

На основі проведеного дослідження було узагальнено та систематизовано основні напрями для прискорення використання відновлюваних джерел енергії в Україні та подолання існуючих бар'єрів:

- проведення стабільної та прогнозованої політики щодо відновлюваної енергетики;
- проведення міжнародних кампаній для заохочення входу на ринок відновлюваних джерел енергії України міжнародних фінансових та стратегічних інвесторів;
- збільшення вітчизняних і зарубіжних інвестицій у нові потужності шляхом спрощення процедури отримання “зелених тарифів”, розвитку стимулів для невеликих інвесторів та створення фінансування через доступні кредитні продукти, такі як кредитна гарантія, що використовуються у світовій практиці;
- поширення інформації про ресурсний потенціал, вартість та переваги відновлюваних джерел енергії серед населення та бізнесу;
- використання місцевих виробничих потужностей для створення ринку обладнання для виробництва відновлюваної енергії;
- збільшення використання біомаси у генерації електро- та теплоенергії шляхом:
- стимулювання використання біомаси як палива на підприємствах, де біомаса є залишковим продуктом;
- розробка системи збору сільськогосподарських відходів;
- інформування про можливості використання біомаси як палива в індивідуальному теплопостачанні;
- інвестувати в інфраструктуру для сталого відновлення лісової біомаси;
- сприяння створенню конкурентних ринків біомаси.
- прискорення розвитку малого гідроенергетичного потенціалу та запровадження додаткових великих гідроакumuлюючих проєктів;
- впровадження технологій і практики залучення споживачів у енергетичному переході до інтелектуальних мереж та суцільного обліку енергії (Smart Grids, Smart Metering), “розумних міст”, “розумних побутових приладів”, “домашніх” систем автоматизації;
- впровадження ефективних енергетичних систем та освоєння технологій для переведення загального фонду будівель з вищою енергоефективністю, маючи на меті у подальшому їх приведення до енергетично нейтрального (пасивного) стану;
- впровадження більш сталих та енергоефективних транспортних систем, у яких послідовно впроваджуються інноваційні технології і послуги для підвищення енергоефективності та скорочення викидів парникових газів, у т.ч. широке запровадження муніципального та індивідуального пасажирського та вантажного електротранспорту [5; 8; 9].

Отже, для України єдиним довгостроковим економічно та екологічно обґрунтованим рішенням для подальшого розвитку є інтенсифікація використання відновлюваних джерел енергії. Україна має можливості для використання всіх відновлюваних джерел енергії: сонячної, вітрової, водної, біомаси та геотермальної. У час, коли країна стикається із значними економічними проблемами, серед яких і збільшення залежності від імпорту енергії, і нагальна необхідність оновлення застарілого енергетичного обладнання та технологій, необхідно почати активніше використовувати відновлювану енергетику, оскільки це сприятиме зменшенню залежності від імпортованого природного газу та диверсифікації енергопостачання, екологізації енергетики, створенню робочих місць (особливо в сільській економіці), надходженню іноземних інвестицій та стимулюванню економічної діяльності.

2.7. Аналіз потенціалу відновлюваних джерел енергії на територіях непридатних для сільськогосподарського виробництва

© Кузнєцов М. П.

д.т.н., с.н.с., Інститут відновлюваної енергетики НАН України, м Київ, Україна

© Лисенко О. В.

к.т.н., доцент, Таврійський державний агротехнологічний університет, м Мелітополь, Україна

Використання непридатних для сільського господарства територій з метою отримання енергії з відновлюваних джерел має ряд аспектів економічного, соціального, екологічного спрямування. В Україні до таких територій можна віднести багато землі, починаючи від занедбаних кар'єрів і солончаків до пустелі “Олешківські піски” і Чорнобильської зони.

