

УДК 621.311

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ НЕВЕЛИКИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ ЗА РАХУНОК ЗАСТОСУВАННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Самойлик О.В., Курбака Г.В.

Черкаський державний технологічний університет

Розглянуто проблему поєднання різномірних відновлювальних джерел енергії, яка обумовлена різними вихідними параметрами енергоустановок і необхідністю їх перетворення до стандартних параметрів електричної мережі. Розроблено алгоритм ефективного електропостачання СГП на основі комбінованого застосування ВДЕ і централізованої електричної мережі, що дозволяє максимально використовувати потенціал відновлювальних енергоресурсів для вироблення електроенергії. Приведено опис алгоритму роботи системи управління для ефективного функціонування електротехнічних комплексів СГП на основі ВДЕ. Розроблений алгоритм роботи системи управління для ефективного функціонування електротехнічних комплексів сільськогосподарських підприємств на основі відновлювальних джерел дозволяє найбільш ефективно використовувати електроенергію, що генерується цими енергоустановками.

**Ключові слова:** поновлювані джерела енергії; електропостачання; електричної мережі.

**Постановка проблеми.** Застосування відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) дозволяє підвищити енергозабезпечення та електроозброєність сільськогосподарських підприємств (СГП) без додаткового навантаження на централізовану електричну мережу [1].

Ефективність електропостачання при цьому буде залежати від техніко-економічних і екологічних показників використовуваних енергоустановок на ПДЕ, а також режимів їх роботи.

Однак при використанні електротроустановок на основі альтернативних джерел енергії

агропромислові комплекси стикаються з низкою проблем. Так, якщо питання оцінки потенціалу сонячної, вітрової енергії та енергії річок довести докладно опрацьовано, то при підключенні електростанції до існуючої мережі виникає завдання пошуку місця і, найголовніше, способу її підключення.

Найчастіше такі джерела генерації підключаються до системи неузгоджено, що призводить до складності управління і прогнозування режимів роботи мереж, росту складової втрат активної електричної енергії, так як структура їх перестав бути оптимальною з точки зору мінімуму річних наведених витрат. Таким чином, оптимізація структури електричної мережі, що містить ПДЕ, є актуальною.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Більшість наукових робіт по даному напрямку присвячені методикам розрахунку потенціалу відновлювальних енергоресурсів, вдосконалення технологій і методик розрахунку параметрів енергоустановок. Загальна теорія і практика застосування ПДЕ в системах електропостачання розглянута у роботах авторів [2–8]. Ці роботи, головним чином, присвячені методичним основам визначення відновлюваних джерел енергії України, розробки та вдосконалення енергоустановок на їх основі, а також обґрунтування напрямків і перспектив розвитку ПДЕ.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Аналіз робіт [2–8] показав, що більшість досліджень пов'язані з модернізацією вітчизняної електроенергетики шляхом впровадження децентралізованої генерації, у тому числі на основі відновлюваних джерел енергії.

Децентралізовані системи електропостачання на ВДЕ найбільш ефективні для забезпечення

електричною енергією наступних груп споживачів:

