

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису Калінчук Вадим Сергійович

УДК 621.359.4

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Обґрунтування варіанту системи автономного електроспоживання  
фермерських господарств з використанням відновлюваних джерел  
енергії

(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Калінчук В.С.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Голубенко Анна Анатоліївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

Старший викладач кафедри електрифікації, автоматизації виробництва та  
інженерної екології

(науковий ступінь, вчене звання)

## АНОТАЦІЯ

**Калінчук В.С. Обґрунтування варіанту системи автономного електроспоживання фермерських господарств з використанням відновлюваних джерел енергії.** Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

У роботі розглянуті питання пов'язані з можливістю застосування та шляхами підвищення ефективності комбінованих систем електропостачання на базі відновлюваних енергоджерел для живлення електричною енергією фермерських господарств.

**Ключові слова:** системи електропостачання, вітроенергетика, фотовольтаїка, енергозабезпечення, фермерські господарства.

## ABSTRACT

**Kalinchuk V.S. Justification of the variant of the system of autonomous electricity consumption of farms using renewable energy sources.** Qualifying work for obtaining a bachelor's degree in specialty 141 - Electric power, electrical engineering and electromechanics - Polish National University, Zhytomyr, 2023.

The issues considered in the work are related to the possibility of application and ways of increasing the efficiency of combined power supply systems based on renewable energy sources for powering farms with electricity.

**Key words:** power supply systems, wind energy, photovoltaics, energy supply, farms.

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| ВСТУП .....   | 4  |
| РОЗДІЛ 1. ....  | 6  |
| ОГЛЯД ПОКАЗНИКІВ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ   |    |
| СИЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ СПОЖИВАЧІВ .....  | 6  |
| 1.1. Системи електропостачання на базі вітрових електростанцій.....                                       | 6  |
| 1.2. Системи електропостачання на базі сонячних електростанцій.....                                       | 7  |
| 1.3. Обґрунтування використання поновлюваних джерел для систем<br>зрошення .....                          | 11 |
| Висновки до розділу 1 .....   | 13 |
| РОЗДІЛ 2.....   | 14 |
| РОЗРОБКА АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ  |    |
| ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА.....  | 14 |
| 2.1. Розробка системи електропостачання на основі сонячної фото-<br>вітроелектричної енергоустановки..... | 14 |
| 2.2. Моделювання комбінованої автономної електростанції на основі ВДЗ ..                                  | 20 |
| 2.3. Оптимізація структури енергетичного обладнання.....  | 27 |
| Висновки до розділу 2 .....   | 32 |
| Висновки .....  | 34 |
| Список використаних джерел .....  | 35 |

## ВСТУП

Енергія – основа високого рівня життя, розвиненої економіки та національної безпеки сучасних держав.

У всьому світі в галузі енергетики на сьогоднішній день існує тенденція широкого застосування відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Особливо актуальним вважається використання їх для електрифікації сільського господарства, що насамперед обумовлюється особливостями попиту на електроенергію сільськогосподарськими споживачами та можливостями вироблення її генераторами, які використовують ВДЕ. Зазначений напрямок включено в концепцію розвитку електрифікації сільського господарства України [7].

Що ж змушує більшість країн світу займатись проблемою використання ВДЕ на державному рівні? Таких причин багато, наприклад:

1. зменшення залежності від імпорту органічного палива, в основному нафти та газу;
2. необхідність зниження негативного впливу енергетики на довкілля;
3. невичерпність та доступність відновлюваних енергоресурсів;
4. можливість диверсифікації діяльності великих нафтових, газових та електроенергетичних компаній;
5. можливість застосування та розвитку наукомістких технологій;

Проблеми забезпечення енергією пов'язані зі зростанням питомого енергоспоживання на душу населення, обмеженими запасами найбільш якісного та зручного органічного палива – нафти та природного газу, нерівномірністю його територіального розподілу .

Питання електропостачання сільських територій повинні вирішуватись на сучасному рівні технічного оснащення з використанням нових принципів , технічних рішень та технічних засобів. Електропостачання має бути надійним, прийнятним за вартістю та екологічно безпечним .

Для вирішення питань оптимізації електропостачання автономних споживачів потрібне проведення ресурсних, техніко-економічних,

екологічних та інших обґрунтувань доцільності використання ВДЕ у децентралізованому електропостачанні та масштабів їх впровадження у систему електропостачання.

**Метою кваліфікаційної роботи** є розробка автономних систем комбінованого електропостачання фермерських господарств з використанням відновлюваних джерел енергії та резервної рідкопаливної електростанції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Вивчити потребу в електроенергії автономними сільськими споживачами та кліматичні умови, головним чином, місцеві ресурси відновлюваних джерел енергії (вітер і сонце).

2. Провести оптимізацію та вибір обладнання системи електропостачання сільських споживачів та дослідити можливість підвищення надійності електропостачання з використанням резервної електростанції на рідкому паливі.

**Предметом дослідження** є забезпечення електропостачання автономних сільських споживачів на основі використання відновлюваних джерел енергії.

**Об'єктом дослідження** є децентралізована комбінована сонячна фото-вітроелектрична установка.

**Методи дослідження:** Аналіз та узагальнення даних, наведених у збиранні робіт науково-технічної літератури, методологія системних досліджень у енергетиці.

## РОЗДІЛ 1.

### ОГЛЯД ПОКАЗНИКІВ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ СПОЖИВАЧІВ

#### 1.1. Системи електропостачання на базі вітрових електростанцій

Враховуючи прискорену динаміку зростання вітроенергетики, Всесвітня вітроенергетична асоціація WWEA внесла зміни до свого прогнозу розвитку встановленої потужності світової вітроенергетичної галузі до кінця 2030 року, збільшивши його до 170 000 МВт.

