

УДК 621.311.25

ТЕХНИКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГІБРИДНОЇ ВІТРО-СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ОКРЕМОГО ОБ'ЄКТА**І. З. Щур, В. І. Климко**

Національний університет "Львівська політехніка"

вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, 79000, Україна. E-mail: i_shchur@meta.ua, vklymko@gmail.com.

У віддалених від централізованих електричних мереж живлення районах, де розташовуються приватні котеджі, цехи, радіо- й телекомунікаційні станції, супутникові земні станції, використання поновлюваних джерел енергії для електрифікації таких об'єктів стає чи не єдиним вирішенням проблеми. Випадковий характер поновлюваних джерел енергії змушує поєднувати два або більше джерела генерування електричної енергії від поновлюваних джерел енергії та пристрої акумулювання електричної енергії для забезпечення потреб споживача. У роботі показано комплексну модель гібридної вітро-сонячної системи електропостачання окремого об'єкта, в якій використовуються два взаємодоповнюючі канали генерування електричної енергії від поновлюваних джерел енергії вітру та сонця, що реалізуються за допомогою, відповідно, вітроелектроустановки з вертикальною вісю обертання та сонячної батареї, акумуляторну батарею та систему енергетичного менеджменту, реалізовану на контролері. Гібридна вітро-сонячна система електропостачання працює за наданим у роботі алгоритмом. На основі сформованої бази погодинних метеорологічних даних для міста Львова за 2013 рік та графіка навантаження індивідуального котеджу розроблено програму, що розраховує погодинний енергетичний баланс між споживачем протягом одного року, а також дає змогу вибрати оптимальну конфігурацію елементів системи з високими економічними та надійнішими показниками. Для оцінки ефективності роботи системи розраховується критерій імовірності втрати живлення та критерій відносної надлишкової згенерованої енергії. У роботі проводиться кошторисний аналіз елементів системи в цілому й розраховується ціна 1 кВт·год електричної енергії залежно від того, яка конфігурація елементів системи буде вибрана.

Ключові слова: гібридна система електропостачання, система енергетичного менеджменту, алгоритм роботи, вітроелектроустановка, сонячна батарея.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИБРИДНОЙ ВЕТРО-СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОТДЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА**И. З. Щур, В. И. Климко**

Национальный университет "Львовская политехника"

ул. Степана Бандеры, 12, г. Львов, 79000, Украина. E-mail: i_shchur@meta.ua, vklymko@gmail.com.

В отдаленных от централизованных электрических сетей питания районах, где располагаются частные коттеджи, цеха, радио- и телекоммуникационные станции, спутниковые земные станции, использование возобновляемых источников энергии для электрификации таких объектов становится едва ли не единственным решением проблемы. Случайный характер возобновляемых источников энергии заставляет объединять два или более источника генерирования электроэнергии от возобновляемых источников энергии и устройства аккумуляирования электроэнергии для обеспечения потребности потребителя. В работе представлена комплексная модель гибридной ветро-солнечной системы электроснабжения отдельного объекта, в которой используются два взаимодополняющих канала генерирования электроэнергии от возобновляемых источников энергии ветра и солнца, реализуемых с помощью, соответственно, ветроэлектростанции с вертикальной осью вращения и солнечной батареи, аккумуляторная батарея и система энергетического менеджмента, которая реализована на контроллере. Гибридная ветро-солнечная система электроснабжения работает по представленному в работе алгоритму. На основе сформированной базы почасовых метеорологических данных для города Львова за 2013 год и графика нагрузки индивидуального коттеджа была разработана программа, которая рассчитывает почасовой энергетический баланс между потребителем и гибридной ветро-солнечной системой электроснабжения в течение одного года, а также позволяет выбрать оптимальную конфигурацию элементов системы с высокими экономическими и надежностными показателями. Для оценки эффективности работы системы рассчитывается критерий вероятности потери питания и критерий относительной избыточной сгенерированной энергии. В исследовании проводится сметный анализ элементов системы в целом и рассчитывается цена 1 кВт·час электроэнергии в зависимости от того, какая конфигурация элементов системы будет выбрана.

Ключевые слова: гибридная система электроснабжения, система энергетического менеджмента, алгоритм работы, ветроэлектростанция, солнечная батарея.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. Вичерпність корисних копалин і стрімке збільшення забрудненості навколишнього середовища у всьому світі зумовлюють актуальність використання поновлюваних джерел енергії (ПДЕ). Особливо перспективним є використання ПДЕ, а саме енергії вітру та сонця, в

автономних системах електропостачання (АСЕ) для споживачів електричної енергії (ЕЕ) невеликої потужності (10–15 кВт), що розташовані у віддалених районах чи у місцях, де відсутня централізована мережа живлення. До того ж для багатьох віддалених неелектрифікованих районів використання АСЕ

є дешевшим, ніж використання ЕЕ від централізованої електричної мережі [1], враховуючи ріст цін на послуги енергопостачальних компаній для встановлення електричних мереж. Хоча сонце та вітер є невичерпними джерелами енергії, проте їхнім недоліком є стохастичний характер надходження енергії, залежний від пори року, часу доби, а також від погодних умов. З іншого боку, енергетичні потреби споживача ЕЕ теж мають випадковий характер, який не залежить від генерування ЕЕ, тому актуальним є розроблення гібридної системи електропостачання, яка б поєднувала в собі джерела генерування ЕЕ від ПДЕ вітру та сонця, а також пристрій акумулювання енергії для забезпечення потреб споживача. Крім цього, гібридні системи електропостачання є більш продуктивними та надійними порівняно з окремо взятими сонячними чи вітровими автономними системами енергозабезпечення [2]. Також актуальним є завдання вибору оптимальної конфігурації елементів гібридної вітро-сонячної системи електропостачання (ГВССЕ) окремого об'єкта й розроблення чіткого алгоритму роботи системи для забезпечення безперебійного електроживлення споживача та отримання якісної ЕЕ на виході системи. Подібні задачі вирішувались у [3–7], проте в цих дослідженнях автори використовували свої регіональні метеорологічні дані. Для оцінки енергоефективності роботи ГВССЕ необхідним є розрахунок критерію ймовірності втрати живлення (*Deficiency of Power Supply Probability – DPSP*) та критерію відносної надлишкової згенерованої енергії (*Related Excess Power Generated – REPG*) [4]. Не менш важливим є кошторисний аналіз ГВССЕ окремого об'єкта, який доцільно здійснити за допомогою розрахунку показника вартості 1 кВт·год ЕЕ на виході системи з конкретною конфігурацією елементів (*Cost Of Energy – COE*) [5, 8, 9].