Використання комбінованих систем генерування на базі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) є напрямом, який активно розвивається. Однак застосування ВДЕ нерідко породжує питання про вплив на надійність роботи енергосистеми. Так, стабільність електропостачання від сонячних (СЕС) і вітрових (ВЕС) електростанцій залежить від погодних факторів і є слабо передбачуваною [23; 19].

У випадку з непридатними для сільського господарства районами можлива установка значних обсягів ВЕС і СЕС (а в Чорнобильській зоні це, за різними оцінками, кілька сотень або навіть тисяч мегават). Їх локалізація по відношенню до загальної електромережі в вигляді деякого кластера вимагає спеціального дослідження, яке враховувало б вірогідну природу енергії, що генерується цими станціями.

Змінний і слабо прогнозований характер видачі потужності, властивий вітровій та сонячній енергетиці, може привести до негативного впливу на режими роботи енергосистеми. Значне впровадження ВДЕ, якщо воно не супроводжується технологіями акумулювання енергії, вимагає додаткового регулювання потужності енергосистеми, щоб збалансувати поточні коливання не тільки споживання, але і енергії, що генерується [15]. Крім того, збільшення частки ВЕС і СЕС в енергосистемі буде витіснити традиційні електростанції, що ускладнить можливість регулювання частоти і напруги в разі втрати генерації або навантаження [20]. Баланс споживання електроенергії і регулювання частоти – основні технічні проблеми в енергосистемах зі значним рівнем впровадження ВДЕ [8].

Так, набліжена оцінка “міцності” мережі може визначатися відношенням потужності короткого замикання на системних шинах до потужності ВДЕ. Однак при такому підході не враховуються динамічні властивості власне джерела енергії, а саме характеру поведінки його потужності, розглядається тільки загальна потужність. Це ж стосується стійкості енергосистеми [12; 18; 21]. Так, відповідно до СОУ-Н [24] вплив перепадів потужності на стійкість визначається таким показником, як коефіцієнт запасу стійкості активної потужності в контрольованому перерізі електромережі:

$$K_p = \frac{(P_{гр} - P - \Delta P)}{P_{гр}}, \quad (2.2)$$

де $P_{гр}$ – гранично допустима активна потужність перетікання;

P – поточне перетікання потужності в перетині;

ΔP – амплітуда нерегулярних коливань активної потужності.

Під впливом флуктуацій потужності перетікання змінюється в межах $P \pm \Delta P$, і саме розмах нерегулярних змін є визначальним при розрахунку запасу стійкості. Якщо всю потужність ВДЕ вважати неконтрольованою, це накладає досить жорсткі обмеження на її обсяг. Однак робота ВЕС і СЕС характеризується наявністю певної середньої потужності і стохастичною складовою, що розглядаються як функції часу [5; 7; 9]. Середня потужність може вважатися добре прогнозованою на короткострокову перспективу, і вважатися контрольованим параметром [17; 21]. Тоді обмеження повинні бути накладені тільки на стохастичну складову, яка і визначає величину аварійно допустимого перетоку в перерізі.

Зміна частоти струму в мережі також залежить від того, наскільки значним було порушення балансу потужності [8]. Саме зростання активного навантаження споживачів або зниження активної потужності генераторів в першу чергу викликають падіння частоти в системі.

Отже, встановлення дійсного характеру мінливості поточної потужності об'єктів відновлюваної енергетики необхідно для розрахунку допустимих безпечних рівнів впровадження ВДЕ або додаткових потреб в регулюючих потужностях. Для цього потрібно мати адекватну модель спільної роботи генеруючої групи і споживача з урахуванням можливої природи кожного з об'єктів.

Оскільки взяті окремо такі джерела відновлюваної енергії, як сонце чи вітер, мають високий рівень непередбачуваної мінливості, доцільно комбінувати їх з більш регульованими джерелами енергії [16]. Проблемним питанням при створенні такої системи є оптимізація її складу і режимів роботи [22].