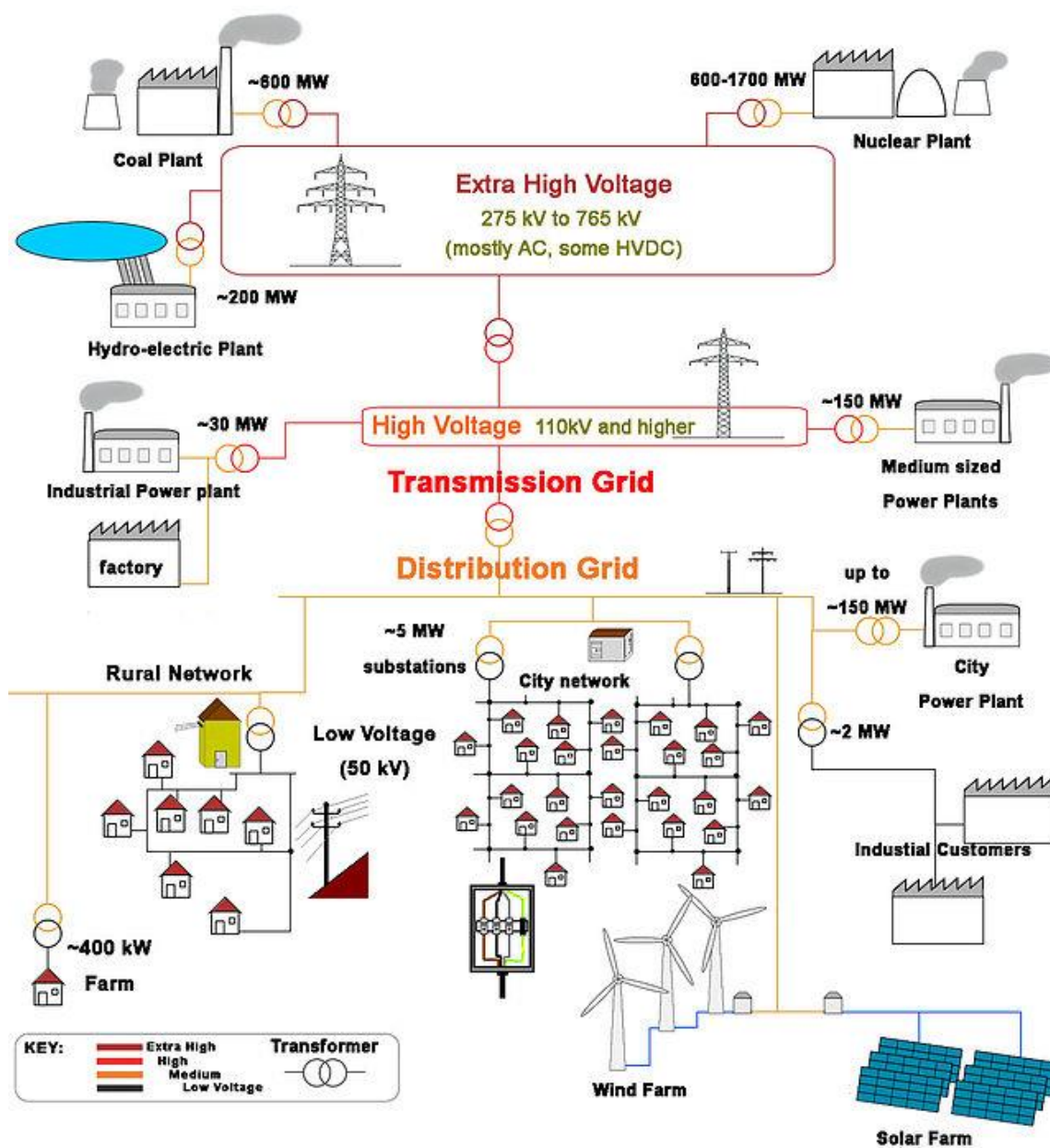


Рис.1.1. Структура системи електропостачання на базі ВЕУ [11]

Необхідна широка підтримка в галузі інвестицій у нові енергетичні технології, такі як, наприклад, вітроенергетична, особливо в країнах, що розвиваються, з метою забезпечення дійсно сталого розвитку цих економік.

Розвиток вітроенергетики безпосередньо пов'язаний із загальним процесом диверсифікації, що спостерігається сьогодні на 16 ринках світу, встановлена вітроенергетична потужність кожного з яких перевищує 1000 МВт.

Важливим індикатором життєздатності вітроенергетичного ринку є показник темпу зростання встановленої потужності галузі порівняно з попереднім роком. У темпи зростання вітроенергетики становили 50%, а Китаї - 107%. Болгарія продемонструвала найбільші темпи зростання вітроенергетики у світі – 177%, стартувавши, однак, з низького рівня. Крім того, динаміка зростання вітроенергетичної галузі вище середньої спостерігалася і на ринках таких країн як Австралія, Польща, Туреччина та Ірландія [3].

## **1.2. Системи електропостачання на базі сонячних електростанцій**

На півдні Іспанії компанія ACS Cobra веде будівництво трьох сонячних теплових електростанцій потужністю 50 МВт кожна Andasol. 1, 2 та 3 з параболоциліндричними концентраторами. Німецька компанія Solar Millennium AG з фірмою Flagsol GmbH з Кельна розробила конструкцію, систему управління та контролю якості параболоциліндричного концентратору та приймача.

Концентратори встановлені у 156 рядів. Кожен ряд довжиною 600 м складається з чотирьох модулів по 150 м, які мають індивідуальне стеження за Сонцем. Кожен модуль складається із 12 колекторів. Колектор довжиною 12 м має 3 циліндричні приймачі, з'єднаних послідовно [21].

СЕС Andasol 1 має дві ємності, що акумулюють, на 28500 тонн рідкої суміші солей натрію та калію селітра. Температура холодного резервуару 292°C, гарячого - 386°C. Тепловий акумулятор дозволяє збільшити тривалість роботи СЕС після заходу сонця на 7,5 годин. Для нагрівання теплових акумуляторів площу концентраторів було збільшено вдвічі на 1 МВт потужності порівняно з

СЕС Nevada Solar One, яка має резервування на природному газі.

