідна наявність резервних потужностей на інших типах електростанцій, крім того підвищуються вимоги до маневрових властивостей системи.

Ця проблема до недавнього часу була не дуже актуальною через наявність значних резервів потужності в ОЕС тих країн, де вітроенергетика отримала найбільший розвиток, та відносно малих обсягів впровадження ВЕС. Але в перспективі при значному зростанні потужності ВЕС ця проблема стає все актуальнішою, особливо враховуючи впровадження в багатьох країнах ринкових механізмів регулювання діяльності в електроенергетиці.

Впровадження в значних обсягах ВЕС викликає необхідність створення або наявності в енергосистемі резерву, потужність якого практично повинна дорівнювати потужності ВЕС, а його маневрові можливості повинні відповідати високим вимогам що до первинного та вторинного регулювання. **Тому розвиток ВЕС фактично не знижує потреби у вводі традиційних електростанцій і викликає необхідність додаткових витрат на системи регулювання частоти та потужності і диспетчерське керування. Крім того, впровадження ВЕС зменшує коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) традиційних електростанцій, що веде до зростання вартості виробленої на них електроенергії (приблизно на \$0.02 - 0.1 на кВт·год. в залежності від типу станції та коефіцієнта використання встановленої потужності ВЕС). Зростання КВВП ВЕС веде до зростання вартості виробництва електроенергії на станціях, які резервують ВЕС.**

Таке зниження економічної ефективності при впровадженні ВЕС в умовах ринкового регулювання діяльності в електроенергетиці може суттєво знизити очікувані обсяги розвитку ВЕС в країнах, де впроваджені такі механізми. Це обумовлено тим, що включення в ціну електроенергії, виробленої на ВЕС, додаткових витрат на надійне енергозабезпечення споживачів - створення та підтримку необхідних рівнів резерву на електростанціях інших типів, ускладнення диспетчерського регулювання ОЕС, тощо викличе значне зростання цих цін. Враховуючи, що сьогодні конкурентоспроможність ВЕС по відношенню до інших типів електростанцій досить низька та їх впровадження забезпечується за рахунок законодавчої та економічної підтримки на державному та місцевому рівнях практично в усіх країнах, таке зростання цін або зробить ВЕС неконкурентоспроможними, або викличе необхідність збільшення державної підтримки. Поряд з цим наявність значних пільг на розвиток вітроенергетики ставить власників інших джерел енергопостачання в нерівні конкурентні умови, проти чого вони починають протестувати, і це стає також проблемою, яку необхідно вирішувати (подібна гостра ситуація вже склалася в Німеччині, Великій Британії, Нідерландах, тощо).

3. Низький КВВП, який не перевищує 0.2 - 0.25. Його підвищення планується забезпечити за рахунок розміщення ВЕС в морських акваторіях, де є значно більший вітропотенціал. Але це приведе до зростання вартості безпосередньо ВЕУ через необхідність використання

більш дорогих конструкційних матеріалів, а також викличе значне зростання витрат на мережі для забезпечення паралельної роботи ВЕУ та ОЕС (за даними Міжнародної Енергетичної Асоціації (МЕА) питомі капіталовкладення зростають приблизно вдвічі). Відзначимо, що додаткові витрати на розвиток та посилення мереж практично завжди необхідні при побудові ВЕС.

Враховуючи переваги та недоліки виробництва електроенергії на ВЕУ, можна зробити висновок, що швидкий розвиток виробництва електроенергії на базі ВЕУ та ВЕС буде можливим при виконанні всіх або хоча б декількох з наступних умов:

1. Підтримка громадськістю екологічно безпечніших напрямків розвитку електроенергетики, ніж традиційна електроенергетика на органічному та ядерному паливі і згода суспільства нести обумовлені цим додаткові витрати.

2. Значне зростання цін на органічне паливо, сплати за викиди токсичних газів та газів, що викликають парниковий ефект. Це суттєво підвищить конкурентоспроможність виробництва електроенергії на ВЕС

3. Збереження значних стимулюючих заходів для розвитку вітроенергетики - податкові пільги, дотації на виробництво обладнання та електроенергії, спорудження ВЕУ та ВЕС, тощо.

