

**УДК 621.311**

## **ЕКОНОМІЧНИЙ КРИТЕРІЙ ПОБУДОВИ КОМБІНОВАНОЇ ЕНЕРГОСИСТЕМИ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ**

**М.П.Кузнєцов, докт.техн.наук,**  
Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, м. Київ  
тел. (044) 206-28-09, e-mail: nik\_ku@ukr.net.

*Предметом дослідження є пропорції вітрової та сонячної генерації, що забезпечують задані вимоги до надійності при мінімальній собівартості електроенергії. Для пошуку оптимального рішення за критеріями ризику-доходу застосовано математичну модель стану комбінованої енергосистеми з різнотипними ВДЕ. Ризик визначено як варіативність випадкової складової балансу генерації та споживання.*

**Ключові слова:** комбінована енергосистема, відновлювані джерела енергії, собівартість, ризик, оптимізація.

## **ECONOMIC CRITERION FOR COMBINED ENERGY SYSTEMS WITH RENEWABLE ENERGY**

**M. Kuznietsov, doc. of tech. science,**  
Institute of renewable energy NASU, Kyiv

*The subject of the study is the proportions of wind and solar generation, which provide the set requirements for reliability with minimal cost of electricity. To find the optimal solution for the risk-income criteria, a mathematical model of*

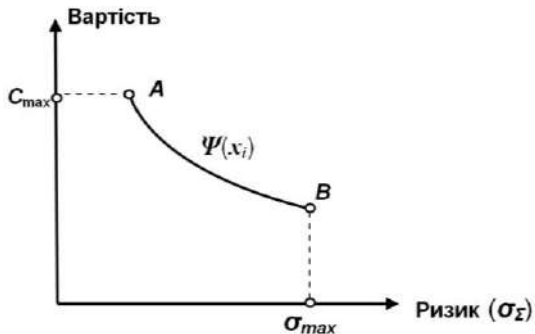
*the state of combined grid with different types of RES was applied. Risk can be defined as a variation of the random component of the generation and consumption balance.*

**Keywords:** *combined power system, renewable energy sources, cost, risk, optimization.*

**ORCID:** 0000-0002-0497-7439.

Більшість проблем локальних енергосистем (ЛЕС) на основі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) пов'язано з нерівномірним режимом генерації. Поєднання різнотипних джерел енергії здатне знизити гостроту проблеми [1], вирівнявши режим генерації і зменшивши випадкову складову. Головною економічною умовою при побудові локальної енергосистеми (ЛЕС) виступає, як правило, мінімізація собівартості електроенергії. Однак у випадку застосування ВДЕ важливою є надійність забезпечення балансу, враховуючи мінливу природу генерації таких ВДЕ, як вітрові (ВЕС) та сонячні (СЕС) електростанції.

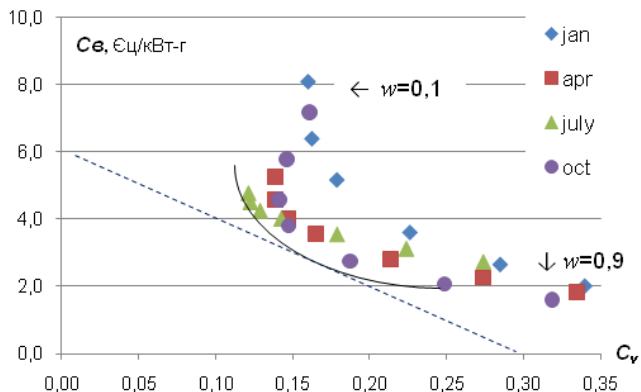
Оскільки імовірнісна природа ВДЕ обумовлює ризик залишитися без достатнього енергопостачання або істотно знижує надійність останнього, виникає проблема виміру ризику і його впливу на вартість енергії. При двох критеріях оптимальності собівартість отриманої з ВДЕ електроенергії має порівнюватися з альтернативним без ризиковим джерелом (мережею чи керованим джерелом енергії) [2]. Графічна інтерпретація оптимальних рішень при множині можливих конфігурацій ЛЕС та обмеженнях на допустиму вартість і рівень ризику, який визначається варіативністю генерації, зображена на рис. 1.