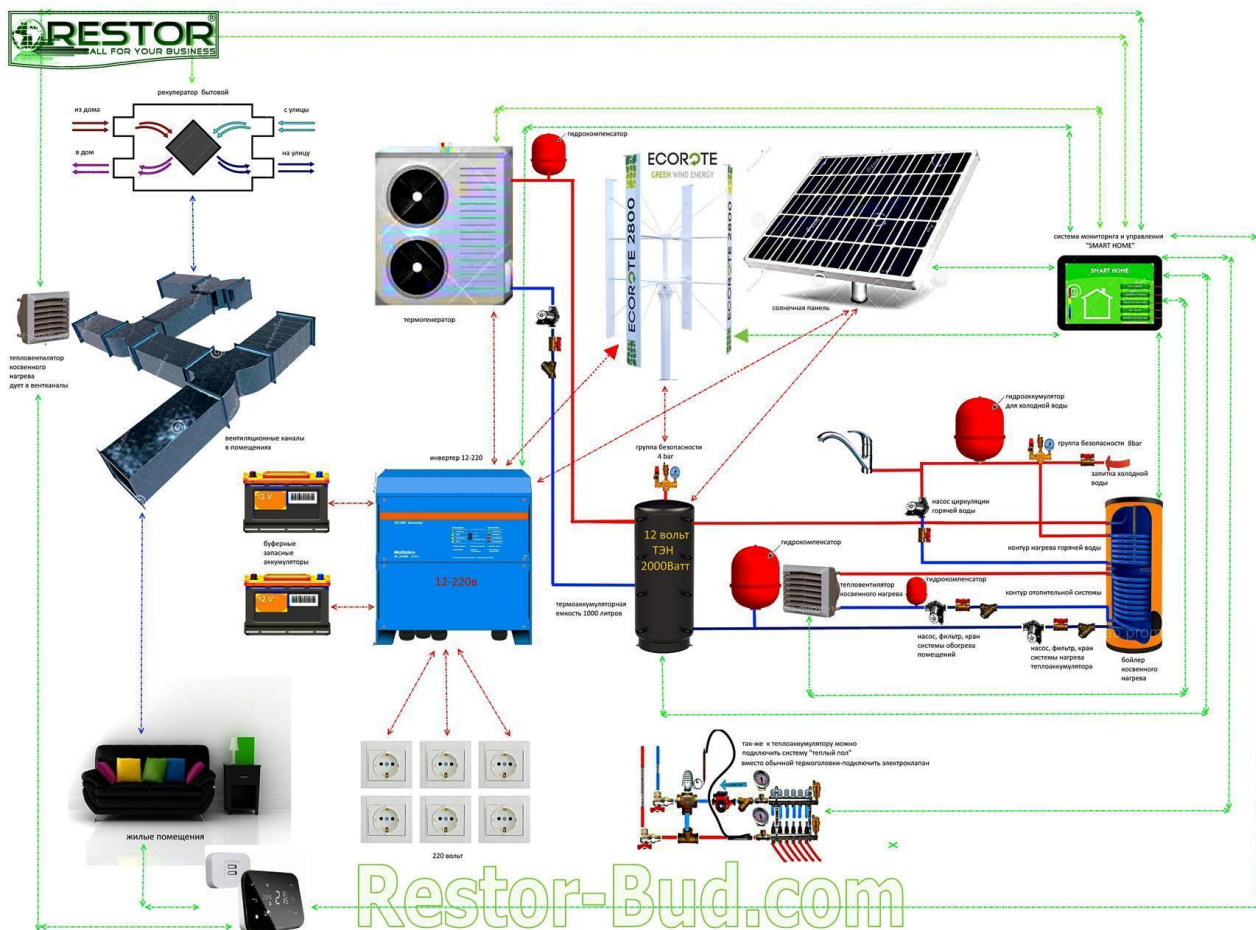


Рис.1.2. Структура системы электропитания на базе солнечной энергетики [16]

Solar Millennium розпочала будівництво СЕС потужністю 250 МВт у Єгипті. У майбутньому планується використовувати параболоциліндричні - концентратори для опріснення води.

У 2010 р. розпочнеться будівництво СЕС потужністю 250 МВт з параболоциліндричними концентраторами в пустелі Amargosa , штат Невада, США. Проектування та будівництво здійснюють Solar Millennium AG, Німеччина, спільно з фірмами США NV Energy, Inc. та Man Ferrostaal , Inc.. Експлуатаційні витрати для СЕС 250 МВт становитимуть 3 центи/ кВт. год.

До 2025 року загальна потужність паротурбінних СЕС у світі складе кілька сотень гігават [8].

Консорціум німецьких компаній Munich RE, Siemens, RWE та Deutsche



Bank планує за 40 років побудувати сонячні теплові електростанції у Північній Африці вартістю 400 мільярдів євро. СЕС забезпечуватимуть 15% потреб Європи в електроенергії.

Загальна потужність паротурбінних сонячних електростанцій у пустелі Сахара становитиме 100 ГВт, термін будівництва 40 років. Перша СЕС буде побудована до 2020 р. Проект Desertec (Від слова Desert - пустеля) передбачає створення лінії електропередач, довжиною 3000 км для передачі електроенергії до Європи.

Розглядаються та будуються 3 типи СЕС з паротурбінними циклами: СЕС з параболоциліндричними концентраторами, СЕС з лінійними дзеркалами - Френеля, СЕС з центральною вежею висотою 100 м і полем геліостатів та СЕС з параболоїдними дзеркалами площею 400-500 м. Фотоелектричні СЕС із концентраторами та сонячними елементами (СЕ) використовують концентричні лінзи Френеля та невеликі параболоїдні дзеркальні відбивачі. Використовуються два типи СЕ: кремнієві планарні СЕ з ККД концентраторних модулів 11-12% та каскадні СЕ на основі сполук  $A_{III} B_V$  з ККД концентраторних модулів 23,5%-26,8%. Конкуренцію СЕС із концентраторами становлять плоскі сонячні фотоелектричні модулі (СМ) без концентраторів, обсяг виробництва яких у 2008 р. становив 7,9 ГВт, а ККД від 15-16% для стандартних кремнієвих СМ і до 18,7%) для кремнієвих СМ фірми Sunpower, США [14].

Sol Focus, США, спільно з грецькими компаніями Samaras Group та Concept підписали угоду про збільшення потужності фотоелектричних СЕС із концентраторами з 1,6 МВт до 10 MW. Sol Focus має штаб-квартиру в Mountain View, Каліфорнія, завод в Meza, штат Арізона, і Європейське представництво в Мадриді, Іспанія.

Sol Focus випускає параболоїдні модулі квадратної форми потужністю 30 Вт з ККД 26% при концентрації 500. Розміри модуля 35x35 см. Sol Focus отримує фотоприймачі від Emcore Corp. Emcore Corp, США, виробляє модулі T1000 cell з акриловою лінзою Френеля потужністю 50 Вт з ККД 26,8% при концентрації 450. Розміри модуля 43x43 см. Розміри каскадного гетерофотоприймача 12,58 X

12,58 мм. ККД промислового приймача 35%. Emcore Corp спільно з Університетом Delaware, США, отримала 42,8% при 20-кратній концентрації та 39% при 1000-кратній концентрації на лабораторних зразках. Збудувала лінії з виробництва фотоприймачів у США та одну лінію у Китаї загальною потужністю 150 МВт/рік. Поставляє фотоприймачі компаніям Concentrix GmbH, SolFocus , Isofoton , отримала замовлення на постачання до Канади, Південної Кореї та Австралії.

Теплові СЕС баштового типу із системою геліостатів завдяки більш щільному розміщенню геліостатів займають у 1,5-2 рази менше площі, ніж СЕС типу Andasol-1. ККД таких СЕС досягає 30% завдяки вищій температурі пари 550°C. Однак розміщення парогенератора та турбогенератора на висоті 100 м збільшує вартість СЕС та експлуатаційні витрати.

СЕС з параболоїдними відбивачами площею 400-500 м мають найвищий коефіцієнт концентрації та максимальний ККД при понад критичних параметрах пари з температурою 650°C і вище.

Фотоелектричні СЕС мають велику привабливість для інвестицій , оскільки вони модульного типу і тому не вимагають великих початкових капітальних вкладень. При пуску модуля СЕС в експлуатацію він негайно починає повертати інвестиції, тому витрати та повернення інвестицій можна планувати протягом усього періоду будівництва СЕС [24].