4. Успішне вирішення проблем забезпечення конкурентоспроможності ВЕС в умовах ринкового регулювання діяльності в електроенергетиці, які будуть узгоджені з виробниками електроенергії на електростанціях інших типів та компаній, що забезпечують диспетчеризацію роботи ОЕС.

5. Мінімальність витрат на забезпечення резервування ВЕС.

Якщо зазначені умови не будуть виконуватись, розвиток вітроенергетики матиме сумнівні перспективи.

Активний розвиток вітроенергетики у світі спостерігається з початку 80х років ХХ сторіччя за рахунок створення механізмів її підтримки, конкретизація яких у різних країнах відрізняється [2,3].

До найбільш поширених механізмів відносяться прямі дотації на виробництво електроенергії, надання податкових пільг, пільгове кредитування, прискорена амортизація, інформаційна та консалтингова підтримка, дотації на виробництво ВЕУ та на їх спорудження, гарантований тариф на електроенергію, яка вироблена на ВЕУ, тощо. Їх наявність обумовила досить високі відносні темпи зростання потужності ВЕУ у світі (дані по встановленій потужності ВЕУ в провідних країнах з найбільшою встановленою потужністю ВЕС наведені в табл. 2, загальна встановлена потужність ВЕУ у світі на квітень 1999 р. досягла 10 000 МВт). Поряд з цим, в абсолютних значеннях рівень розвитку ВЕС по відношенню до інших типів електростанцій незначний і практично не відіграє суттєвої ролі в енергопостачанні відповідних країн та світу.

Прогнози рівнів розвитку вітроенергетики у світі значно різняться, хоча всі вони передбачають подальше її зростання.

Найбільш оптимістичними є прогнози організацій, які зацікавлені в прискореному розвитку вітроенергетики. Так, на конференції IEA "Дослідження та розвиток вітроенергетики", яка проходила в Мадриді у квітні 1999 р., цими організаціями були наведені прогнози розвитку вітроенергетики на перспективу до 2010 р. Вони передбачають, що в країнах Європейського Союзу буде впроваджено ВЕУ загальною потужністю біля 40 000 МВт, а в

Таблиця 2. Рівні встановленої потужності ВЕУ в окремих країнах*, МВт

Країна	1995	1998	Темпи зростання, %
Німеччина	1137	2893	154.44
США	1770	1819	2.77
Данія	630	1380	119.05
Індія	550	992	80.36
Іспанія	Н/Д**	907	Н/Д**
Нідерланди	250	359	43.60
Велика Британія	193	330	70.98
Китай	Н/Д**	190	Н/Д**
Італія	23	154	569.57
Швеція	67	148	120.90

* за даними МЕА

** Н/Д - нема даних

США - 10 000 МВт. Передбачається також, що в цей період почнеться спорудження ВЕС у морі, як планують Нідерланди та Данія.

Поряд з цими вельми оптимістичними прогнозами існують і значно помірніші, за якими темпи розвитку виробництва електроенергії на ВЕУ очікуються в 2-3 рази нижчими. Так, за даними [3] в країнах Європейського Союзу прогнози передбачають виробництво електроенергії на ВЕУ на рівні 2010 р. біля 35-45 млрд.кВт-год. при встановленій потужності біля 20 ГВт. Зростання встановленої потужності ВЕУ до 40 ГВт очікується лише на рівні 2020 р. при загальних обсягах виробництва 80 - 100 млрд.кВт-год. В США обсяги впровадження ВЕУ за період 2000 - 2010 р.р. за цими прогнозами передбача-

ються на рівні 3300 МВт. Крім того, впровадження ринкового регулювання в електроенергетиці обумовлює значне скорочення кількості майданчиків, на яких вітропотенціал буде достатнім для забезпечення економічної доцільності будівництва ВЕС без значного підвищення рівня економічної підтримки розвитку вітроенергетики [3], що також може загальмувати темпи розвитку вітроенергетики в перспективі.

Рівень розвитку вітроенергетики в Україні сьогодні значно поступається досягнутому в багатьох інших країнах світу (див. табл.3).

Таблиця 3. Узагальнені дані з виробництва електроенергії ВЕС в Україні за станом на 01.01.2000 р.*, тис.кВт-год.