Оптимізація здійснюється головним чином за економічними показниками, проте при наявності ВДЕ в якості додаткових умов виступає забезпечення певного рівня надійності подачі енергії. Оскільки умова балансу потужності може виконуватися не в кожен момент часу, показники (індекси) надійності повинні визначатися як ймовірні величини [1].

Ці показники можуть бути отримані двома основними методами, а саме: аналітичним і імітаційним.

Аналітичне визначення функцій розподілу випадкових величин дозволяє безпосередньо розрахувати шукані індекси, однак вибір таких функцій вимагає попереднього вивчення достатнього набору статистичних даних і прийняття деяких гіпотез про характер розподілу. Такий підхід дає змогу узагальнити наявні дані, спростити розрахунки для великої кількості можливих комбінацій об'єктів [5; 22].

Обсяг виробленої або спожитої електроенергії може бути розрахований в залежності від способу опису потужності. При відомій аналітичній або статистичній залежності від часу формула для визначення енергії буде мати вигляд: $E(T) = \int_0^T P(t)dt$ або $E(T) = \sum_i^N \Delta t \cdot P_i$, де $T = \Delta t \cdot N$ – загальний час генерації.

Якщо відома функція $f(x)$ щільності розподілу змінної x , яка визначає наявність енергоносія (швидкість вітру або сонячну радіацію), то:

$$E(T) = \int_0^{\infty} P(x)f(x)dx, \quad (2.3)$$

де $P(x)$ – відомі характеристики потужності генераторів.

Отже, можна визначити всю генеровану за час T енергію, або все споживання. Однак визначення індексів надійності енергозабезпечення вимагає синхронного зіставлення генерації і споживання, для визначення поточних надлишків або недостатності енергії.

Якщо незалежною змінною вважати поточне значення потужності, то при відомій функції розподілу власної потужності $f_p(x)$ енергія буде визначатися формулою:

$$E(T) = T \int_0^{\infty} p f_p(p) dp, \quad (2.4)$$

де інтеграл визначає математичне сподівання потужності на інтервалі часу T .

Якщо споживання відбувається в певних межах, наприклад $P_1 < P_{\text{спож}}(t) < P_2$ [6], то використання генерованої енергії можна описати [14]:

$$E_0 = T \int_{P_1}^{P_2} p \cdot f_p(p) dp, \quad E_1 = T \int_{P_2}^{\infty} p \cdot f_p(p) dp, \quad E_2 = T \int_0^{P_1} (P_1 - p) \cdot f_p(p) dp, \quad (2.5)$$

де E_0 – енергія, безпосередньо використовувана споживачем;

E_1 – надлишок енергії;

E_2 – дефіцит енергії, який повинен бути компенсований з інших джерел.

Зазначені величини залежать тільки від функції розподілу, і дозволяють сформулювати певні вимоги до потрібних обсягів акумулювання енергії з метою балансування потужності.

Якщо споживана потужність визначена як функція часу, доцільно розглядати величину небалансу, як різницю генерованої і споживаної потужностей:

$$P_{\Delta}(t) = P_{\text{ген}}(t) - P_{\text{спож}}(t). \quad (2.6)$$

У разі використання ВДЕ генерована потужність повинна враховувати також ефективність перетворювача енергії. Знаючи розподіл небалансу потужності $P_{\Delta}(t_i)$ як випадкової величини (або його імовірнісні характеристики як випадкового процесу), можна визначити шукані показники: потрібну ємність накопичення енергії, можливу втрату навантаження або виробленої енергії.

Імітаційної підхід до моделювання енергосистеми дозволяє отримати більш інформативний набір показників надійності енергосистеми. Найчастіше імітаційний підхід базується на методах Монте-Карло. Моделювання здійснюється шляхом імітації реальної поведінки енергосистеми як випадкового процесу [1; 10]. Такий підхід дозволяє отримати майже повне уявлення про можливі стани енергосистеми як випадкові події, при різних поєднаннях обставин і чинників.