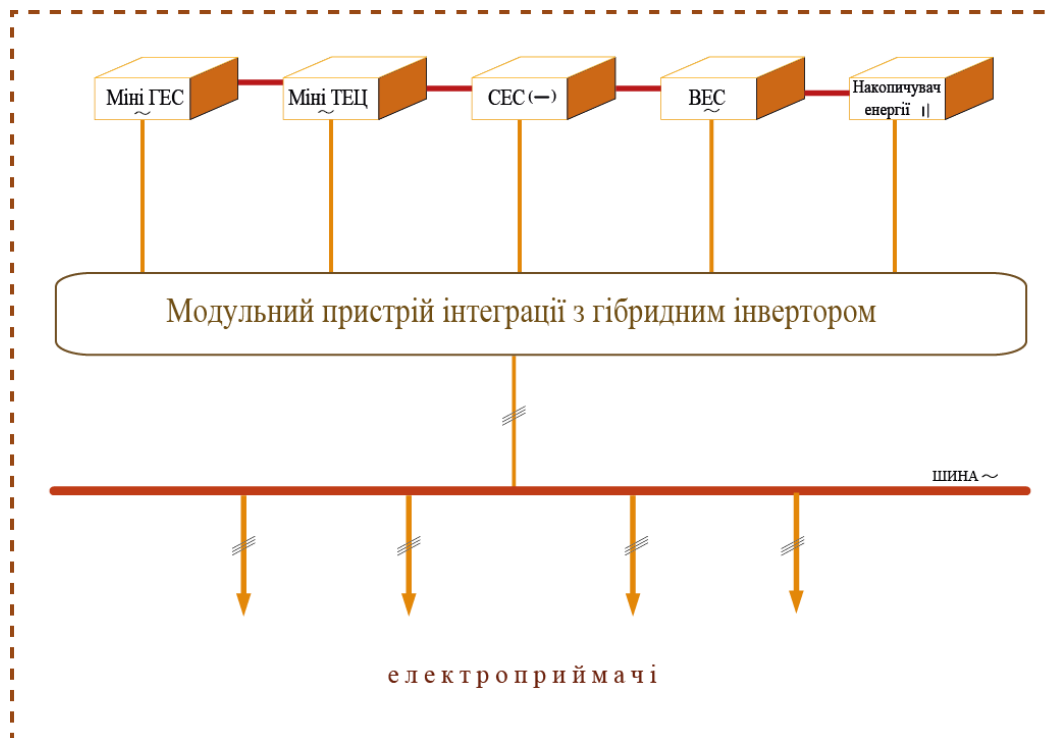
- індивідуальні споживачі невеликої потужності від одиниць до десятків
- групові непромислові споживачі встановленою потужністю від десятків до сотень кВт (об'єкти соціальної сфери, торгівлі, підприємства і установи охорони здоров'я тощо);
- промислові підприємства з встановленою потужністю від сотень до тисяч кВт.

Разом з тим немає науково обґрунтованого підходу до вибору моделей енергоустановок для невеликих сільських підприємств за на базі відновлюваних джерел енергії. Недостатньо опрацьовані питання паралельної роботи ПДЕ і централізованої електричної мережі при електропостачанні СГП.

**Мета статті.** Розробити алгоритм розподілу потоків електроенергії між системою генерації, елементами накопичувача і навантаженням при паралельному режимі роботи енергоустановок на ВДЕ та централізованої електричної мережі.

**Виклад основного матеріалу.** Проблема поєднання різномірних відновлювальних джерел енергії обумовлена різними вихідними параметрами енергоустановок і необхідністю їх перетворення до стандартних параметрів електричної мережі. Для забезпечення паралельної роботи різномірних ПДЕ широке поширення набули такі підходи:

- 1) застосування модульних конструкцій на основі гібридних інверторів;
- 2) підключення на стороні змінного струму;
- 3) підключення на стороні змінного струму високої частоти;
- 4) підключення на стороні постійного струму.



**Рис. 1.** Схема поєднання різномірних джерел енергії з застосуванням модульної конструкції на основі гібридного інвертора:  
СЕС – сонячна електростанція; ВЕС – вітроелектростанція

Найбільш досконалими схемами за погодженням вихідних параметрів різномірних джерел енергії мають модульні конструкції на основі гібридних інверторів (рис. 1). Вони дозволяють об'єднувати в одній системі живлення різномірні енергоустановки на ВДЕ та накопичувачі електроенергії.

Міні-ГЕС і міні-ТЕЦ виробляють електроенергію напругою 0,4-6(10) кВ промислової частоти (50 Гц), що задовольняє вимогам до напруги і частоти мережі. Соляні електричні установки не мають безпосереднього контакту зі споживачем, оскільки виробляють постійний струм, і з'єднані з ними через інвертор.

Основні проблеми з якістю вироблюваної електроенергії виникають при використанні в комбінованій схемі вітроенергетичних установок, оскільки в малій енергетиці переважно поширення отримали безредукторні конструкції ВЕС з багатополосними електричними генераторами на постійних магнітах, які працюють на змінній частоті обертання вітроколеса. Виняток нестачі при включенні даного типу ВЕС в комбіновану систему електропостачання вирішується шляхом застосування індивідуального перетворювача за схемою «Випрямляч-інвертор».

Проведений аналіз показав, що найбільш перспективними при інтеграції різномірних ВДЕ в централізовану електричну мережу є схеми поєднання на постійному і змінному струмі.

Для узгодження режимів виробництва, передачі, зберігання і споживання електроенергії при інтеграції ВДЕ в централізовану електричну мережу необхідно контролювати значення основних електричних параметрів. Для цього на шинах розподільних пристроїв споживачів встановлюються необхідні датчики, вихідні сигнали з яких надходять в систему управління.