Потужність ВЕС, МВт	Вироблено електроенергії з постачанням в мережу		
	З початку експлуатації	За 1999 р.	КВВП за 1999р.
14,01	17575,86	3827,78	3,1%

* за даними [4]

Як видно з табл. 3, один з головних показників, які впливають на техніко-економічну ефективність ВЕС - КВВП, значно нижчий від проектного в середньому в 5 - 6 разів. Це пояснюється низькою надійністю встановлених ВЕУ, частина з яких є експериментальними та дослідно-промисловими зразками, та з меншим, ніж очікувалось, вітропотенціалом на майданчиках побудови ВЕС через відсутність на момент проектування точних даних з їх вітропотенціалу, що обумовлене наступним. Вибір ділянок для будівництва перших ВЕС базувався на інформації метеостанцій, яка недостатня для обґрунтування рішень про доцільність будівництва ВЕС. У світі для оцінки вітропотенціалу на перспективних ділянках проводиться цілий комплекс досліджень з використанням спеціальних інструментальних засобів та комп'ютерних програм, тривалість яких складає 1 - 2 роки. Відповідні засоби та програмне забезпечення в Україні з'явилися порівняно недавно. Тому лише зараз можна реально вибрати ділянки доцільного будівництва ВЕС на базі результатів досліджень з використанням цих засобів.

Низькі значення КВВП, поряд з іншими чинниками, обумовлюють те, що собівартість виробленої на ВЕС електроенергії у 3-5 разів вища за вартість електроенергії, виробленої на АЕС та ТЕС країни.

Як вже відзначалось, проблеми розвитку вітроенергетики в Україні сьогодні є предметом дискусій прихильників та супротивників цього напрямку розвитку електроенергетики країни.

Прихильники вітроенергетики апелюють в першу чергу до світового досвіду та суттєвого покращення показників ВЕС в останній час. Але вони, як правило, не беруть до уваги значну різницю в економічних умовах та стані електроенергетики в Україні, та в країнах, де вітроенергетика активно розвивається.

Супротивники, навпаки, акцентують головну увагу на недоліках вітроенергетики, випускаючи з поля зору те, що в перспективі ефективність вітроенергетики при зростанні цін на традиційні види палива та впровадженні квот на викиди газів, що викликають парниковий ефект, може суттєво підвищитись. **Відсутність можливості швидкого впровадження ВЕУ в значних обся-**

гах, що станеться при припиненні розвитку вітроенергетики в країні, в перспективі може привести до значних економічних збитків.

Враховуючи це, сьогодні потрібно визначити головні цілі та необхідні обсяги розвитку вітроенергетики в Україні на період до 2010 р., виходячи з конкретного стану електроенергетики в країні, економічних та інших можливостей.

Перспективи розвитку вітроенергетики в Україні на державному рівні були визначені в ПНВДЕ і базувалися на наступних оцінках щорічного вітроенергетичного потенціалу України: загальний потенціал в розмірі 270 млрд.кВт-год, з якого 30 млрд.кВт-год є потенціал, що технічно реалізується, а 3.8 млрд.кВт-год - потенціал, економічно доцільний для реалізації.

Цією програмою передбачалось забезпечити на рівні 2010 р. загальну потужність ВЕС у розмірі 1310 МВт при сумарних капіталовкладеннях в обсязі 6.94 млрд. гривень в цінах 1997 р. За середнім розрахунковим рівнем КВВП 0.2 - 0.25 щорічні обсяги виробництва електроенергії складуть 2.5 - 3.0 млрд.кВт-год. Виходячи з перспективної потреби у виробництві електроенергії, яка в 2010 р. оцінюється в 245 млрд.кВт-год, загальний вклад виробництва ВЕУ не перевищить 2% від потреб країни в електроенергії. За рахунок таких обсягів виробництва електроенергії реальна щорічна економія палива не перевищить 1 млн. т. п. Але наведені в ПНВДЕ показники, як свідчить аналіз, отримані без врахування системних обмежень на розвиток ВЕС в ОЕС країни, наявності резервів, стану основних фондів в галузі тощо. Враховуючи це, в Інституті загальної енергетики (ІЗЕ) НАН України було виконано системні дослідження з оцінки показників, які характеризують розвиток та функціонування генеруючих потужностей України при різних рівнях розвитку вітроенергетики на базі проведення багатоваріантних розрахунків з використанням вдосконалених оптимізаційних моделей, які мають певні особливості при моделюванні покриття графіків навантажень при впровадженні ВЕС по відношенню до раніше розроблених моделей [5- 6].