Для оцінки роботи ВДЕ можна застосувати методи рекурсивного аналізу, використовуючи історичні дані про швидкість вітру, сонячної радіації і режими споживання. Імітаційне моделювання оперує не тільки з окремим випадком, за яким є вихідні дані, але і допускає будь-які комбінації даних, що не суперечать моделі.

Математична модель потужності ВЕС і СЕС розглянута зокрема в роботах [10; 16]. Для моделювання використано уявлення миттєвої потужності у вигляді суми середніх для заданого сезону значень (трендової кривої), середньодобового значення як випадкової величини і поточних короткострокових змін як випадкового процесу. Отже, миттєву потужність $p = P(t)$ в формулах (2.4 – 2.6) можна представити у вигляді:

$$P(t) = \omega(t) + \sigma \cdot \varepsilon + U(t), \quad (2.7)$$

де $\omega(t)$ – трендова крива, що імітує зміну протягом доби;

σ – стандартне відхилення середньодобових значень;

ε – стандартна нормально розподілена випадкова величина;

$U(t)$ – відхилення від середнього в момент часу t , як випадковий процес.

Апроксимовані середнє $\omega(t)$ і випадковий процес $U(t)$ для об'єктів ВДЕ можна визначити методами, викладеними в роботі [10] (для ВЕС) або [16] (для СЕС). Для моделювання роботи ВЕС застосовні представлення короткострокових змін $U(t)$ як випадкового процесу Орнштейна-Уленбека. При моделюванні рівня сонячної радіації використовуються нормально розподілена і рівномірно розподілена випадкові величини. Моделювання в обох випадках здійснюється за такими показниками, як середні значення (математичні очікування), дисперсії, допустимі зміни в одиницю часу, характер розподілу ймовірності певних значень. При цьому враховуються дані з різним часом усереднення – помісячні, середньодобові, поточні (фіксовані з інтервалом в декілька хвилин). Найбільш прийнятним для вітру вважається розподіл Вейбула. Для сонячної енергії чітко виділяються денний і нічний час, функція розподілу інтенсивності іноді видається бета-розподілом, але найчастіше апроксимується емпіричними формулами. Відзначимо, що енергія сонця має чітку залежність від географічного положення, а швидкість вітру залежить також від ландшафту.

Вираз (2.7) можна відносити як до окремих об'єктів, таких як ВЕС, СЕС або споживач, так і до їх суми, тобто балансу потужності (2.6). При цьому важливим є наявність достатнього обсягу статистичних даних, які представлені як синхронізовані тимчасові ряди. Синхронізація важлива для перевірки наявності кореляції між потоками енергії. Так, потреба в регулюванні виникає при наявності небалансу потужностей, який характеризується величиною і тривалістю відхилень від рівноважного стану. Припустимо, в деякій енергосистемі з традиційною генерацією дисперсія небалансу потужностей дорівнює D (МВт²), тоді середньоквадратичне значення відхилень $\sigma = \sqrt{D}$ (МВт). Зазвичай вважають, що рівноважний стан відповідає нульовому математичному сподіванню, а розподіл ймовірності відхилень нормальний. При цьому дисперсія різниці двох випадкових величин (в даному випадку генерації і споживання) визначається формулою:

$$D = \sigma^2 = \sigma_{\text{ген}}^2 + \sigma_{\text{спож}}^2 - 2\rho \cdot \sigma_{\text{ген}} \sigma_{\text{спож}}, \quad (2.8)$$

де ρ – коефіцієнт кореляції генерації і споживання як випадкових величин.

Очевидно, при позитивній кореляції (тобто одночасному зростанні і убуванні генерації і споживання) дисперсія зменшується, тобто небаланс близький до нуля.

При визначенні сумарної генерації енергії дисперсія також залежить від кореляції складових аналогічно (2.8), тільки при додаванні випадкових величин вона зменшується в разі негативної кореляції (коливаннях потужності в протифазі).