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. У запропонованій ГВССЕ (рис. 1) використовуються два взаємодоповнюючі канали генерування ЕЕ від ПДЕ вітру та сонця, що реалізуються за допомогою, відповідно, вітроелектроустановки з вертикального віссю обертання (ВЕУ з ВВО) та сонячної батареї (СБ). Генерування ЕЕ ВЕУ з ВВО та СБ регулюються своїми локальними системами автоматичного керування через напівпровідникові перетворювачі РС1 і РС2 з метою роботи агрегатів у точках відбору максимальної потужності. Сумарна вироблена від ПДЕ електроенергія передається на шину постійної напруги 220 В – DC bus1. Для накопичення надлишкової ЕЕ чи забезпечення нею споживача в періоди дефіциту генерування від ПДЕ в ГВССЕ використовується акумуляторна батарея (АБ), заряджання чи розряджання якої відбувається за допомогою контролера заряду РС3. У випадках, коли АБ повністю заряджена, а споживання є мінімальним, надлишкову згенеровану ЕЕ від ПДЕ можна використати на інші потреби споживача, наприклад, на обігрів.

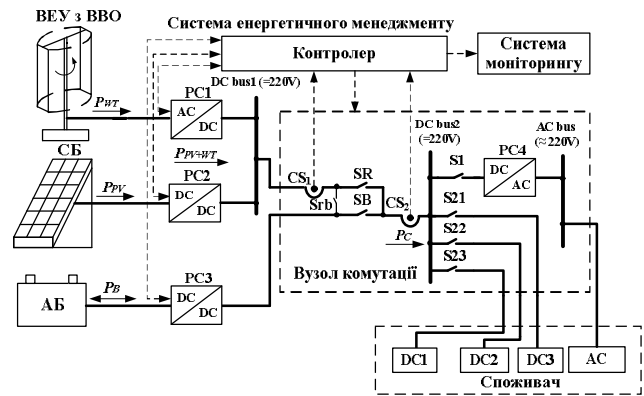


Рисунок 1 – Функціональна схема ГВССЕ

Споживачів електроенергії в даному об'єкті розділено на споживачів змінного струму АС (пральні машини, пристрої, що заживлені через трансформатори на промисловій частоті) та споживачів постійного струму DC (енергозберігаюче освітлення, відео- та аудіоапаратура, комп'ютери, побутова техніка, сигналізація). АС споживачі отримують живлення від шини змінної напруги 220 В АС bus, яка через інвертор РС4 може житися від шини постійної напруги 220 В DC bus2. Споживачі DC розділено, у свою чергу, за величиною споживаної потужності та/чи пріоритетом живлення на, наприклад, три групи: DC1, DC2, DC3.

Функцію підмикання груп споживачів до шини DC bus1 чи батареї АБ виконує вузол комутації за допомогою перемикачів SR, SB, S1, S21, S22, S23. Прийняття рішення про необхідну комутацію здійснює система енергетичного менеджменту (СЕМ), реалізована на контролері, до якого надходять сигнали від давачів струмів генерування CS1 та споживання CS2.

Система моніторингу, яка зв'язана з контролером, постійно отримує інформацію про кількість виробленої чи спожитої енергії. У випадку її підключення до мережі Internet споживач може відслідковувати перебіг процесів енергозабезпечення об'єкта.

Узагальнений алгоритм роботи ГВССЕ окремого об'єкта (рис. 2) розроблено на основі наступних критеріїв. Насамперед, споживач повинен максимально використовувати згенеровану ПДЕ потужність і, по можливості, безпосередньо нею житися. По-друге, живлення об'єкта повинно бути безперервним, а критерії *DPSP* та *REPG* мають бути мінімальними. Працює алгоритм наступним чином.

У блоках 1 і 2 СЕМ зчитує з давачів CS1 та CS2 значення струмів, отримуючи інформацію про сумарну згенеровану ВЕУ з ВВО і СБ потужність P_{WT+PV} та потрібну споживачу потужність P_C у конкретну годину доби відповідно. У блоці 3 значення P_{WT+PV} і P_C порівнюються. Для випадку, коли P_{WT+PV} є більшою за P_C , СЕМ дає команду на замикання перемикача SR. При цьому споживач

живиться від ПДЕ (блок 4). Далі СЕМ перевіряє, чи АБ є повністю зарядженою (блок 5). Якщо АБ повністю заряджена, то надлишкова потужність за допомогою замкненого перемикача SR використовується споживачем на інші потреби, наприклад, обігрів (блок 6), а якщо ні, то нагромаджується в АБ за допомогою замкненого перемикача Sr_b (блок 8). Для випадку, коли P_{WT+PV} є меншою за P_C , СЕМ дає команду на замикання перемикачів SB та SR. При цьому споживач отримує необхідну потужність, використовуючи наявну потужність від ПДЕ та потужність АБ (блок 7).