Формально покриття приведенного трьохзонного графіка навантажень [7] з використанням розроблених в ІЗЕ НАН України методах моделювання [5 - 6] може бути описане наступними співвідношеннями (для спрощення розглядаються лише ТЕС, через певні особливості роботи інших типів електростанцій, які не дозволяють їх залучувати до резервування ВЕС через економічні або технологічні обмеження).

Введемо наступні константи, змінні та індекси:

m, m' - індекс зони, $m=1, 2, 3$, $m'=1, 2, 3$, m, m' - індексація зон при потужності ВЕС, яка дорівнює 0, і яка дорівнює номінальній;

i - індекс технологій;

f - індекс режиму роботи технологій;

P - рівень навантаження;

Q - потужність ВЕУ;

k_{if} - коефіцієнт аварійності при роботі i типу ТЕС в f режимі;

N_{imf} - частка використання потужності при покритті m зони i типом ТЕС працюючих у f режимі;

H_m - тривалість m зони, годин.

X_i - встановлена потужність i типу ТЕС;

Y_{if}, Y'_{if} - потужність ТЕС, що використовується в режимі f при покритті балансу при потужності ВЕС, яка до-

рівнює 0, і яка дорівнює номінальній;

Баланс потужності можна записати при нульовій потужності ВЕС:

$$\sum_i \sum_f k_{if} * N_{imf} * Y_{if} = P_m \quad (1)$$

і в наступному вигляді при номінальній:

$$\sum_i \sum_f k_{if}' * N_{im}' * Y_{if}' = P_m' - Q \quad (2)$$

Рівняння зв'язку мають вигляд:

$$X_i \geq \sum_f Y_{if} \quad (3)$$

$$X_i \geq \sum_f Y_{if}' \quad (4)$$

Як критерій використовувався мінімум приведених витрат на розвиток та функціонування генеруючих потужностей ОЕС України.

При проведенні розрахунків як базові значення були прийняті питомі капіталовкладення на будівництво ВЕУ в розмірі \$1000 на кВт, а значення КВВП ВЕУ дорівнювало 20%. Вартість палива: природний газ - \$70 за т. п., вугілля - \$40 за т. п., мазут - \$100 за т. п.

При визначенні дефіциту генеруючих потужностей в ОЕС України був виконаний аналіз стану основних фондів електроенергетики, який показує, що сьогодні в країні лише формально існує значний резерв генеруючих потужностей. Без прийняття невідкладних заходів в найближчий час з реконструкції та модернізації існуючих енергоблоків на ТЕС та ГЕС, введення в роботу потужностей на АЕС і ГАЕС (в будівництво яких вже вкладені значні кошти і які в існуючому недобудованому стані потребують постійного фінансування), реабілітації системоутворюючої та розподільних електричних мереж та їх розвитку, забезпечити надійне енергопостачання країни буде неможливо. Розрахунки показують, що дефіцит генеруючої потужності може скласти в 2005 р. 8 - 12 ГВт, а в 2010 р. - досягти 26 - 28 ГВт в залежності від рівнів споживання та експорту електроенергії.

Дослідження розвитку структури генеруючих потужностей енергосистеми України були проведені для трьох варіантів розвитку вітроенергетики (див. табл. 4). При цьому до оптимального плану "примусово" вводились різні рівні потужностей на ВЕС (це забезпечувалось введенням рівнянь змісту: "встановлення потужності ВЕС в відповідний період дорівнює певному значенню"), бо з точки зору вибраного критерію оптимізації впровадження ВЕС невиправдане.

Як максимальний варіант розвитку ВЕУ був прийнятий варіант, запланований у ПНВДЕ (див. табл. 4, "Максимальний розвиток ВЕУ"). Він передбачав введення потужності на ВЕУ в обсягах 300 МВт за період 2001-2005 р.р. і ще 1000 МВт за період 2006 - 2010 р.р.