**Рис. 1. Арбітражна крива оптимальності при обмеженнях.**

Точки кривої  $\Psi(x_i)$ , що є обвідною області значень стану ЛЕС, задаються вектор-функцією  $\Psi(R, w, \sigma, C_v \dots)$ , що описує конфігурацію та стан ЛЕС з різнотипними ВДЕ (аналог кривої ризику-доходу Марковіца, але задача на мінімум вартості, а не максимум доходу). Тут  $R$  - сумарна потужність ВДЕ,  $w$  - пропорція потужностей ВЕС/СЕС,  $\sigma$  та  $C_v$  - стандартне відхилення та коефіцієнт варіації енергобалансу, тощо.

На рис. 2 зображено множину станів ЛЕС  $\Psi(x_i)$  при різних пропорціях ВДЕ в термінах кривої ризику-доходу Марковіца (в даному випадку їх аналогом є коефіцієнт варіації  $C_v$  та собівартість  $C_{\sigma}$ ). В якості початкових даних використано типові собівартості ВЕС та СЕС [3], а варіативність і енергетична ефективність (чи  $K_{ВВП}$ ) притаманні різним місяцям впродовж року. Обвідна, що огинає знизу множину станів, є лінією можливих оптимальних значень. Якщо потужність ВДЕ постійна, тоді лише  $w$  є змінним параметром, а показники  $K_{ВВП}$  залежать від пір року. Вони також можуть бути змінними параметрами множини станів, якщо йтиметься про вибір обладнання ВДЕ з різними характеристиками.



**Рис. 2. Множина значень ризику-доходу для різних станів.**

Обвідна множини станів на рис. 2 характеризує найкращі варіанти роботи ЛЕС, по суті їх граничні значення. Однак помітно, що за винятком зими більшість станів має близькі значення. Отже, нижню обвідну можна вважати лінією оптимальних значень. Відповідно до методу Дж. Тобіна точкою оптимуму має бути пропорція  $w=0,8$  з показниками  $C_v=2,5$  €ц/кВт·год,  $C_r=0,17$ . Мова йде про собівартість електроенергії, отриманої від ВДЕ, а варіативність стосується загального балансу споживання. Наявність обмежень у вигляді  $C_v < C_v^{\max}$  чи  $C_r < C_r^{\max}$  приводить до появи арбітражної зони оптимальних розв'язків, як на рис. 1.

Якщо варіюється загальна потужність ВДЕ та пропорція ВЕС/СЕС, то зростання загальної потужності ВДЕ зменшує відносну варіативність, прийняту як міру ризику. Очевидно, абсолютні показники варіативності при цьому зростатимуть, що має вплинути на потребу в регулюючих потужностях. Можна у складі капітальних

витрат враховувати наявність резервних потужностей, наприклад акумуляторних батарей, тоді собівартість енергії зростатиме пропорційно вартості акумуляторів, а варіативність зменшуватиметься як обернено пропорційна потужності акумуляторів. Оскільки зазначені вартість та потужність пов'язані лінійно, то арбітражна зона  $\Psi(x)$  на рис.1 буде близькою до прямої. Однак загальна потреба в акумуляторах визначатиметься додатковою варіативністю від впливу ВДЕ та заданою вимогою до надійності, а ці залежності є нелінійними [4].

Наведені приклади стосуються певних кліматичних умов, характеру споживання енергії, технічних та вартісних показників обладнання. Однак загальний характер поведінки параметрів, за якими можна оптимізувати енергосистему з ВДЕ, має схожий вигляд незалежно від масштабу – як для окремого населеного пункту, так і для їх групи чи регіональної енергосистеми в цілому.

#### **Література:**

1. Kuznetsov N., Smertiuk V., Lysenko O., Nesterchuk D., Adamova S. *Optimizing the Ratio of Wind and Solar Power Stations // Problemele energeticii regionale. Kishinev: 2018, №3(38). – С.127-140.*
2. Велькин В.И. *Методология расчета комплексных систем ВИЭ для использования на автономных объектах: монография / Екатеринбург: УрФУ, 2015. – 226 с.*
3. Кузнецов М.П., Лисенко О.В., Мельник О.А. *Задачі оптимізації комбінованих енергосистем за економічними критеріями // Відновлювана енергетика – 2019, №4. – С.6-14.*
4. *Overview of the Energy Storage Possibilities to Support the Electrical Power System. Research Paper . István Táczsi ERRA Budapest, Hungary 2016. - 47 p.*