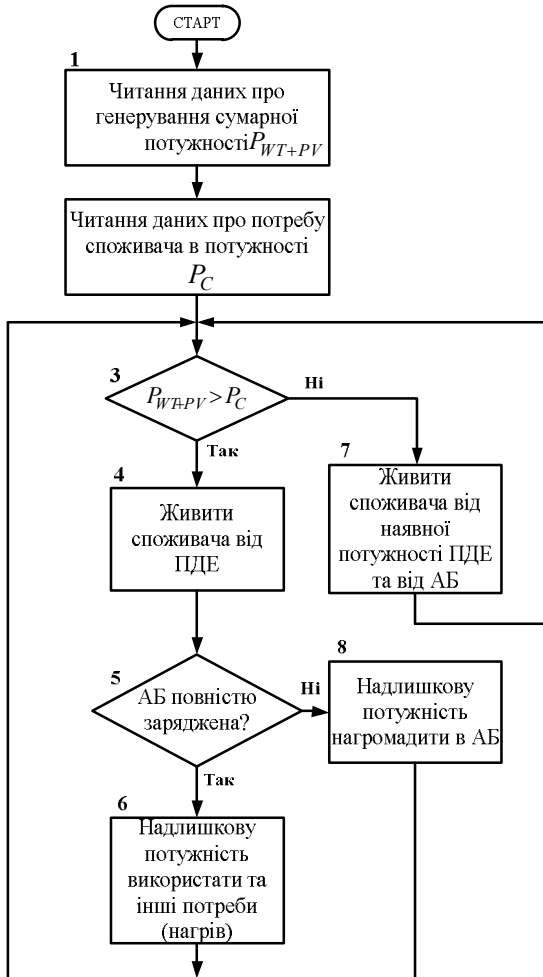


Рисунок 2 – Узагальнений алгоритм роботи ГВССЕ

У дослідженнях використовується сформована нами база погодинних метеорологічних даних для м. Львова за 2013 р., а саме: тривалість сонячного сьйва в інтервалах істинного часу, швидкість вітру та температура навколишнього середовища. Ці дані дають змогу розрахувати кількість поступлення ЕЕ від 1 м² СБ та від ВЕУ з ВВО площею омивання 1 м².

Для моделювання навантаження споживача було використано добовий графік споживання ЕЕ невеликим індивідуальним котеджем (рис. 3), розміщеним неподалік міста Львова.

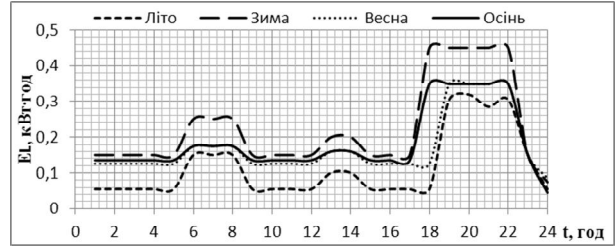


Рисунок 3 – Добовий графік погодинного електроспоживання

Потужність P_{WT} ВЕУ з ВВО, що отримується від вітру, розраховується на основі бази погодинних значень швидкості вітру V_w для м. Львова та параметрів конкретної ВЕУ з ВВО за наступним виразом:

$$P_{WT}(t) = 0,5 \rho A C_p(\lambda) V_w(t)^3, \quad (1)$$

де ρ – густина повітря, що дорівнює 1,23 кг/м³; A – площа омивання вітроротора (ВР), м²; $C_p(\lambda)$ – залежність коефіцієнта ефективності відбору ВР потужності вітру, який залежить від конструктивних особливостей ВР та його швидкохідності $\lambda = \omega R/V_w$; ω – кутова швидкість ВР, рад/с; R – радіус ВР, м.

Вважаємо, що досліджувані ВЕУ з ВВО працюють у точках відбору максимальної потужності, й приймаємо, згідно з [10], $C_p(\lambda)$ рівним його максимальному значенню 0,351. На рис. 4 зображено залежність вихідної потужності ВЕУ з ВВО від швидкості вітру. При швидкості вітру $V_{w on}$ ВЕУ починає працювати, а при швидкості вітру $V_{w rated}$ установка досягає свого номінального значення потужності $P_{WT rated}$. При максимальній швидкості вітру, що дорівнює $V_{w off}$, ВЕУ з ВВО зупиняє свою роботу з метою безпеки.

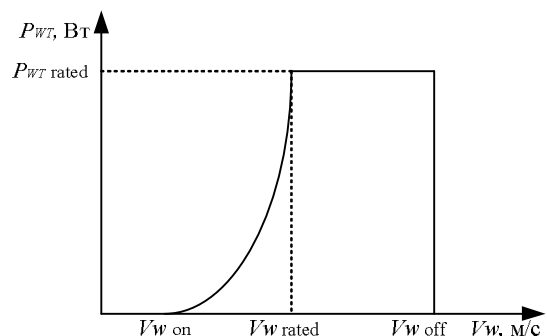


Рисунок 4 – Залежність вихідної потужності ВЕУ з ВВО від швидкості вітру

Потужність P_{PV} на виході із СБ, яка отримується від сонця, обчислюється на основі погодинних значень притоку сонячної радіації на похилу поверхню

$G_{ilt}(t)$ (Вт/м²), погодинних значень температури навколишнього середовища та параметрів конкретної СБ за виразом:

$$P_{PV}(t) = \eta_{PV} A G_{ilt}(t), \quad (2)$$

де η_{PV} – миттєва енергетична ефективність СБ; A – площа СБ, м².

Згідно з методикою, викладеною в [4], η_{PV} розраховується за наступним співвідношенням:

$$\eta_{PV} = \eta_r \eta_{pt} \left[1 - \mu (\theta_{cell} - \theta_{cell\ ref}) \right], \quad (3)$$

де η_r – ККД СБ; η_{pt} – ККД системи відстеження точки відбору максимальної потужності (*maximum power point tracking system* – МРРТ), який приймається рівним одиниці, якщо встановлений ідеальний трекер; μ – температурний коефіцієнт СБ, який приймається сталим, а для кремнієвих фотоелементів знаходиться в діапазоні 0,004–0,006° С; $\theta_{cell\ ref}$ – температура СБ за стандартних умов вимірювання й становить 25° С; θ_{cell} – реальна температура СБ.

θ_{cell} розраховуємо за співвідношенням

$$\theta_{cell} = \theta_a + \left(\frac{\theta_{NCOT} - 20}{800} \right) G_{ilt}(t), \quad (4)$$

де θ_a – температура навколишнього середовища, °С; θ_{NCOT} – номінальна робоча температура СБ.

Кількість СБ, які необхідно з'єднати послідовно для отримання того ж рівня напруги, що й у внутрішній мережі ГВССЕ, дорівнює

$$N_{PV} = \frac{U_{NET}}{U_{PV}}, \quad (5)$$

де U_{NET} – напруга мережі ГВССЕ, В; U_{PV} – напруга СБ, В.

Для максимізації річного обсягу генерування ЕЕ від СБ у складі ГВССЕ у м. Львові було використано отримані нами значення оптимальних параметрів встановлення СБ, а саме: кут нахилу СБ до горизонту – 49° та відхилення від напрямку на південь 3° [10].

