

АКУМУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В КОМБІНОВАНІЙ ЕНЕРГОСИСТЕМІ НА БАЗІ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

О.А. Мельник, аспірант

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра відновлюваних джерел енергії

Вступ. Питання оптимального поєднання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та засобів акумулювання розглядають зазвичай з метою зменшити ступінь невизначеності та зробити більш прогнозованим режим генерації електроенергії [1]. Загалом у HRES (гібридних системах відновлюваної енергії) можна використовувати найрізноманітніші джерела енергії, але вітрові та сонячні вважаються найбільш уживаними й привертають найбільше уваги дослідників. Крім того, електростанції на їх основі можуть розташовуватися ближче до кінцевого споживача, що особливо важливо для автономної енергетики. Важливим елементом таких енергетичних систем є пристрій накопичення енергії, який повинен відповідати режиму роботи енергосистеми в частині обсягу та часу накопичення енергії [2]. Швидкі зміни рівнів генерованої та споживаної потужності можуть спричинити порушення режимів заряду чи розряду акумуляторів, що призводить до їх пошкодження [3]. Оскільки фінансові витрати на систему акумулювання складають значну частку загальної вартості енергетичної системи, то потреби в попередньому дослідженні можливих режимів роботи є актуальними [4]. Оскільки ВДЕ та системи акумулювання з часом стають економічно привабливими насамперед завдяки технологічним вдосконаленням, зростає також увага до надійності задоволення попиту на електроенергію. Й це потребує належного опису в рамках математичної моделі.

Мета роботи: розроблення моделі балансування процесів генерації та споживання електроенергії для енергосистем на основі ВДЕ з використанням системи акумулювання.

Матеріали і результати досліджень. Оптимальним кроком вважаємо 10 хвилин, оскільки в такому вигляді доступні значні обсяги погодних даних, накопичені системами керування діючих ВЕС та СЕС. Такий крок дозволить врахувати характерні особливості, натомість коротші зміни можуть бути згладжені за рахунок інтегруючих властивостей енергосистеми [5]. При наявності історичних даних, які містять послідовності значень у вигляді часового ряду, математична модель поточної потужності генерації містить середньодобову складову та поточні флуктуації в момент часу t , і є випадковим процесом [6]:

$$P(t) = \omega(t) + \sigma_{ad} \cdot \varepsilon + U(t).$$

де ε – стандартна нормально розподілена випадкова величина;

σ_{ad} – середньоквадратичне (стандартне) відхилення середньодобових значень.

Перша складова виразу – осереднена крива $\omega(t)$, що вважається однаковою при різних реалізаціях випадкового процесу і відображає

характерний добовий хід (лінія тренду). Друга складова є постійною для окремої добової реалізації, і відображає нормально розподілені випадкові відхилення середньодобового значення від середньомісячного. Остання складова $U(t)$ – випадкові пульсації поточного значення відносно трендової кривої. Тоді елементарні стрибки потужності рівні різниці значень на границях часового інтервалу: $dp_{ij} = Ut_j - U(t_j - \Delta t)$. Зауважимо, що в такому трактуванні номер доби безпосередньо не входить до значення стрибка, отже не залежить від наявності добового прогнозування, натомість є певна залежність від початку відліку (t_0). Такий підхід дає вірне уявлення щодо мінливості монотонних функцій, або таких процесів, тривалість змін у яких помітно більша від одиничного часового інтервалу. Саме тому при переході до інтегральних оцінок важливою є мала тривалість часових кроків [6].

Пропонований підхід дає можливість оцінити випадкову складову при генерації енергії вітровими та сонячними електростанціями, та визначити можливості компенсації цієї мінливості при використанні акумуляторів. Блок-схема розрахунків (рис. 1) [7] передбачає отримання даних про погодні фактори, їх статистичну обробку, розрахунок параметрів математичної моделі для поточної швидкості вітру та сонячної радіації, відповідних їм електричних потужностей.