Рівняння балансу потужності для розглянутого електротехнічного комплексу системи електропостачання в поточний момент часу має вигляд

$$P_{EC}(t) + P_{ВДЕ}(t) \pm P_{НЕ}(t) = P_H(t), \quad (1)$$

де  $P_{EC}(t)$  – поточне значення потужності, що виробляється енергосистемою;  $P_{ВДЕ}(t)$  – поточні значення потужностей, що виробляють енергоустановки на ВДЕ;  $P_{НЕ}(t)$  – поточне значення потужності заряду (розряду) накопичувачів електроенергії;  $P_H(t)$  – поточне значення потужності навантаження.

Поточне значення потужності кожного окремого елемента комбінованої системи електропостачання можна визначити через основні електричні параметри

$$P_k(t) = u_k(t) \cdot i_k(t), \quad (2)$$

де  $u_k(t)$  – миттєва напруга на шині розподільного пристрою;  $i_k(t)$  – миттєве значення струму джерела електроенергії і навантаження.

Тоді рівняння балансу потужності має вигляд

$$u_k(t) \cdot i_k^{EC} + u_k(t) \cdot i_k^{ВДЕ} \pm u_k(t) \cdot i_k^{НЕ} = u_k(t) \cdot i_k^H. \quad (3)$$

Впровадження технологій Smart Grid дозволить знизити збиток сільськогосподарських підприємств за рахунок підвищення надійності і якості електропостачання при інтеграції відновлювальних джерел енергії.

Дана система націлена на раціональне споживання електроенергії, скорочення перерв в електропостачанні. Оперативність та активність реагування – якості, які повинні отримувати підприємства при використанні даних технологій.

Ефективність функціонування різномірних джерел енергії в складі СЕП СГП із застосуванням сучасних засобів автоматизації передбачає розробку алгоритму роботи системи управління.

Для опису запропонованого алгоритму роботи системи управління для ефективного функціонування електротехнічних комплексів СГП на основі ВДЕ введемо додатково такі позначення:

- $P_z$  – потужність, що необхідна для заряду накопичувачів електроенергії в поточний момент часу;
- $P_{ЗНЕ}$  – потужність, що доступна для підзарядки накопичувачів електроенергії від ВДЕ в поточний момент часу;
- $P_B$  – потужність, яка споживається багатом в поточний момент часу;
- $P_{НЕ}$  – потужність, яку повинні віддати накопичувачі електроенергії в поточний момент часу;
- $P_{РНЕ}$  – потужність, яку можуть віддати накопичувачі електроенергії в поточний момент часу;
- $K = 0$  – стан перемикача при відключенні енергосистеми (централізованої мережі);
- $K = 1$  – стан перемикача при підключенні енергосистеми (централізованої мережі);

Блок-схема алгоритму роботи електротехнічних комплексів СГП на основі відновлювальних джерел приведена на рис. 2.

Робота системи управління починається зі зчитування ключових параметрів: потужності навантаження, що необхідна в поточний момент часу ( $P_H$ ); потужностей, що виробляються енергоустановками на ВДЕ ( $P_{ВДЕ}$ ); потужності, що необхідна для заряду накопичувачів електроенергії в поточний момент часу ( $P_{НЕ}$ ).

Необхідно відзначити, що накопичувачі електроенергії можуть експлуатуватися як в буферному, так і в циклічному режимі за рахунок комплексного використання акумуляторних батарей і емісних накопичувачів. У разі повної зарядки накопичувачів електроенергії  $P_{НЕ} = 0$ .

Потужність, яку можливо передавати для підзарядки накопичувачів електроенергії від відновлюваних джерел енергії в поточний момент часу ( $P_{НЕ}$ ) на початку кожного циклу дорівнює нулю.

Далі відбувається порівняння потужності, що надходить від енергоустановок на відновлюваних джерел енергії, і потужності, необхідної для покриття необхідного навантаження споживачів.

Якщо  $P_{ВДЕ} \geq P_H$ , то система управління подає сигнал про відсутність необхідності підключення централізованої енергосистеми ( $K = 0$ ). В разі якщо енергосистема підключена, то перемикач змінює своє положення на відключення. У разі якщо енергосистема відключена, то відбувається перевірка поточного стану та перемикач не змінює своє положення.