Перевагою фотоелектричних СЕС є низькі експлуатаційні витрати 0,07цента/кВт.год., вони не вимагають води для роботи і можуть встановлюватися в гірській місцевості, на дахах і фасадах будівель, у пустелях та країнах з вологим тропічним кліматом. Концентратори збільшують ефективність СЕ та призводять до зниження споживання дорогого напівпровідникового матеріалу на одиницю потужності, проте при цьому виникають додаткові витрати на виробництво концентраторів системи охолодження СЕ та системи стеження. Крім того, концентратори зазвичай використовують лише пряму сонячну радіацію, яка в умовах середньої смуги складає 50% від сумарної сонячної радіації. Це означає, що концентраторний

сонячний модуль при однаковому ККД вироблятиме в 2 рази менше енергії, порівняно з сонячним модулем без концентратора. Тому сонячні електростанції з концентраторами необхідно використовувати у пустелях та інших районах, де пряма сонячна радіація близька до сумарної сонячної радіації, а розсіяна (дифузна) компонента сонячної радіації незначна.

Напрями подальшого розвитку передбачають зниження витрат матеріалів на опорні конструкції, дзеркальні відбивачі, системи охолодження та напівпровідникові СЕ та підвищення оптичного та електричного ККД СЕС. Прикладом інноваційних рішень у галузі концентраторів для СЕС є розробка, лінійних дзеркал Френеля зі скла товщиною 1-2 мм фірмами Austra , Inc , США та Helio Dynamics Ltd, Великобританія. Дзеркальні лінзи Френеля продаються за ціною 7 євро/м і мають масу 3 кг/ м , утричі менше, ніж маса параболоциліндричних відбивачів зі скла. Дзеркала Френеля обертаються навколо нерухомого приймача, нагріваючи пару (а не масло) до температури 280°C. Ефективність дзеркал Френеля на 20% нижча, ніж у параболоциліндричних концентраторів. Фірма Austra планує побудувати 1 ГВт теплову СЕС у Каліфорнії та 1 ГВт теплову СЕС у Флориді, США [8, 21].

### **1.3. Обґрунтування використання поновлюваних джерел для систем зрошення**

Для господарств, що використовують краплинне зрошення і для тих, хто вирощує зернові культури, які могли бути зрошені вдень без акумульованої енергії, використання відновлюваної енергетики є дуже актуальним.

Сільське господарство набуває великого розвитку. Приблизно половина цієї землі розташована у зоні зрошення. Щоб забезпечити доступне безперебійне електропостачання цих ферм, раціонально використовувати автономні системи електроживлення.

Було ухвалення рішення про розширення використання відновлюваних джерел енергії, щоб досягти 20% від загального вироблення електроенергії в 2020 році (гідроелектростанції 8% та вітроелектричні установки 12%). Це може

бути досягнуто шляхом участі приватного капіталу в створенні вітрових електростанцій в Україні.

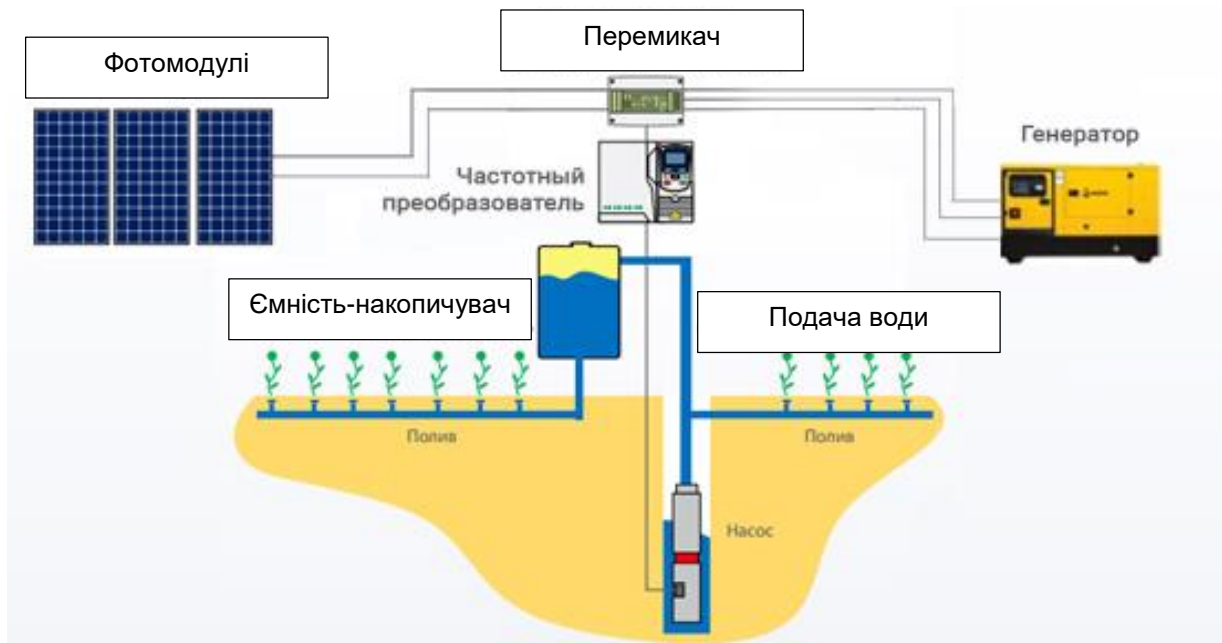


Рис.1.3. Система зрошення на базі відновлюваних енергоджерел [13]

Таким чином, системи електропостачання України можна розділити за джерелами на дві основні системи:

1. Системи електропостачання з урахуванням традиційних джерел енергії (ТДЕ): ці системи переважно залежить від газу і дизельних електростанцій (ДЕС). Ці електростанції зазвичай підключаються до централізованої мережі. Проте маленькі ДЕС, які використовують фермери, не підключено до мережі.

2. Системи електропостачання на базі ВДЕ: ці системи, головним чином, на базі гідралічних електростанцій (ГЕС), вітрових станцій та сонячних теплових електростанцій. Декілька з них вже підключені до мережі. Щодо СФЕУ, то ці системи ще мало поширені через їх високу вартість, але слід підкреслити, що і на індивідуальному та на державному рівні виникло кілька напрямків застосування СФЕУ, тоді як ГЕС та ВЕС досі є лише державною власністю.

Останнім часом почали звертати більше уваги на ВДЕ, щоб оцінити можливість використання альтернативних джерел енергії та здійснення проектів систем ВДЕ. Основною перешкодою є доступність фінансування. У світлі цього

більшість коштів було надано через міжнародні програми.