Варіант "Помірний розвиток ВЕУ" передбачав середньорічні обсяги їх впровадження 26-30 МВт в інтервалі 2001 - 2005 р.р. та 115-125 МВт за період 2006 - 2010 р.р.

При відсутності економічних стимулів для розвитку ВЕУ досить вірогідним є варіант "Відмова від розвитку ВЕУ". В ньому враховано значну інерційність розвитку електроенергетики, реальні жорсткі інвестиційні обме-

ження - \$11-14 млрд. на період 2001-2010 р.р., збереження помірних цін на вугілля та природний газ у найближчі 10 років.

Аналіз результатів моделювання свідчить (табл. 4), що рівні розвитку вітроенергетики досить суттєво впливають на розвиток структури генеруючих потужностей.

Таблиця 4. Узагальнені показники структури генеруючих потужностей енергосистеми України при різних варіантах впровадження ВЕУ

Показник	Одиниця виміру	Факт	Відмова від розвитку ВЕУ		Помірний розвиток ВЕУ		Максимальний розвиток ВЕУ	
		1998	2005	2010	2005	2010	2005	2010
Встановлена потужність, в т.ч.	МВт	53902	51730	54721	51870	55561	52030	56071
ВЕУ	МВт	2	10	10	150	750	310	1310
ПГУ з КУ*	МВт	0	0	1200	0	1600	0	1900
Виробництво електроенергії	млрд. кВт·год	172.9	210.0	245.0	210.0	245.0	210.0	245.0
Сумарні капіталовкладення на кінець періоду	млн. \$	150.0	3450.0	10872.5	3605.0	11922.5	3765.0	12737.5
Витрачено палива на виробництво електроенергії, в т.ч.	млн. т у. п.	28.55	39.43	44.56	39.33	44.03	39.21	43.71
Газ	млн. т у. п.	11.1	10.1	10.9	10.1	11.5	10.0	11.6
Вугілля	млн. т у. п.	15.89	27.82	32.04	27.62	30.98	27.61	30.52
Мазут	млн. т у. п.	1.56	1.5	1.64	1.61	1.58	1.6	1.57
Питомі витрати палива на виробництво електроенергії	г у.п./кВт·год	369.0	335.7	338.6	335.7	338.7	335.7	339.4
Вартість палива	млн. \$/рік	1568.6	1970.5	2207.2	1972.80	2199.69	1964.4	2191.2
Викиди SO ₂	тис. т/рік	1075.25	1392.82	1441.27	1391.39	1395.25	1382.57	1366.37
Викиди NO _x	тис. т/рік	384.51	498.07	526.99	497.57	514.94	494.52	501.76
Викиди золи в атмосферу	тис. т/рік	12.13	19.97	20.88	19.90	20.08	19.81	19.72
Викиди CO ₂	тис. т/рік	67985.4	97122.0	106980.0	96871.2	104170.5	96583.6	102954.0
Викиди золи в золовідвали	тис. т/рік	3956.27	6515.53	8863.62	6493.71	8629.13	6468.77	8524.36

* - парогазові установки з котлами - утилізаторами

Варіанти, в яких обсяги впровадження ВЕС є вищими, характеризуються:

1. Більшою встановленою потужністю, через необхідність практично 100% резервування ВЕС іншими типами електростанцій.

2. Заміщенням в структурі генеруючих потужностей вугільних ТЕС з паротурбінними енергоблоками ПГУ, маневрові характеристики яких значно вищі.

3. Додатковими витратами на поліпшення та розвиток систем управління ОЕС та маневрових можливостей значної частки вугільних енергоблоків.

Мінімальний рівень інвестицій, необхідний для забезпечення надійного покриття потреб країни в електроенергії, при відмові від розвитку ВЕС, складає \$10.83 млрд., в той час, як варіант максимального розвитку вітроенергетики потребує більших інвестицій як на забезпечення безпосереднього розвитку вітроенергетики, так і на створення резервних потужностей, а саме \$12.74 млрд. Але в перспективі після 2010 р. при зрос-

танні цін на органічне паливо та запровадженні податку на викиди CO₂ різниця витрат за цими сценаріями може знизитися. Більш того, можуть виникнути умови, за яких варіант максимального розвитку вітроенергетики стане економічно ефективнішим за варіант відмови від нього. Тому повна відмова від розвитку вітроенергетики нецільна.