Якщо в систему генерації додані об'єкти ВДЕ, що вносять додаткову невизначеність, то збільшення потреби в балансуєчих потужностях пропорційне зростанню результуючого середньоквадратичного відхилення небалансу.

Принципово важливим в такому математичному моделюванні є можливість в потужності ВДЕ виділити прогнозовану і неконтрольовану складові (2.2), від співвідношення яких залежить стійкість енергосистеми. Наявність налагодженої системи прогнозування і своєчасна диспетчеризація дозволяють запобігти надмірній потребі в резервних потужностях і заздалегідь (на стадії проектування) забезпечити параметри надійної роботи енергосистеми.

Для розрахунку сумарної генерації електроенергії ВЕС і СЕС, значення їх миттєвих потужностей моделюються як незалежні (на рис. 2.11 – 2.12 зображені випадкові складові з 15-хвилинним кроком осереднений).

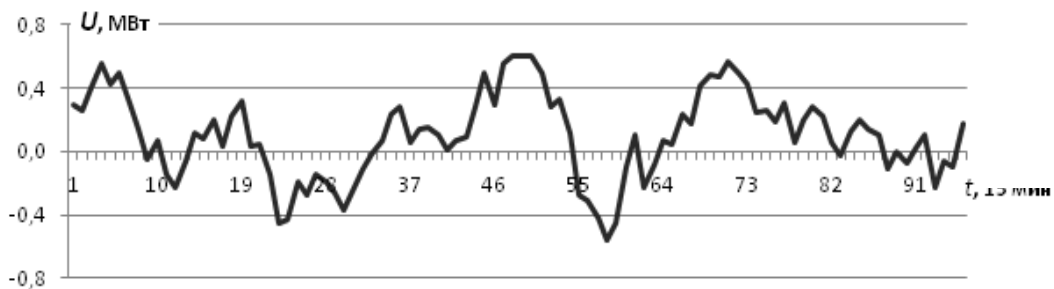


Рис. 2.11. Приклад випадкових відхилень потужності ВЕС від трендової кривої, хв.
Джерело: авторська розробка

Потім, застосовуючи методи Монте-Карло, можна визначити ймовірні рівні сумарної потужності, ймовірність екстремальних значень і інші шукані показники.

Потужність СЕС, на відміну від ВЕС, має обмеження по максимуму, що залежать від географічної широти (рис. 2.12).

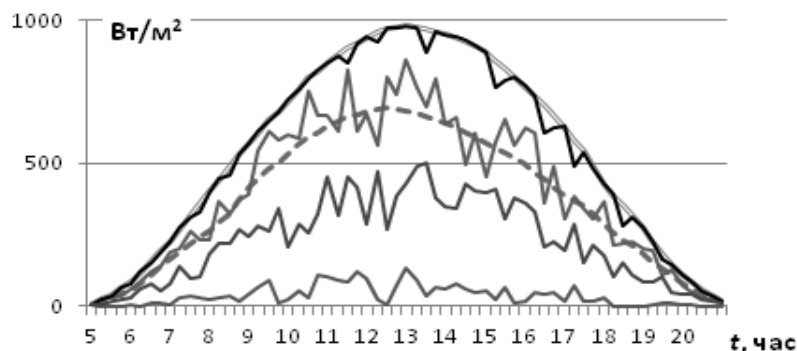


Рис. 2.12. Приклади коливань рівня сонячної радіації, червень (інтервал 15 хв.)
Джерело: авторська розробка

Як показують результати моделювання, при типовому добовому характері споживання і припущенні, що середня потужність ВДЕ приблизно відповідає потребам споживача, неконтрольована величина небалансу потужності практично не перевищує половини сумарної потужності ВЕС і СЕС, при цьому відносна частота (ймовірність) появи значних небалансів мала (рис. 2.13).