Потім перевіряється величина різниці між  $P_{ВДЕ}$  і  $P_H$ . У разі якщо дана величина більше по-

тужності, необхідної для заряду накопичувачів електроенергії, то надлишок електроенергії витрачається на баластне навантаження, тепло від якого може використовуватися для нагріву води, а накопичувачі електроенергії заряджаються на 100%. У разі, якщо величина менше потужності, необхідної для заряду накопичувачів електроенергії, то поточне значення заряду підвищується на величину  $P_{ЗНЕ}$ .

Якщо  $P_{ВДЕ} \geq P_H$ , то проводиться порівняння величини потужності в накопичувачах електроенергії і величини дефіциту потужності навантаження споживачів. При  $P_{НЕ} \geq P_H - P_{ВДЕ}$  недолік потужності навантаження компенсується об'ємом, який можуть генерувати накопичувачі електроенергії.

При  $P_{НЕ} \leq P_H - P_{ВДЕ}$  система управління подає сигнал про необхідність підключення централізованої енергосистеми ( $K = 1$ ) через брак загальної потужності від енергоустановок на ВДЕ і накопичувачів електроенергії. У разі якщо енергосистема відключена, то перемикач змінює своє положення на підключення. У разі якщо енергосистема підключена, то відбувається перевірка поточного стану і перемикач не змінює своє положення.

Розроблений алгоритм роботи системи управління для ефективного функціонування електротехнічних комплексів сільськогосподарських підприємств на основі відновлювальних джерел дозволяє найбільш ефективно використовувати електроенергію, що генерується цими енергоустановками.

**Висновки і пропозиції.** Розроблено алгоритм розподілу потоків електроенергії між системою генерації, елементами накопичувача і навантаженням при паралельному режимі роботи енергоустановок на відновлювальних джерелах енергії та централізованої електричної мережі, що дозволяє максимально ефективно використовувати електроенергію, що виробляється ВДЕ.

Використання розроблених принципів, підходів, науково-технічних рішень щодо застосування ВДЕ при проектуванні електротехнічних комплексів СГП, а також алгоритм розподілу потоків електроенергії дозволять забезпечити ефективне, якісне і безперебійне електропостачання сільськогосподарських підприємств.

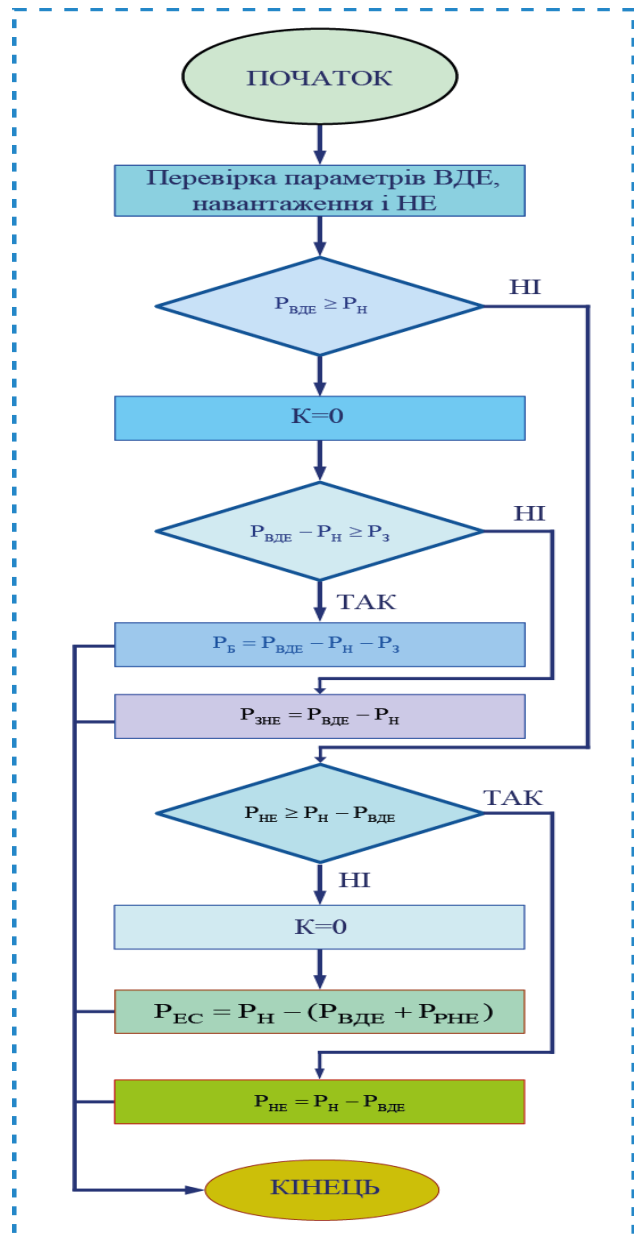


Рис. 2. Блок-схема алгоритму роботи електротехнічних комплексів сільськогосподарських підприємств на основі ВДЕ