Для розрахунку кількості АБ, які необхідно з'єднати послідовно для отримання того ж рівня напруги, що й у внутрішній мережі ГВССЕ, скористаємось співвідношенням (5), лише підставивши значення напруги АБ замість значення напруги СБ.

Залежно від того, чи буде обсяг генерування ЕЕ від ПДЕ достатнім для задоволення потреб споживача в конкретний момент часу, АБ буде заряджатися або розряджатися. Для випадку, коли АБ заряджається, величина енергії E_B в АБ у час t розраховується за виразом

$$E_B(t) = E_B(t-1) + [E_{Gen}(t) - E_L(t)] \eta_B, \quad (6)$$

де $E_{Gen}(t)$ – погодинне значення згенерованої ЕЕ ВЕУ з ВВО та СБ у час t , кВт·год; $E_L(t)$ – ЕЕ, яка

необхідна споживачу в час t , кВт·год; η_B – зарядна ефективність АБ, %.

Кількість енергії E_B АБ в час t , коли АБ розряджається, розраховується за співвідношенням

$$E_B(t) = E_B(t-1) + [E_L(t) - E_{Gen}(t)]. \quad (7)$$

Мінімальна кількість енергії АБ E_{Bmin} виражається через максимальну глибину розряду батареї DOD_{max} і розраховується за виразом

$$E_{Bmin} = (1 - DOD_{max}) E_{Bnom}, \quad (8)$$

де E_{Bnom} – номінальна енергетична ємність АБ, Вт·год.

Якщо обсяг згенерованої від ПДЕ енергії перевищує обсяг енергії, необхідної споживачу в конкретний момент часу, то надлишкова енергія буде нагромаджуватися на АБ, поки величина енергії АБ не досягне максимального значення E_{Bmax} . Продовження такої ситуації зумовлює наявність надлишкової згенерованої енергії EPG , погодинні значення якої розраховуються за співвідношенням

$$EPG(t) = E_{Gen}(t) - \left[E_L(t) + \frac{E_{Bmax} - E_B(t-1)}{\eta_B} \right]. \quad (9)$$

Значення критерію $REPG$ для періоду T год., що дорівнює одному року, обчислюється за виразом

$$REPG = \sum_{t=1}^T EPG(t) / \sum_{t=1}^T E_L(t). \quad (10)$$

У випадку, коли згенерована енергія буде недостатньою для потреб споживача й кількість енергії АБ досягне мінімального значення E_{Bmin} , погодинні значення дефіциту енергії DPS розраховуються за виразом

$$DPS(t) = E_L(t) - [E_{Gen}(t) + E(t-1) - E_{Bmin}]. \quad (11)$$

Значення критерію $DPSP$ за рік роботи системи:

$$DPSP = \sum_{t=1}^T DPS(t) / \sum_{t=1}^T E_L(t). \quad (12)$$

Для визначення оптимальної конфігурації елементів ГВССЕ необхідно провести кошторисний аналіз елементів системи та системи в цілому, скориставшись методикою, викладеною у [8].

Ціна 1 кВт·год енергії (COE) на виході з ГВССЕ окремого об'єкта з певною конфігурацією елементів є економічним критерієм, за допомогою якого можна визначитися з тим чи іншим варіантом конфігурації системи. Значення COE залежить, насамперед, від реальних цін на елементи ГВССЕ, які можна розрахувати, врахувавши рівень інфляції та ставку дисконтування. Також у дослідженні враховуються витрати на обслуговування елементів системи протягом усього періоду роботи, витрати на заміну елементів (заміна АБ), але не враховуються витрати на встановлення ГВССЕ. Оскільки обладнання для

ГВССЕ в більшості випадків є імпортом і його закупівельна вартість залежить від курсу долара США, то для зручності в розрахунках та уникнення перерахунків курсів валюти у зв'язку з її коливаннями, ціну на обладнання, яке ми взяли з електронних каталогів мережі Інтернет, виражатимемо в доларах США.

COE визначається за наступним співвідношенням

$$COE = TAC / TALE, \quad (13)$$

де COE обчислюється в \$/кВт-год; TAC — загальна річна вартість системи електропостачання (*total annualized cost*), \$/рік; $TALE$ — загальна річна кількість спожитої енергії (*total annual load energy*), кВт-год/рік.

TAC знайдемо за таким співвідношенням:

$$TAC = TLCC / CPWF, \quad (14)$$

де $TLCC$ — загальна вартість системи протягом періоду експлуатації (*total life cycle cost*), \$; $CPWF$ — сукупний фактор реальної вартості (*cumulative present worth factor*).

$CPWF$ залежить від рівня інфляції та ставки дисконтування й знаходиться за виразом

$$CPWF = (1 - X^n) / (1 - X), \quad (15)$$

де n — термін експлуатації елемента системи, роки.

Змінну X знаходимо за наступним співвідношенням

$$X = (1 + i) / (1 + d), \quad (16)$$

де i — рівень інфляції, %; d — ставка дисконтування, %.

$TLCC$ включає в себе вартість кожного елемента системи, вартість на обслуговування протягом всього періоду експлуатації, а також вартість на заміну АБ, яку визначимо за наступним співвідношенням

$$P = X^n PC, \quad (17)$$

де P — ціна елемента системи через n років, приведена до реального часу, \$; PC — ціна елемента системи, \$.

Приймаємо, що вартість на обслуговування елемента системи протягом одного року дорівнює 5% від вартості самого елемента системи.

У дослідженні вважається, що термін експлуатації системи буде 20 років. Заміна АБ буде відбуватися кожні 10 років, тому до розрахунку вартості АБ враховуємо вартість однієї заміни АБ P лише один раз

На сьогодні рівень інфляції в Україні становить 4%, а ставка дисконтування — 9,5%.

Узагальнений алгоритм розрахунку показників енергопостачання ГВССЕ окремого об'єкта за вищенаведеною методикою зображено на рис. 5.