### **Висновки до розділу 1**

1. Електроенергетика у всьому світі має екологічні недоліки, характерні для загальної енергетики на основі використання традиційних джерел енергії.

2. Збільшення виробітку електроенергії може відбуватися за рахунок використання власних енергоресурсів, у тому числі, відновлюваних джерел енергії.

3. Використання технології сонячних установок із концентраторами у складі Комб.ЕС на основі ВДЕ підвищує ефективність та знижує вартість електропостачання автономних споживачів у порівнянні із сонячними установками без концентраторів.

4. Збільшення частки відновлюваних джерел енергії у сільському господарстві, особливо у віддалених господарствах, є перспективним через обмежені ресурси традиційних джерел енергії, збільшення вартості та екологічних проблем енергетики. Для того, щоб використання ВДЕ вийшло на потрібний рівень, необхідно подолати економічні, науково-технічні, інформаційні та психологічні бар'єри, створити передумови широкому впровадженню відповідних пристроїв, підготувати фахівців, які могли б не тільки розробити такі пристрої, а й правильно експлуатувати їх.

## РОЗДІЛ 2.

### РОЗРОБКА АВТОНОМНОЇ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

#### 2.1. Розробка системи електропостачання на основі сонячної фото- вітроелектричної енергоустановки

Системи з використанням технологій поновлюваної енергетики позбавлені недоліків дизельних електростанцій, проте мають свої особливості. Головна особливість полягає в тому, що СФЕУ та ВЕУ використовують природні нестійкі в часі джерела енергії, що, у свою чергу, позначається на надійності електропостачання споживача. Це питання вирішується, якщо основні технічні параметри споживання електроенергії визначаються відповідно до найгірших протягом розрахункового періоду року характеристик вітру та приходу сонячної радіації (СР). Однак, враховуючи нестабільність цих джерел енергії, надійність вироблення енергії одиночними СФЕУ та ВЕУ все одно залишиться досить низькою, а підвищення надійності електропостачання досягається за рахунок використання акумуляторної батареї (АБ) великої ємності, розрахованої на кілька днів забезпечення автономності електропостачання споживача без енергоджерела. Ці заходи одночасно з підвищенням рівня надійності електропостачання ведуть до подорожчання системи в цілому, що відбивається на можливій галузі застосування СФЕУ та ВЕУ для автономного електропостачання [23].

Тут необхідно наголосити, що в умовах стабільного рівня приходу СР або швидкості вітру переваги систем, що розглядаються набувають особливого значення, тобто, необхідний у кожному конкретному випадку рівень надійності електропостачання досягається за рахунок менших матеріальних витрат у порівнянні з областями, для яких характерні великі сезонні перепади швидкостей вітру чи надходження СР.

Основним параметром, що характеризує систему на основі СФЕУ [15], та в залежності від якого встановлюються інші параметри, є її потужність  $P_{\text{СФЕУ}} (W_{\text{Тпк}})$ , яка визначається за такою формулою:

$$P_{\text{СФЕУ}} = P_{\text{ном,СФЕУ}} * f_{\text{СФЕУ}} * \left[ \frac{G_T}{G_{\text{н.у}}} \right] * [1 + a_p(T_c - T_{\text{н.у}})], \quad (2.1)$$

де

$P_{\text{ном,СФЕУ}}$  - номінальна потужність СФЕУ, Вт;

$f_{\text{СФЕУ}}$  - Коефіцієнт зниження потужності СФЕУ, що враховує втрати електроенергії без використання АБ ( відн . од.), як показано в таблиці (2.1);

$G_T$  - сонячна радіація, що надходить на фотоелектричні модулі, Вт/м<sup>2</sup> ;

$G_{\text{н.у}}$  - пікова сонячна радіація, що надходить на фотоелектричні модулі за нормальних умов ( 1000 Вт/м);

$a_p$  - температурний коефіцієнт потужності, ° С<sup>-1</sup> ;

$T_c$  - температура поверхні СФЕУ, ° С;

$T_{\text{н.у}}$  - температура за нормальних умов (25°С).

Сонячна радіація, що надходить на фотоелектричні модулі, визначається так:

$$G_T = (G_b + G_d * A_i) R_b + G_d (1 - A_i) \left[ \frac{1 + \cos \beta}{2} \right] \left[ 1 + f_0 \sin^3 \left( \frac{\beta}{2} \right) \right] + \bar{G} \rho \left[ \frac{1 - \cos \beta}{2} \right], \quad (2.2)$$

де

$G_b$  - пряма сонячна радіація, Вт/ м;

$G_d$  - дифузна сонячна радіація, Вт/м<sup>2</sup> ;

$R_b$  - відношення косинуса кута падіння променя на похилій поверхні косинусу кута падіння на горизонтальній поверхні;

$A_i$  - індекс анізотропії (  $A_i = G_b / G_0$  ) ;

$G_0$  - середня сонячна радіація, що надходить за повітря землі, Вт/ м ;

$\beta$  - Нахил поверхні;

$f_0$  - коефіцієнт, ( $f_0 = \sqrt{G_b / G}$  ) ;

$G$  - Сумарна сонячна, радіація, ( $G = G_b + G_d$ ), Вт/м

Таблиця 2.1. Розрахунок коефіцієнта зниження вироблення електроенергії СФЕУ під час виробництва електроенергії за нормальних умов [19]

| Параметри                          | Значення | Діапазон     |
|------------------------------------|----------|--------------|
| Фотоелектричний модуль             | 0.95     | 0.80-1.05    |
| ККД інвертора                      | 0.92     | 0.88 – 0.97  |
| Схемні втрати                      | 0.98     | 0.97 – 0.995 |
| Комутаційні коробки                | 0.995    | 0.99 – 0.997 |
| Втрати в кабелях постійного струму | 0.98     | 0.97 – 0.99  |
| Втрати в кабелях змінного струму   | 0.99     | 0.98 – 0.993 |
| Забруднення поверхні               | 0.95     | 0.30 – 0.995 |
| Придатність системи                | 0.98     | 0.00 – 0.995 |
| Затемнення                         | 1.00     | 0.00-1.00    |
| Стеження за сонцем                 | 1.00     | 0.95 – 1.00  |
| Термін старіння                    | 1.00     | 0.70-1.00    |
| Повний коефіцієнт втрат            | 0.77     |              |

Вироблення електроенергії від СФЕУ виражається так:

$$E_{\text{СФЕУ}} = P_{\text{СФЕУ}} * t_{\text{сол.}} \quad (2.3)$$

де

$t_{\text{сол.}}$  - середньодобовий сонячний годинник (год/доба), який визначається:

$$t_{\text{сол.}} = \frac{\text{число годин сонячного світла за рік}}{\text{кількість днів в рік} \left( 365 \frac{\text{днів}}{\text{рік}} \right)}$$