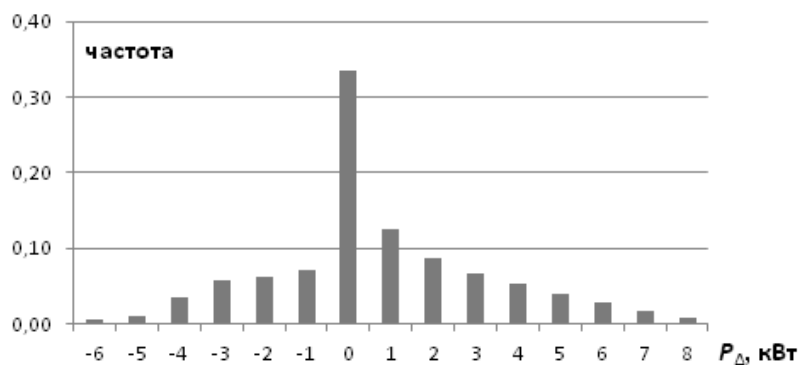


Рис. 2.13. Гістограма небалансу потужності комбінованої електростанції

Джерело: авторська розробка

Як бачимо, переважна більшість випадків небалансу (до 80 %) зосереджена в інтервалі $(-1,1)$ МВт, або в межах 6 % номінальної потужності. Можна вважати неконтрольовану складову потужності обмеженою із заданою вірогідністю. Так, з імовірністю 0,95 небаланс не перевищує 33 % сумарної номінальної потужності ВДЕ.

Залежно від результатів, отриманих для кліматичних умов даного регіону, і вимог до надійності роботи енергосистеми, можна сформулювати потреби в системах акумулювання енергії, або балансу маневрових потужностей, або обмеження на ВДЕ.

Наявність традиційних теплових станцій і акумуляторів енергії, в силу їх керованості, дозволяє в значній мірі збалансувати роботу енергокластера. При цьому критерієм оптимізації енергосистеми може бути зниження сумарних витрат на електричну енергію, або забезпечення нормативної надійності, або мінімізація шкідливих викидів, характерних для теплової енергетики. Можливе застосування багатокритеріальної оптимізації.

Непридатні для сільського господарства території припускають розміщення значних потужностей вітрових і сонячних електростанцій. Ці потужності будуть виглядати локалізованими щодо загальної електромережі. Концентроване застосування ВДЕ породжує питання про їх вплив на надійність роботи енергосистеми. Визначальним фактором є наявність нерегулярних змін потужності. Математичне моделювання роботи енергосистеми, зокрема імітаційне, дозволяє врахувати ймовірність несприятливих факторів, використовуючи статистичні дані про клімат досліджуваного регіону і особливості споживання енергії. Це дає можливість запобігти надмірній установці резервних потужностей при забезпеченні досить надійної роботи енергосистеми [11].

Спроможність здійснювати вчасне прогнозування і планування дозволяють оптимізувати структуру комбінованої енергосистеми, досягти економічно задовільних результатів при одночасному виконанні екологічних вимог та забезпеченні надійної роботи мережі.

2.8. Використання біомаси в енергетичних цілях (досвід Польщі)

© Ольга Калініченко

здобувач вищої освіти, Університет Опольський, м. Опольє, Польща

© Себастьян Бялобжецки

здобувач вищої освіти, Університет Опольський, м. Опольє, Польща

© Ольга Жук

д.б.н., професор, Університет Опольський, м. Опольє, Польща

Понад 80 % енергії з відновлюваних джерел у Польщі походить з біомаси [1]. Значна кількість біомаси утворюється при виробництві і переробці продукції рослинництва (солома від зернових, лузга, качани кукурудзи та ін.). До біомаси відносять також рослинний матеріал, який спеціально вирощується в енергетичних цілях, наприклад, плантації тополі, верби, міскантусу, мальви та інших енергетичних рослин.