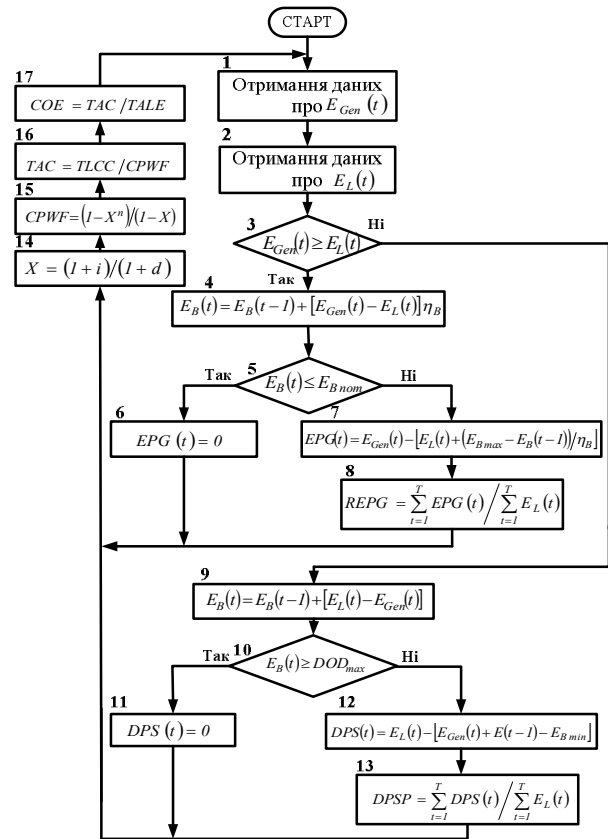


Рисунок 5 – Узагальнений алгоритм розрахунку показників енергопостачання ГВССЕ

Працює алгоритм наступним чином.

У блоці 1 читаються дані про значення на конкретну годину року сумарної згенерованої ВЕУ з ВВО та СБ енергії $E_{Gen}(t)$, а у блоці 2 – дані про кількість енергії $E_L(t)$, яка необхідна споживачу в конкретну годину доби. У блоці 3 значення $E_L(t)$ і $E_{Gen}(t)$ порівнюються. Для випадку, коли $E_{Gen}(t)$ є більшою за $E_L(t)$, відбувається зарядження АБ (блок 4). Порівняння величини енергії АБ у час t E_B з номінальною енергетичною ємністю АБ E_{Bnom} виконується в блоці 5. Якщо E_B в час t менша за E_{Bnom} , то надлишкова згенерована енергія в час t буде рівною нулю (блок 6), а якщо ні – розраховується за співвідношенням, що продемонстровано у блоці 7. У блоці 8 розраховується критерій $REPG$. Для випадку, коли $E_{Gen}(t)$ є меншою за $E_L(t)$, відбувається розрядження АБ (блок 9). У блоці 10 порівнюється величина енергії АБ у час t E_B з величиною максимальної глибини розряду АБ DOD_{max} . Якщо E_B в час t є більшою за величину DOD_{max} , то дефіцит енергії буде рівним нулю (блок 11), а якщо ні – розраховується за співвідношенням, що показано у блоці 12. У блоці 13 розраховується критерій $DPSP$. Також у програмі реалізується

ся кошторисний аналіз на основі розрахунку загальної річної вартості TAC , загальної вартості протягом періоду експлуатації $TLCC$ з поправкою на ставку дисконтування d та рівень інфляції в Україні i , а також на основі загальної річної кількості спожитої енергії $TALE$ відповідно до виразів (13)–(16). Кошторисний аналіз проводиться в блоках 14–7.

Сформовану базу погодинних метеорологічних даних та описаний алгоритм роботи ГВССЕ та розрахунку енергетичних показників реалізовано в середовищі Microsoft Office Excel. Як приклад використання розробленої програми обчислено погодинні значення EPG та DPS , $REPG$ та $DPSP$, а також проведено кошторисний аналіз із розрахунком економічного критерію COE для системи, яка може формуватися з трьох типів СБ, трьох типів АБ і трьох типів ВЕУ з ВВО [3]. Параметри складових елементів ГВССЕ вказано в табл. 1–3 відповідно. У табл. 4 приведено 27 варіантів можливих конфігурацій ГВССЕ, складених із вказаних елементів.

Таблиця 1 – Параметри СБ

Тип	ACS-50D	ACS-100D	ACS-250D
P , Вт	50	100	250
U , В	18,5	18,5	30,3
I , А	2,7	5,38	8,25
θ_{NCOG} , °С	43	43	43
η_r , %	14,2	14,2	14,2
S , м ²	0,352	0,66	1,33
Ціна, \$	67,5	127,4	303,5
Річна вартість обслугов., \$	3,38	6,37	15,18
N	12	12	8
n , роки	20	20	20

Таблиця 2 – Параметри ВЕУ з ВВО

Тип	Techmlv1kw	Techmlv3kw	Techmlv5kw
P , Вт	1000	3000	5000
U , В	220	220	220
S , м ²	6,35	10,44	17,40
V_{won} , м/с	3	3	3
$V_{w rated}$, м/с	9	10	11
$V_{w off}$, м/с	24	24	24
Ціна, \$	1850	6180	8600
Річна вартість обслугов., \$	92,5	309	430
N	1	1	1
n , роки	20	20	20

Таблиця 3 – Параметри АБ

Тип	Varta lad60	Varta lad115	Varta lad250
C , А·год	60	115	250
U , В	12	12	12
Ціна, \$	167	260	582
N	19	19	19
n , роки	10	10	10

Таблиця 4 – Конфігурації елементів ГВССЕ

№	СБ	ВЕУ з ВВО	АБ
1	ACS-50D	Techmlv1kw	Varta lad60
2	ACS-50D	Techmlv1kw	Varta lad115
3	ACS-50D	Techmlv1kw	Varta lad260
4	ACS-100D	Techmlv1kw	Varta lad60
5	ACS-100D	Techmlv1kw	Varta lad115
6	ACS-100D	Techmlv1kw	Varta lad260
7	ACS-250D	Techmlv1kw	Varta lad60
8	ACS-250D	Techmlv1kw	Varta lad115
9	ACS-250D	Techmlv1kw	Varta lad260
10	ACS-50D	Techmlv3kw	Varta lad60
11	ACS-50D	Techmlv3kw	Varta lad115
12	ACS-50D	Techmlv3kw	Varta lad260
13	ACS-100D	Techmlv3kw	Varta lad60
14	ACS-100D	Techmlv3kw	Varta lad115
15	ACS-100D	Techmlv3kw	Varta lad260
16	ACS-250D	Techmlv3kw	Varta lad60
17	ACS-250D	Techmlv3kw	Varta lad115
18	ACS-250D	Techmlv3kw	Varta lad260
19	ACS-50D	Techmlv5kw	Varta lad60
20	ACS-50D	Techmlv5kw	Varta lad115
21	ACS-50D	Techmlv5kw	Varta lad260
22	ACS-100D	Techmlv5kw	Varta lad60
23	ACS-100D	Techmlv5kw	Varta lad115
24	ACS-100D	Techmlv5kw	Varta lad260
25	ACS-250D	Techmlv5kw	Varta lad60
26	ACS-250D	Techmlv5kw	Varta lad115
27	ACS-250D	Techmlv5kw	Varta lad260