При використанні АБ у системі потрібно враховувати втрати в зарядному пристрої та АБ. Таким чином, номінальна потужність СФЕУ визначається виразом:

$$P_{\text{ном,СФЕУ}} = \frac{E_{\text{СФЕУ}}}{K_{\text{СФЕУ}} * t_{\text{пик,осв}} * [1 + a_p (T_c - T_{н.у})]} \quad (2.4)$$

де

$t_{\text{пик,осв}}$  - розрахункові середньодобові освітленості в піковому годиннику (год/добу) при стандартній сонячній радіації  $G_{н.у} = 1000 \text{ Вт/ м}^2$ , визначені

виразом:



$$t_{\text{пiк,осв}} = \left[ \frac{G_T}{G_{H,Y}} \right] \cdot t_{\text{сол.}}, \quad (2.5)$$

$K_{\text{СФЕУ}}$  - загальний коефіцієнт, що враховує всі втрати при передачі енергії від ФЕУ до споживача, який визначається за такою формулою:

$$K_{\text{СФЕУ}} = f_{\text{СФЕУ}} * \eta_{\text{ЗП}} * \eta_{\text{АБ}}, \quad (2.6)$$

$\eta_{\text{ЗП}}$  - ККД зарядного пристрою АБ (ота. од.), який визначається:

$$\eta_{\text{ЗП}} = \frac{\text{ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЯ НА ВИХОДІ ЗП}}{\text{ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЯ НА ВХОДІ ЗП}}$$

$\eta_{\text{АБ}}$  - ККД АБ (отн. од.), який визначається:

$$\eta_{\text{АБ}} = \frac{\text{ЕНЕРГІЯ, ОТРИМАНА ПІД ЧАС РОЗРЯДУ АБ}}{\text{ЕНЕРГІЯ, ОТРИМАНА ПІД ЧАС ЗАРЯДУ АБ}}$$

Споживання електроенергії повинне дорівнювати виробленню електроенергії від СФЕУ. Таким чином, номінальна потужність СФЕУ визначається наступним

чином:

$$P_{\text{ном,СФЕУ}} = \frac{H}{K_{\text{СФЕУ}} * t_{\text{пiк,осв}}}; \quad (2.7)$$

$$H = \sum_{i=1}^n P_i * t_i, \quad (2.7)$$

де

$P_{\text{ном,СФЕУ}}$  - номінальна потужність СФЕУ (паспортна потужність СФЕУ при стандартних умовах  $T = 25^\circ \text{C}$ ,  $CP = 1000 \text{ Вт / м}^2$ ), Вт;

$H$  - добове споживання електроенергії в будинку, Вт.ч /добу;

$P_i$  - номінальна потужність приладу, Вт;

$t_i$  - Добовий режим експлуатації побутового приладу, ч/добу;

Основним параметром, що характеризує систему на основі ВЕУ також як і у випадку зі СФЕУ, є необхідна для забезпечення потреб автономного споживача в електроенергії розрахункова потужність ВЕУ  $P_{\text{ВЕУ}}$ , Вт.

На практиці, щодо параметрів ВЕУ для електропостачання споживача виникає необхідність встановлення зв'язку між величиною добового споживання енергії і необхідною потужністю ВЕУ. У цьому випадку пропонується спочатку визначити необхідну площу ометаної поверхні ВЕУ, а потім відповідно до

отриманого значення встановити мінімальну середню (номінальну) потужність ВЕУ. З одного боку, середня потужність на валу ВЕУ може бути визначена з виразу:

$$P_{\text{ВЕУ}} = 0,5 \cdot \xi \cdot \rho_{\text{поз}} \cdot v_{\text{мін}}^3 \cdot p(v) \cdot A_{\text{ам}}, \quad (2.9)$$

де

$\xi$  - коефіцієнт корисної дії ВЕУ;

$\rho_{\text{поз}}$  - щільність повітря на рівні маточини вітроколеса (кг/ м<sup>3</sup>);

$V_{\text{мін}}$  - середньомісячна швидкість вітру на рівні маточини вітроколеса, м/с (мінімальна в межах обраного проміжку часу);

$p(v)$  - коефіцієнт розподілу швидкості вітру;

$A_{\text{ам}}$  - омітається площа вітроколеса, м<sup>2</sup>;

З іншого боку :

$$P_{\text{ВЕУ}} = \frac{H}{t_{\text{доб.екс}} \cdot K_{\text{ВЕУ}}} \quad (2.10)$$

де

$t_{\text{доб.екс}}$  - кількість годин на добу, протягом яких експлуатується ВЕУ, год/добу;  $K_{\text{веу}}$  - загальний коефіцієнт, що враховує всі втрати під час передачі енергії від ВЕУ до споживача, який визначається за такою формулою:

$$K_{\text{ВЕУ}} = \eta_{\text{УХ}} \cdot \eta_{\text{ЗУ}} \cdot \eta_{\text{АБ}} \cdot \eta_{\text{ИНВ}}, \quad (2.11)$$

$\eta_{\text{УХ}}$  - коефіцієнт, що враховує погіршення номінальних характеристик ВЕУ через вплив погодних умов;

$\eta_{\text{ИНВ}}$  - ККД інвертора.

Таким чином, отримаємо наступну формулу для визначення мінімальної необхідної площі вітроколеса :

$$A_{\text{ом}} = \frac{H}{Z_{\text{ВЕУ}} \cdot v_{\text{мін}}^3 \cdot K_{\text{ВЕУ}}}, \quad (2.12)$$

$Z_{\text{ВЕУ}}$  - коефіцієнт ( кг.ч /м<sup>3</sup>.добу), який визначається виразом:

$$Z_{\text{ВЕУ}} = 0,5 \cdot \xi \cdot p(v) \cdot T_{\text{добу}} \cdot \rho, \quad (2.13)$$

Якщо ККД ВЕУ становить близько 0,25; число годин на добу, протягом яких експлуатується ВЕУ 24 години, щільність повітря 1,225 кг/м<sup>3</sup> та розподіл швидкостей вітру протягом року має типовий характер тобто.  $p(v) = 6/\pi$ , то

величина  $Z_{\text{ВЕУ}}$  складе близько  $7 \text{ кг.ч / м}^3 \cdot \text{добу}$ .

З виразу (2.9) можна визначити потужність, яку повинна виробляти ВЕУ за мінімальної в межах розрахункового періоду року середньомісячної швидкості вітру. Потім відповідно до кривих потужностей різних моделей ВЕУ вибирається установка, здатна видавати необхідне значення потужності при характерній швидкості вітру [17].