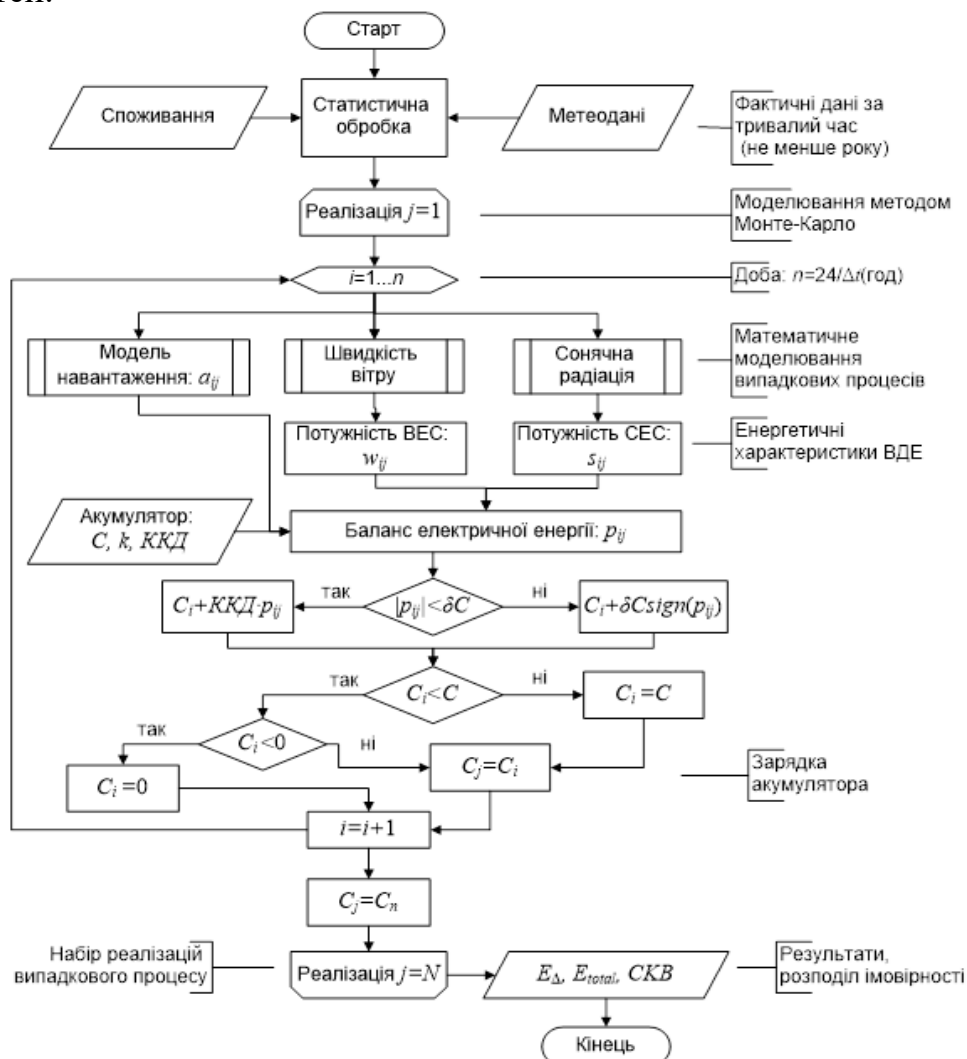


Рисунок 1 – Блок-схема розрахунку накопиченої енергії [7]

Аналогічна модель стосується потужності навантаження, і базується на даних про споживання електричної енергії. Порівняння режимів генерації та споживання дає випадкову складову, відповідно до якої обираються характеристики акумулятора електроенергії. Режим накопичення та витрачання енергії включає врахування доступної ємності, швидкодії та енергетичної ефективності акумулятора. Результатом є дані про обсяги збереженої енергії та залишковий небаланс потужності, що визначає надійність енергосистеми [7].

Представлений алгоритм дозволяє отримати набір реалізацій випадкового процесу, що описує балансування електричної енергії при випадкових змінах генеруючої та споживаної потужності в модельованій енергосистемі, а також проміжне накопичення енергії системою акумулявання. Кожен окремий варіант побудови енергосистеми включає встановлені потужності ВДЕ, енергетичні характеристики вітрових чи сонячних установок, характерні погодні умови (середні значення та можливі варіації), параметри акумулявання та прийняті обмеження [7].

Висновки. Невизначеність стосовно режимів генерації та споживання електроенергії в обмежених енергосистемах гібридного типу спричиняє завищену потребу в резервних та (або) акумуляюючих потужностях. Економічна оцінка застосування таких систем вимагатиме врахування не лише вартості обладнання ВДЕ, але й плати за надійність чи вартість акумулявання, при цьому можуть зрости також втрати енергії. Точні показники мають враховувати конкретні кліматичні умови, тип обладнання, характер споживання. Додатково потрібно враховувати швидкодію акумуляторів, що потребуватиме градацій по часу у хвилинних діапазонах. Запропонована математична модель дозволяє визначити параметри, необхідні для подальшого інвестиційного проектування.

Перелік посилань

1. S.Obukhov, A.Ibrahim, M.A.Tolba, A.M.El-Rifaie. Power balance management of an autonomous hybrid energy system based on the dual-energy storage // *Energies*, 2019, v.12; doi:10.3390/en12244690.
2. IRENA Battery Storage for Renewables: Market Status and Technology Outlook. Int. Renew. Energy Agency Abu Dhabi 2015, v.32.
3. X.Hu, C.M.Martinez, Y.Yang. Charging, power management and battery degradation mitigation in plug-in hybrid electric vehicles: A unified cost-optimal approach. *Mech. Syst. Signal Process.* 2017, 87, 4–16.
4. A.Ataei, M.Nedaei, R.Rashidi, C.Yoo. Optimum design of an off-grid hybrid renewable energy system for an office building. *J. Renew. Sustain. Energy* 2015, v.7, 053123.
5. Кузнецов М.П. Побудова математичної моделі режиму споживання електроенергії. *Відновлювана енергетика*, 2017, № 4, с.33-42.
6. M.Kuznietsov, Yu.Vyshnevskaya, I.Brazhnyk, O.Melnyk. Modeling of the Generation-Consumption Imbalance in the Heterogeneous Energy Systems with Renewable Energy Sources / 2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems (ESS) conference-paper, pp.196-200. DOI: 10.1109/ess.2019.8764189.
7. Кузнецов М.П., Мельник О.А., Смертюк В.М. Моделирование процесса акумуляции электроэнергии в комбинированной энергосистеме. *Відновлювана енергетика*, 2020, №4(63).