Для ОЕС України характерною є значна частка базових електростанцій в структурі генеруючих потужностей, що вкрай ускладнює регулювання частоти та потужності в енергосистемі, а впровадження в значних обсягах ВЕУ ще більш загострить цю проблему. Причому в цих умовах однією з головних проблем стає проходження мінімумів навантаження ОЕС, що потребує зростання потужності обладнання з високими маневровими характеристиками, якими можуть бути в зазначений період ПГУ з КУ. Можливе також примусове виведення з роботи ВЕС в періоди мінімуму навантажень навіть при наявності вітру, що значно знизить їх КВВП і, як наслідок,

зросте собівартість виробництва електроенергії на них. Тому без впровадження механізмів економічної підтримки - дотації на спорудження ВЕУ та/або на виробництво, інвестиції коштів в їх розвиток будуть недоцільні. Для визначення необхідних рівнів дотацій для забезпечення конкурентоспроможності ВЕС в умовах ринкового регулювання необхідно розрахувати собівартість виробництва електроенергії на ВЕС та порівняти її з собівартістю виробництва з використанням інших джерел. Ці розрахунки виконані з використанням методики фінансових потоків (cash-flow), яка є основним інструментом моделювання при оцінці інвестиційних проектів та дозволяє моделювати життєвий цикл будь-якої технології з врахуванням її економічного "оточення".

При проведенні розрахунків враховувалось, що в умовах ринкового регулювання в електроенергетиці робота ВЕС буде можлива лише при наявності довгострокових договорів на постійне резервування їх роботи з генеруючими компаніями, у складі яких є ТЕС, що можуть це забезпечити. Звісно, що економічні показники ТЕС, які залучені до такого резервування, суттєво погіршуються через зменшення їх КВВП, і це повинно бути фінансово скомпенсовано. Тому ціни на електроенергію, вироблену на ВЕС, повинні забезпечувати можливість покриття додаткових витрат на забезпечення резервів, що і передбачалось при обчисленні собівартості її виробництва. Для визначення цих додаткових витрат порівнювалась собівартість роботи ТЕС без урахування витрат на резервування ВЕУ, та при роботі в режимах резервування ВЕУ, тобто при зниженні КВВП ТЕС приблизно на 20%.

Для забезпечення конкурентоспроможності ВЕС собівартість виробництва електроенергії на них, з урахуванням додаткових витрат на компенсацію зниження економічної ефективності ТЕС, які забезпечують їх резервування, повинна не перевищувати собівартості виробництва на інших типах електростанцій з якими будуть конкурувати ВЕС та резервуючих їх ТЕС.

Розрахунки показують (див. табл. 5, 6), що при рівні капіталовкладень на будівництво ВЕС в обсязі \$600 за кВт, нижня оцінка собівартості виробництва електроенергії на них перевищує нижні оцінки собівартості КЕС ВО при всіх рівнях вартості палива та на ПГУ з КУ при високих цінах на газ. При низьких цінах на газ нижня оцінка собівартості на ВЕС практично дорівнює верхній оцінці собівартості на ПГУ з КУ.

Враховуючи це, а також невизначеність показників у перспективі, при виконанні досліджень з прогнозування розвитку вітроенергетики можливо прийняти рівень капіталовкладень у ВЕС, які забезпечують їх конкурентоспроможність, \$600 за кВт. При вартості будівництва ВЕС у \$1000 за кВт необхідний рівень субсидій складе \$400 за кВт, або 40%, і без значної державної підтримки розвиток вітроенергетики здійснити в країні буде неможливо, що і підтверджує створення в країні фонду для розвитку вітроенергетики, наповнення якого забезпечується ці-

льовою надбавкою в розмірі 0.75% до вартості електроенергії.