До складу будь-якої конфігурації елементів ГВССЕ в дослідженнях було взято інвертор RM2400LC з номінальною потужністю 2,4 кВт та контролер заряду АБ МРРТ20 з номінальним струмом 20 А. Ціна інвертора та контролера становить \$ 901 та \$ 99 відповідно.

Для кожної з конфігурацій елементів ГВССЕ в результаті розрахунків за описаною методикою було отримано річні графіки генерування ЕЕ (рис. 6). Як видно з рис. 6, варіанти конфігурації елементів системи з АБ ємністю 250 А·год (номери 7–9, 16–18 і 25–27) виділяються найбільшими значеннями згенерованої ЕЕ, проте значення інших показників, наведених на рис. 7 і 8, суттєво відрізняються.

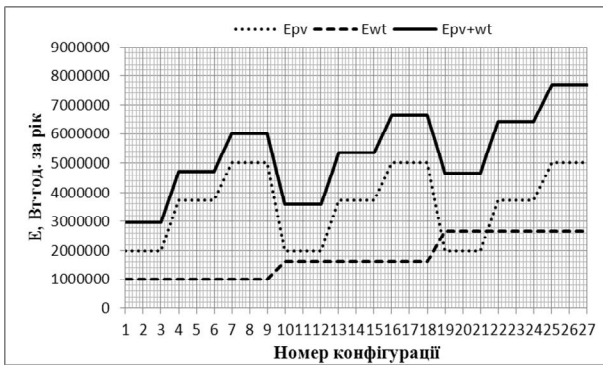


Рисунок 6 – Річне генерування ЕЕ за різних конфігурацій елементів ГВССЕ

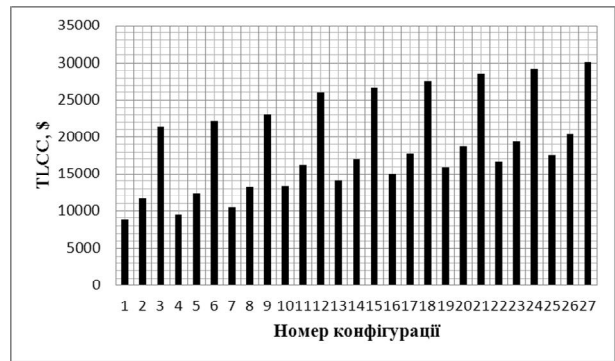
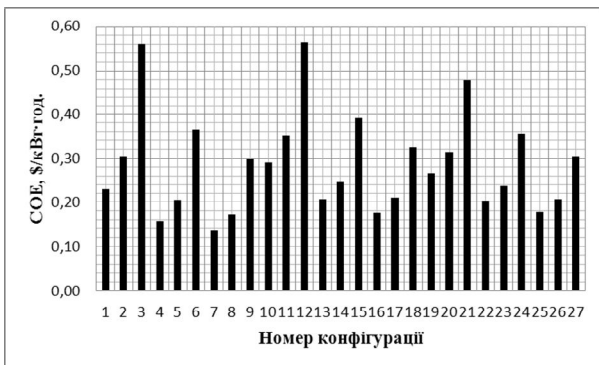
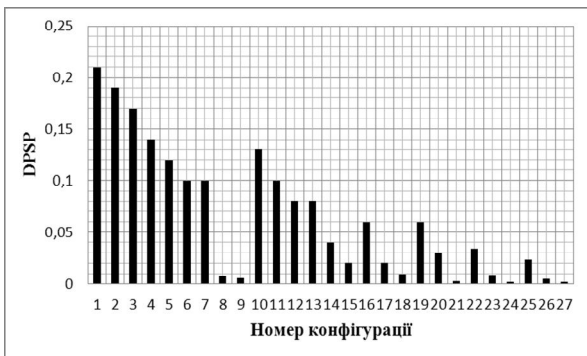


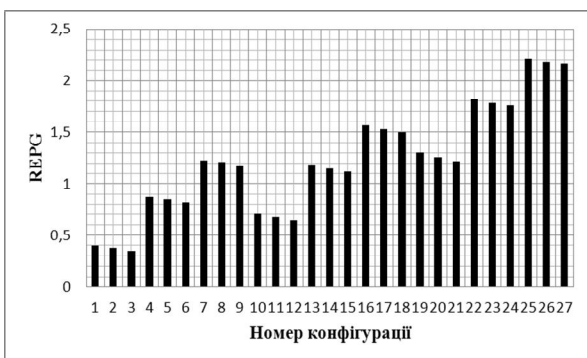
Рисунок 8 – Залежність вартості ГВССЕ від номера конфігурації



а)



б)

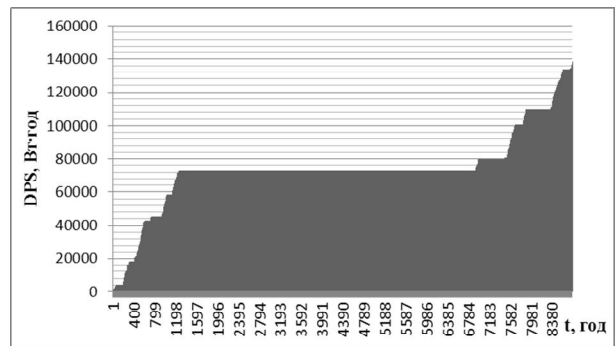


в)