Мінімальна необхідна потужність СФЕУ в комбінованій електростанції (Комб.ЕС) для автономного споживача визначається наступним чином:

$$P_{\text{СФЕУ}} = A_{\text{ОМ}} * K_{\text{КОМБ.ЕС}}, \quad (2.14)$$

$K_{\text{КОМБ.ЕС}}$  - відносний коефіцієнт комбінованої системи, Вт/м який виражається :

$$K_{\text{КОМБ.ЕС}} = Z_{\text{ВЕУ}} \cdot \frac{K_{\text{ВЕУ}}}{K_{\text{СФЕУ}}} \cdot \frac{(v_{\text{мін}}^3 - v_{\text{мак}}^3)}{(t_{\text{пik,осв 1}} - t_{\text{пik,осв 2}})}, \quad (2.15)$$

де

$t_{\text{пik,осв1}}$  - піковий годинник з мінімальною розрахунковою середньодобовою освітленістю;

$t_{\text{пik,осв2}}$  - піковий годинник з максимальною розрахунковою середньодобовою освітленістю.

Омета площа вітроколеса виражається так:

$$A_{\text{ОМ}} = \frac{H}{Z_{\text{ВЕУ}} * K_{\text{ВЕУ}} * v_{\text{мак}}^3 * K_{\text{КОМБ.ЕС}} * E_{\text{мін}} * K_{\text{СФЕУ}}} \quad (2.16)$$

$E_{\text{мін}}$  - Мінімальна середньомісячна денна енергетична освітленість в площині фотоелектричної панелі в межах розрахункового періоду року (1 сонце-година<sub>пik</sub>, =1квт, год / м. Добу)

Розрахункова ємність АБ ( $q_{\text{АБ}}$ ) для гарантованого електропостачання визначається за формулою:

$$q_{\text{АБ}} = \frac{H \cdot K_{\text{зЕ}} \cdot T_{\text{рез}}}{U_{\text{АБ}} \cdot D_{\text{ур}}} \quad (2.17)$$

де

$K_{\text{зЕ}}$  - коефіцієнт запасу енергії АБ  $K_{\text{зЕ}} > 1,0$ ;

$T_{\text{рез}}$  - час резервного електропостачання, доба;

$D_{ур}$  - Коефіцієнт рівня допустимого розряду АБ ( $0,5 < \mu < 1,0$ )

Передбачається, що час резервного електропостачання ( $T_p$ ) від АБ дорівнює 24 годин. Номінальна напруга постійного струму системи ( $U_{AB}$ ) – 48 В.

ВЕУ і СФЕУ є основними джерелами енергії, а РПЕ є резервним джерелом енергії, що підвищує надійність всієї автономної системи в умовах відсутності достатньої сонячної радіації або вітру, а також заряджає АБ. Таким чином, необхідна потужність РПЕ визначається за такою формулою:

$$E_{РПЕ} = 2N_p (E_{ВЕУ} + E_{СФЕУ}) \quad (2.18)$$

де

$E_{ВЕУ}$  - річне вироблення електроенергії ВЕУ, кВт.год /г;

$E_{СФЕУ}$  - річне вироблення електроенергії СФЕУ, кВт.год /г;

$E_{РПЕ}$  - необхідне вироблення електроенергії РПЕ, кВт.год /г;

$N_p$  - річне споживання електроенергії, кВт.год /р.

## **2.2. Моделювання комбінованої автономної електростанції на основі відновлюваних енергоджерел**

При моделюванні рідкопаливної електростанції (РПЕ) використовується лінійне співвідношення між навантаженням генератора та витратою палива (рис. 2.1), яке є справедливим для багатьох паливних установок. При моделюванні робота РПЕ описується лінійним рівнянням виду:

$$F = F_0 + F_1 P_{РПЕ}, \quad (2.19)$$

де

$F$  - Витрата палива, л/год;

$P_{РПЕ}$  – потужність РПЕ, кВт;

$F_0$  - витрата палива, в режимі холостого ходу, л/год;

$F_1$  - Питома витрата палива, л/ кВт.ч ;

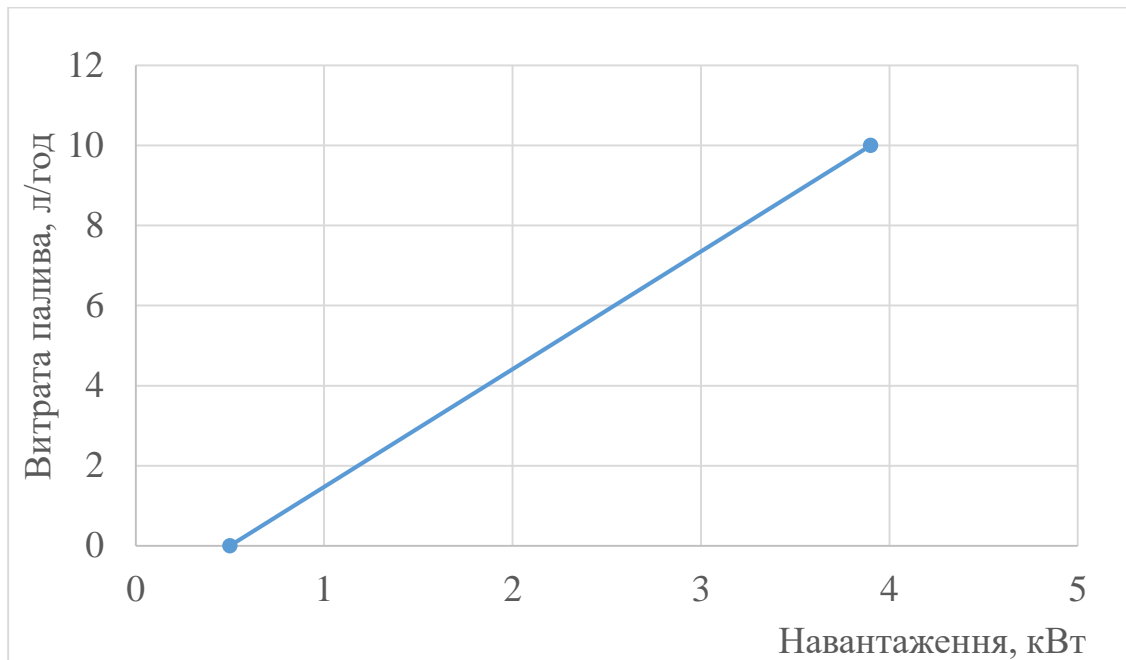


Рис. 2.1. Характеристика витрати палива РПЕ

Витрата палива РПЕ залежить від їх моделей, режиму роботи та навантаження. Ефективність споживання палива зазвичай коливається від 20 до 37%. Вона покращується у разі підвищення навантаження на РПЕ до 90%. Ефективність споживання палива в РПЕ виражається так:

$$\eta_{\text{РПЕ}} = \frac{3.6 \cdot P_{\text{РПЕ}}}{Q_0 \cdot m_{\text{ТОП}}} \quad (2.20)$$

Враховуючи вирази (2,16) та (2,17), ефективність РПЕ визначається формулою:

$$\eta_{\text{РПЕ}} = \frac{3600 \cdot P_{\text{РПЕ}}}{Q_0 \cdot (F_0 + F_1 P_{\text{РПЕ}}) \rho_{\text{ТОП}}} \quad (2.21)$$

де

$\eta_{\text{РПЕ}}$  - ефективність споживання палива в РПЕ;

$Q_0$  - теплотворна здатність палива, МДЖ/кг (1 кВт.год = 3,6 МДЖ);

$m_{\text{ТОП}}$  - витрата палива кг/год;

$\rho_{\text{ТОП}}$  - щільність палива, кг/м<sup>3</sup>.