Проведені розрахунки свідчать, що при вирішенні питань платежів за електроенергію та наповнення фонду відповідно до прийнятих рішень на період до 2010 р. до фонду можна залучити біля \$550 млн. При рівні 40% дотацій для забезпечення конкурентоспроможності ВЕУ, виключно з фінансової точки зору цих коштів достатньо для їх впровадження в обсягах біля 1350 МВт на період 2001-2010 р.р. Але для впровадження ВЕУ, необхідно забезпечити наявність відповідних системних резервів, за рахунок додаткових генеруючих потужностей та покращення маневрових можливостей енергосистеми України. Це звісно також потребує додаткових інвестицій.

Враховуючи вкрай складну ситуацію з фінансуванням значно більш пріоритетних заходів для забезпечення можливості сталого електропостачання країни - розблокування потужності на Запорізькій АЕС, на якій сьогодні в змозі працювати лише 5 енергоблоків при встановлених 6, добудову Ташлицької та Дністровської ГАЕС, реконструкції та модернізації існуючих теплових електростанцій на органічному паливі, реконструкції ГЕС, тощо, очікувати на можливість виділення додаткових інвестицій для забезпечення можливості роботи ВЕУ при значних масштабах їх розвитку практично не реально. Реальним джерелом інвестицій для забезпечення можливості роботи ВЕУ може бути лише фонд розвитку вітроенергетики, причому ці інвестиції можуть бути надані на комерційних засадах, наприклад пільгові кредити, враховуючи що додаткові витрати ОЕС будуть скомпенсовані через надання дотацій на спорудження ВЕУ. Такий захід дасть можливість забезпечити розвиток вітроенергетики на період до 2010 р.

Виконані дослідження і розрахунки по визначенню максимально можливих обсягів впровадження ВЕУ при забезпеченні достатніх інвестицій на забезпечення додаткових системних резервів ОЕС України за рахунок коштів фонду підтримки розвитку вітроенергетики. Їх результати показують, що в розглянутий період можливо забезпечити впровадження 730 - 760 МВт на ВЕУ та необхідні інвестиції на збільшення системних резервів ОЕС України для їх впровадження за рахунок коштів фонду.

Висновки.

1. В більшості промислово розвинутих країн світу (США, Німеччина, Голандія, Данія та інші) зараз спостерігається інтенсивний розвиток вітрової енергетики з дуже високими середньорічними темпами зростання (30-50% і навіть більше).

2. На сьогодні такі темпи зростання обсягів використання цієї технології забезпечуються різноманітними пільгами та дотаціями, розміри яких становлять 20-50%, а в деяких країнах навіть більше. В перспективі (через 10 - 15 років) ця технологія може стати конкурентоспро-

Таблиця 5. Оцінка собівартості виробництва електроенергії на ВЕС

Питомі капіталовкладення, \$/кВт	КВВП, %	Середня собівартість, \$/МВт-год	Додаткові витрати, \$/кВт-год	Загалом, \$/МВт-год
1000	0.2	40 – 42	6 – 9	46 – 51
700	0.2	28 – 30	6 – 9	34 – 39
600	0.2	25 – 27	6 – 9	31 – 36
500	0.2	21 – 23	6 – 9	27 – 32

Таблиця 6. Оцінка собівартості виробництва електроенергії на ТЕС

Технологія	Питомі капіталовкладення, \$/кВт	Вартість палива, \$/т у. п.	Нове будівництво чи реконструкція та модернізація	Собівартість, базовий режим, \$/МВт-год	Собівартість, маневровий режим, \$/МВт-год
КЕС ВН*	300	40	Реконструкція	20 - 22.5	26 - 28.5
	300	30	Реконструкція	17.5 - 19.2	23.5 - 26
КЕС ВО**	900	40	Реконструкція	29.1 - 31.2	35 - 37
	900	30	Реконструкція	25.7 - 27.1	31 - 33
ПГУ з КУ	750	90	Нове будівництво	29.8 - 32.3	34.5 - 36
	750	50	Нове будівництво	20.4 - 23.1	25.5 - 29

* Вугільні паротурбінні (ПТУ) конденсаційні електростанції без засобів зниження викидів NOx і SO₂

** Вугільні паротурбінні (ПТУ) конденсаційні електростанції з засобами зниження викидів NOx і SO₂

можною по відношенню до традиційних технологій (ТЕС та АЕС) в зв'язку із зростанням цін на паливо і збільшенням податків на шкідливі викиди (окиси сірки та азоту, парникові гази).