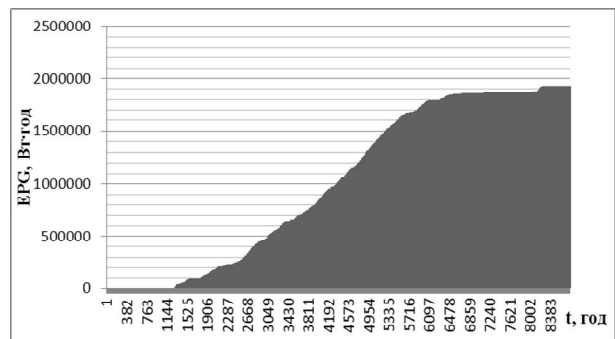
Рисунок 7 – Залежності показників електропостачання від номера варіанта конфігурації: а) ціни однієї кВт·год ЕЕ; б) критерію ймовірності втрати живлення; в) критерію надлишкової згенерованої потужності

Проаналізувавши рис. 7 та рис. 8, можна зробити висновок, що оптимальна конфігурація елементів ГВССЕ знаходиться під номером 8 (табл. 3) з такими значеннями показників енергопостачання: $COE - 0,17$, $DPSP - 0,008$, $REPG - 1,21$. Відповідно до значення критерію $REPG$, ГВССЕ буде генерувати значну кількість надлишкової ЕЕ, але її можна буде витратити на інші потреби споживача. Дефіцит ЕЕ можна покрити за рахунок використання в ГВССЕ додаткового джерела генерування ЕЕ, наприклад, дизельного генератора.

Для обраної оптимальної конфігурації було побудовано графіки наростання протягом року сумарних значень дефіциту ЕЕ та надлишку ЕЕ (рис. 9).



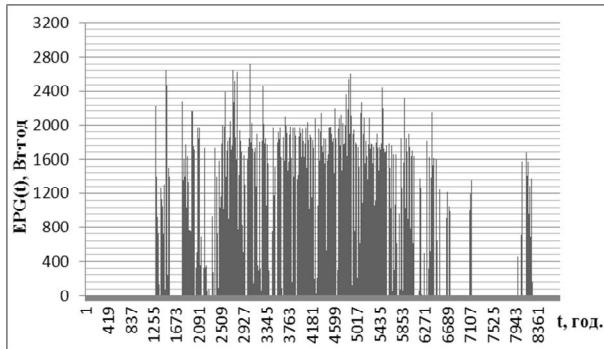
а)



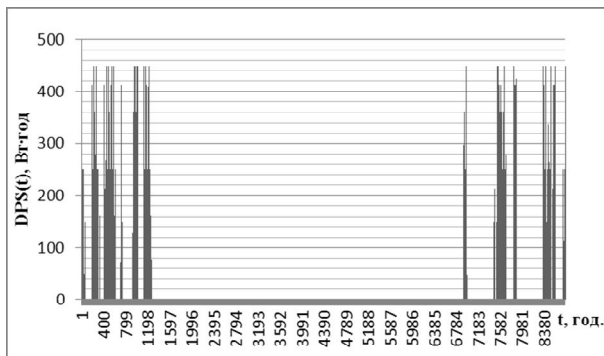
б)

Рисунок 9 – Сумарні значення дефіциту ЕЕ (а) та надлишку згенерованої ЕЕ протягом року (б) для обраної оптимальної конфігурації № 8

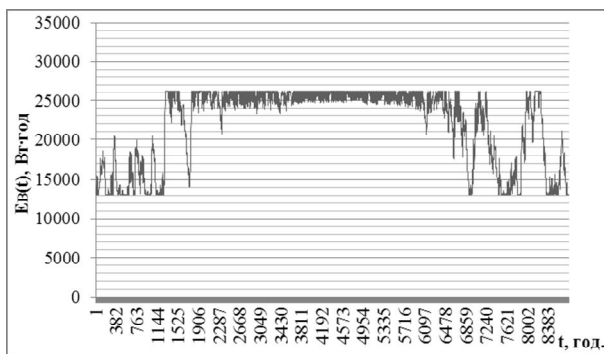
Також для обраної оптимальної конфігурації елементів ГВССЕ було побудовано графіки погодинних значень надлишкової згенерованої ЕЕ $EPG(t)$, погодинних значень дефіциту ЕЕ $DPS(t)$, а також погодинних значень кількості ЕЕ в АБ протягом одного року (рис. 10).



а)



б)



в)

Рисунок 10 – Погодинні значення: а) надлишкової згенерованої ЕЕ; б) дефіциту ЕЕ; в) кількості енергії, що нагромаджується в АБ

З отриманих часових діаграм видно, що в літній період обсяг згенерованої від ПДЕ ЕЕ є більш ніж достатнім для задоволення потреб споживача, а в зимовий період навпаки. Таку проблему можна вирішити, використавши як додаткове джерело генерування ЕЕ дизельний генератор. Тоді ГВССЕ буде дещо дорожчою, зате споживач не відчує дефіциту ЕЕ. Щодо згенерованої надлишкової енергії, то, як говорилося раніше, її можна використати на

обігрів будинку чи води або ж використати додаткові акумулюючі пристрої для її накопичення, наприклад, гідроакумулятор, механічний акумулятор (маховик) тощо.

ВИСНОВКИ. Відповідно до сформованої бази погодинних метеорологічних даних, графіку навантаження споживача, характеристик та цін елементів ГВССЕ окремого об'єкта, розроблена нами на основі вищенаведеної методики програма дає змогу оперативно оцінити показники електропостачання для будь-якої конфігурації ГВССЕ окремого об'єкта, а також визначити оптимальну конфігурацію елементів ГВССЕ.