## Список літератури:

- Єдина комплексна стратегія розвитку сільського господарства та сільських територій України на 2015–2020 роки. Київ, 2015 р.
- Праховник А. В. Малая енергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения / А. В. Праховник. – К. : Освіта України, 2007. – 464 с.
- Попов В.А. К вопросу рациональной интеграции источников распределенной генерации / В.А. Попов, Е.С. Ярмолюк, В.В. Ткаченко, Саид Банузаде Сахрагард // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України, Спеціальний випуск, Частина 1. – Київ, 2011. – С. 111-121.
- Бодунов В. М. Рекомендації щодо вибору потужності джерел розподіленої генерації в розподільних електричних мережах сільських регіонів / В. М. Бодунов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – №3. – С. 115–118.
- Сабірзянов Т. Г. Методика вибору структури і складу систем електропостачання з відновлювальними джерелами енергії / Т. Г. Сабірзянов, М. В.Кубкін, В. П.Солдатенко // Техніка в с/г виробництві, галузеве машиноб., автомат.: Зб. наук. праць КНТУ. – Кіровоград: КНТУ, 2011. – Вип. 24, Ч. 2. – С. 146–151.
- Самойлик О.В., Курбака Г.В., Дудник М.В. Аналіз балансу потужності
- локальної системи електропостачання на базі поновлювальних джерел енергії та акумуляторних батарей. Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. №11 (154) ноябрь 2016. С. 22–32.
- Козирський В.В. Формування динамічної моделі відновлення електропостачання споживачів в системах з джерелами розподіленої генерації / В.В. Козирський, О.В. Гай, В.М. Бодунов, В.А. Костюк // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – 2013. – Вип. 13. Т.2. – С. 50–56.

9. Кириленко О.В. Технічні аспекти впровадження джерел розподільної генерації в електричних мережах [Текст] / О.В. Кириленко, В.В. Павловський, Л.М. Лук'яненко // Технічна електродинаміка. – К. : Інститут електродинаміки НАН України, 2011. – № 1 – С. 46–53.

**Самойлик А.В., Курбака Г.В.**

Черкасский государственный технологический университет

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НЕБОЛЬШИХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

### **Аннотация**

Рассмотрена проблема сочетания разнородных возобновляемых источников энергии, которая обусловлена различными исходными параметрами энергоустановок и необходимостью их преобразования в стандартные параметры электрической сети. Разработан алгоритм эффективного электроснабжения СХП на основе комбинированного применения ВИЭ и централизованной электрической сети, что позволяет максимально использовать потенциал возобновляемых энергоресурсов для выработки электроэнергии. Приведено описание алгоритма работы системы управления для эффективного функционирования электротехнических комплексов СХП на основе ВИЭ. Разработанный алгоритм работы системы управления для эффективного функционирования электротехнических комплексов сельскохозяйственных предприятий на основе возобновляемых источников позволяет наиболее эффективно использовать электроэнергию, генерируемую этими энергоустановками.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии; электроснабжения; электрической сети.

**Samoylik A.V., Kurbaka G.V.**

Cherkasy State Technological University

## **INCREASE OF POWER SUPPLY EFFICIENCY OF SMALL AGRICULTURAL ENTERPRISES AT THE EXPENSE OF APPLICATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES**

### **Summary**

The problem of combination of heterogeneous renewable energy sources that is conditioned by different initial parameters of power plants and the necessity of their transformation into standard parameters of electric network is considered. The algorithm of effective power supply of agricultural enterprises is worked out on the basis of combined application of renewable energy sources and centralized electric network, that allows to maximally use the potential of renewable energy resources for generation of electricity. The description of the algorithm of control system work for the effective functioning of electrical engineering complexes of agricultural enterprises on the basis of renewable energy sources is given. The worked out algorithm of control system work for the effective functioning of electrical engineering complexes of agricultural enterprises on the basis of renewable energy sources allows to most effectively use electric power, generated by these power plants.

**Keywords:** renewable energy sources; power supply; electric networks.