3. Складною проблемою системного характеру, яка буде стримувати розвиток вітрової енергетики, при її масовому використанні, є необхідність створення необхідного системного резерву. Цей резерв забезпечує електропостачання споживачів в той час, коли ВЕС не функціонує через відсутність (недостатність) вітру. Загальна потужність такого резерву дорівнює сумарній встановленій потужності всіх ВЕУ, він реалізується на додаткових маневрових потужностях ТЕС.

4. В Україні створені умови для розвитку вітроенергетики завдяки функціонуванню фонду її підтримки, в який відраховуються кошти в обсязі 0,75% від вартості спожитої енергії.

5. Аналіз і розрахунки показують, що для забезпечення конкурентоспроможності вітроенергетики в Україні обсяги дотацій з фонду її розвитку в спорудження ВЕУ повинні становити не менше 40%.

6. Багатоваріантні оптимізаційні розрахунки показали, що за таких умов і з урахуванням створення системного резерву обсяги впровадження ВЕУ в Україні повинні становити до 2005 р. 150 МВт, та до 2010 р. 750 МВт. При цьому на рівні 2005 р. на ВЕУ повинно бути вироб-

лено біля 0.3 млрд. кВт-год (0.14% від загального споживання електроенергії) та на період до 2010 р. - біля 1.5 млрд. кВт-год (0.63%).

7. Впровадження ВЕУ, передбачене Програмою державної підтримки розвитку нетрадиційних джерел енергії, малої гідро- та теплоенергетики в обсягах 300 МВт у 2005 р. і 1310 МВт у 2010 р., не може бути забезпечене через нестачу коштів в фонді підтримки розвитку вітроенергетики на створення системного резерву за п.3. В зазначеній Програмі створення цього резерву не передбачалось.

8. Для забезпечення розвитку вітрової енергетики в Україні необхідно на державному рівні вирішити наступні задачі:

- Створення механізмів державної підтримки розвитку вітроенергетики в ринкових умовах з урахуванням необхідності інвестицій на додаткові системні резерви для забезпечення можливості роботи ВЕС.
- Створення системи підготовки фахівців в області вітроенергетики.
- Налагодження виробництва потужних ВЕУ та освоєння їх ефективної експлуатації.

При вирішенні цих задач та наявності сприятливих умов потужність ВЕУ в країні може бути доведена до 750 МВт у 2010 р. до 1200 -1500 МВт у 2015 р., 2000 -3000 МВт у 2020 р.

1. В.Г. Шульга. К вопросу о некоторых прогнозах развития ветроэнергетики // Энергетика и Электрофикация. - 2000. - № 3. - С. 32-36.
2. П.П. Безруких. Что может дать энергия ветра? // Энергия: экономика, техника, экология. - 2000. - № 1. - С. 11-17
3. Renewable Energy Policy in IEA Countries. Vol. II: Country Reports, Date Published: October 1998. - ISBN 92-64-16186-4. - 253 p.
4. Паливно-енергетичний комплекс України: стан, проблеми та перспективи: Інформаційно-аналітична записка / НТСЕУ, ІНЕД. - К.: 2000. - 227 с.
5. Кулик М.Н., Юфа А.И., Дунаев В.Н. и др. Оптимизация республиканского топливно-энергетического комплекса и его отраслевых систем. - К.: Наукова Думка, 1992. - 216 с.
6. Костюковський Б.А., Шульженко С.В., Гольденберг І.Я., Власов С.В. Методи та засоби дослідження перспектив розвитку електроенергетики в умовах впровадження ринкових відносин // Проблеми загальної енергетики. - 2000. - №2. - С. 6 - 14.
7. Костюковский Б. А., Ласкаревский В. И., Крысанов Д. В., Парасюк Н. В. Об одном алгоритме метода "вертикального зонирования" // Большие системы энергетики. - К.: АН УССР, Ин-т проблем энергосбережения. - 1989. - С.69-73