Оптимальна конфігурація елементів ГВССЕ в даному дослідженні була вибрана шляхом послідовного перебору варіантів, але для численної кількості конфігурацій елементів ГВССЕ використання такого способу займе багато часу й він не дасть змоги оперативно оцінити показники енергопостачання. Тому в наступному дослідженні для розв'язання задач такого роду ми плануємо використати оптимізаційні процедури, наприклад, на основі генетичних алгоритмів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Sreeraj E., Chatterjee K., Bandyopadhyay S. Design of isolated renewable hybrid power systems // Journal of Solar Energy. – 2010. – Iss. 84. – PP. 1124–1136.
2. Lee T., Chen C. Wind-photovoltaic capacity for a time-of-use rate industrial user // IET Renewable Power Generation. – 2009. – Iss. 2, № 3. – PP. 152–167.
3. Belfkira R., Zhang L., Barakat G. Optimal sizing study of hybrid wind/PV/diesel power generation unit // Journal of Solar Energy. – 2011. – Iss. 85. – PP. 100–110.
4. Kaabeche A., Belhamel M., Ibtouen R. Techno-economic valuation and optimization of integrated photovoltaic/wind energy conversion system // Journal of Solar Energy. – 2011. – Iss. 85. – PP. 2407–2420.
5. Ould B., Sambou V., Kebe C. and oth. Methodology to size an optimal stand-alone PV/wind/diesel/battery system minimizing the levelized cost of energy and CO₂ emissions // Journal of Energy Procedia. – 2012. – Iss. 14. – PP. 1636–1647.
6. Koutroulis E., Kolokotsa D., Potirakis A., Kalaitzakis K. Methodology for optimal sizing of stand-alone photovoltaic/wind-generator systems using genetic algorithms // Journal of Solar Energy. – 2006. – Iss. 80. – PP. 1072–1088.
7. Ai B., Yang H., Shen H., Liao X. Computer-aided design of PV/wind hybrid system // Journal of Renewable Energy. – 2003. – Iss. 28. – PP. 1491–1512.
8. Ismail M., Moghavvemi M., Mahlia T. Design of an optimized photovoltaic and microturbine hybrid power system for a remote small community: Case study of Palestine // Journal of Energy Conversion and Management. – 2013. – Iss. 75. – PP. 271–281.
9. Zhou W., Lou C., Li Z. and others. Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid

solar–wind power generation systems // *Journal of Applied Energy*. – 2010. – Iss. 87. – PP. 380–389.

10. Щур І., Турленко О. Енергетична ефективність різних способів відбору потужності від синх-

ронного генератора з постійними магнітами у вітроенергоустановці // *Електроенергетичні та електромеханічні системи. Вісник НУ “Львівська політехніка”*. – 2009. – № 654. – С. 272–277.

FEASIBILITY STUDY OF PARAMETERS OF HYBRID WIND-SOLAR POWER SUPPLY SYSTEM FOR THE INDIVIDUAL OBJECT

I. Shchur, V. Klymko

National University «Lviv Polytechnic»

vul. Stepana Bandery, 12, Lviv, 79000, Ukraine. E-mail: i_shchur@meta.ua, vklymko@gmail.com.

In remote networks from centralized electric power areas are arranged private cottages, workshops, radio and telecommunication stations, satellite earth stations, renewable energy to power such objects becomes almost the only solution to the problem. The random nature of renewable energy makes to combine two or more sources of power generation from renewable energy and electricity storage device to meet the needs of the consumer. The paper presents a comprehensive model of a hybrid wind-solar power supply system of a single object, which uses two complementary channels for generating electricity from renewable wind and solar energy, implemented using, respectively, the wind-driven vertical axis and the solar cell, battery and power system management, which is implemented on the controller. Hybrid wind-solar power system operates in the algorithm presented. Formed on the basis of the base hourly meteorological data for the city of Lviv 2013 year and load individual cottage has developed a program that calculates the hourly energy balance between the consumer and a hybrid wind-solar power supply system for one year, and also allows you to select the optimal configuration of system elements with high economic and indicators of reliability. To assess the effectiveness of the calculated power loss probability criterion and the criterion of the relative excess energy generated. In this paper the cost analysis of all system elements was carried out and the price of 1 kW of electrical energy was calculated, depending on which elements is selected to the system configuration.

Key words: hybrid electricity supply system, energy management system, algorithm of work, wind electrical installation, solar battery.

REFERENCES

1. Sreeraj, E., Chatterjee, K., Bandyopadhyay, S. (2010), "Design of isolated renewable hybrid power systems", *Journal of Solar Energy*, Vol. 84, pp. 1124–1136.
2. Lee, T., Chen, C. (2009), "Wind-photovoltaic capacity for a time-of-use rate industrial user", *IET Renewable Power Generation*, Vol. 3, no. 2, pp. 152–167.
3. Belfkira, R., Zhang, L., Barakat, G. (2011), "Optimal sizing study of hybrid wind/PV/diesel power generation unit", *Journal of Solar Energy*, Vol. 85, pp. 100–110.
4. Kaabeche, A., Belhamel, M., Ibtouen, R. (2011), "Techno-economic valuation and optimization of integrated photovoltaic/wind energy conversion system", *Journal of Solar Energy*, Vol. 85, pp. 2407–2420.
5. Ould, B., Sambou, V., Kebe, C., Ndiaye, P., Ndongo, M. (2012), "Methodology to size an optimal stand-alone PV/wind/diesel/battery system minimizing the levelized cost of energy and CO₂ emissions", *Journal of Energy Procedia*, Vol. 14, pp. 1636–1647.
6. Koutroulis, E., Kolokotsa, D., Potirakis, A., Kalaitzakis, K. (2006), "Methodology for optimal sizing of stand-alone photovoltaic/wind-generator systems using genetic algorithms", *Journal of Solar Energy*, Vol. 80, pp. 1072–1088.
7. Ai, B., Yang, H., Shen, H., Liao, X. (2003), "Computer-aided design of PV/wind hybrid system" *Journal of Renewable Energy*, Vol. 28, pp. 1491–1512.
8. Ismail, M., Moghavvemi, M., Mahlia, T. (2013), "Design of an optimized photovoltaic and microturbine hybrid power system for a remote small community: Case study of Palestine", *Journal of Energy Conversion and Management*, Vol. 75, pp. 271–281.
9. Zhou, W., Lou, C., Li, Z., Lu, L., Yang H. "Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar–wind power generation systems", *Journal of Applied Energy*, Vol. 87, pp. 380–389.
10. Shchur, I., Turlenko, O. (2009), "Energy efficiency of different methods of taking off power from synchronous generator with permanent magnets in wind-energy installation", *Elektroenergetychni ta elektromekhanichni systemy, Visnyk Natsionalnogo universytetu “Lvivska Politehnika”*, Vol. 654, pp. 272–277. (in Ukrainian)

Стаття надійшла 19.04.2014.