Номинальна потужність РПЕ відповідає максимальній, робочій на вантажі на генератор.

Мінімальна потужність РПЕ відповідає мінімальному навантаженню, яке

підтримується тривалий час.

Витрата палива при повному навантаженні. Витрата палива при номінальній потужності використовується визначення співвідношення між споживанням палива і навантаженням генератора.

Витрати палива без навантаження. Витрата палива за мінімальної потужності.

Мінімальний час пуску РПЕ – це час, за який РПЕ вийде на номінальні обороти та буде готовий сприйняти навантаження.

Акумуляторна батарея АБ (рис. 2.2) сприймається як джерело напруги з послідовним опором. Внутрішнє опір, ( $R_0$ ), як припускають, є постійним, і внутрішня напруга ( $U_0$ ) змінюється при розряді батареї. Напруга АБ ( $U$ ) визначається рівнянням:

$$U = U_0 - IR_0 \quad (2.22)$$

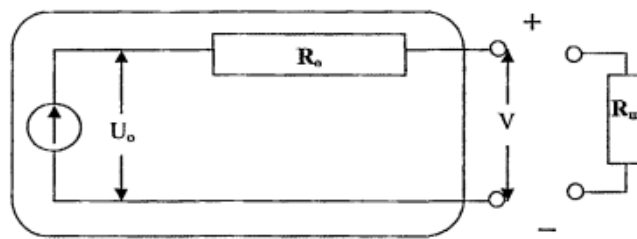


Рис.2. 2. Модель АБ

Визначення енергії, запасеної в АБ під час заряджання та розрядки:

1. Під час зарядки, коли вироблення електроенергії від СФЕУ та ВЕУ більше, ніж енергія, запасена в АБ:

$$E_{AB(t)} = E_{AB}(t - 1) \cdot (1 - \sigma) + \left[ E_{CFEU(t)} + E_{VEU(t)} - \frac{H(t)}{\eta_{ИВ}} \right] \cdot \eta_{AB,з} \quad (2.23)$$

2. Під час розрядки, коли загальне споживання перевищує виробництво

електроенергії СФЕУ та ВЕУ, енергія АБ визначається таким чином:

$$E_{AB(t)} = E_{AB}(t - 1) \cdot (1 - \sigma) - \left[ \frac{H(t)}{\eta_{ИВ}} - (E_{CFEU(t)} + E_{VEU(t)}) \right] \cdot \frac{1}{\eta_{AB,p}} \quad (2.24)$$

де

$E_{AB(t)}$  і  $E_{AB}(t - 1)$  електроенергія в АБ (Вт.ч) за часу  $t$  та  $(t-1)$ , год;

$\eta_{AB,3}$  - ККД АБ у час зарядки ( $\eta_{AB,3} = 0,65 - 0,85$  залежно від струму зарядки);

$\eta_{AB,p}$  - ККД АБ під час розрядки ( $\eta_{AB,p} = 1$ );

$\sigma$  – коефіцієнт саморозряду АБ ( $\sigma = 25\%$  за 6 місяців при температурі зберігання  $20^\circ \text{C}$ ,  $0,14\%$  за добу);

$E_{\text{СФЕУ}}(t)$  - вироблення електроенергії від СФЕУ в кінці періоду  $t$ , Вт.ч ;

$E_{\text{ВЕУ}}(t)$  - вироблення електроенергії від ВЕУ в кінці періоду  $t$ , Вт.ч ;

$H(t)$  - загальне споживання в період  $t$ , Вт .ч ;

$\eta_{\text{ІНВ}}$  - ККД інвертора (у даній роботі  $\eta_{\text{ІНВ}} = 92\%$ );

$\Delta t$  - крок часу, год;

Будь-якої миті електроенергія від АБ буде обмежена:

$$E_{AB\_1} \leq E_{AB(t)} \leq E_{AB\_2}$$

де

$E_{AB\_1}$  - максимальна енергія зарядженої АБ, Вт.ч ;

$E_{AB\_2}$  - максимальна енергія розрядженої АБ, Вт.ч ;

$$E_{AB\_1} = \frac{kE_{AB}e^{-k\Delta t} + k\overline{E_{AB}}C(1 - e^{-k\Delta t})}{1 - e^{-k\Delta t} + C(k\Delta t - 1 + e^{-k\Delta t})} * \frac{1}{\eta_{AB,3}} \quad (2.25)$$

$$E_{AB\_2} = \frac{kCE_{AB.\text{НОМ}} + kE_{AB}e^{-k\Delta t} + k\overline{E_{AB}}C(1 - e^{-k\Delta t})}{1 - e^{-k\Delta t} + C(k\Delta t - 1 + e^{-k\Delta t})} * \eta_{AB,p} \quad (2.26)$$

$E_{AB.\text{НОМ}}$  - номінальна ємність АБ, Вт.ч ;

$E_{AB}$  - Доступна енергія на АБ на початку кроку часу, Вт.ч ;

$\overline{E_{AB}}$  - загальна енергія АБ на початку кроку часу, Вт.ч ;

$C$  - коефіцієнт ємності АБ;

$k$  - констант реакції АБ,  $\text{ч}^{-1}$  ;

Моделювання вироблення енергії фотоелектричних модулів ґрунтується на вольтамперній характеристиці (ВАХ). Модель фотоелектричного модуля з діодом досить повно відображає специфіку фотоелектричних систем перетворення сонячної енергії, а також дозволяє враховувати вплив інтенсивності сонячної радіації та нагрівання сонячних елементів на вихідну потужність. Фотомодулі допускають як послідовне, і паралельне з'єднання, що

забезпечує отримання необхідних вихідних значень струму і напруги.

Еквівалентна схема фотоелектричного модуля має такі параметри (рис. 2.3):

$I_C$  - Струм навантаження фотоперетворювача, А ;

$I_0$  - Темновий струм насичення, А ;

$I_\Phi$  - фотострум, А ;

$I_{III}$  - Струм через шунтовий опір, А ;

$R_{ш}$  - шунтовий опір, Ом;

$R_n$  - Послідовний опір, Ом;

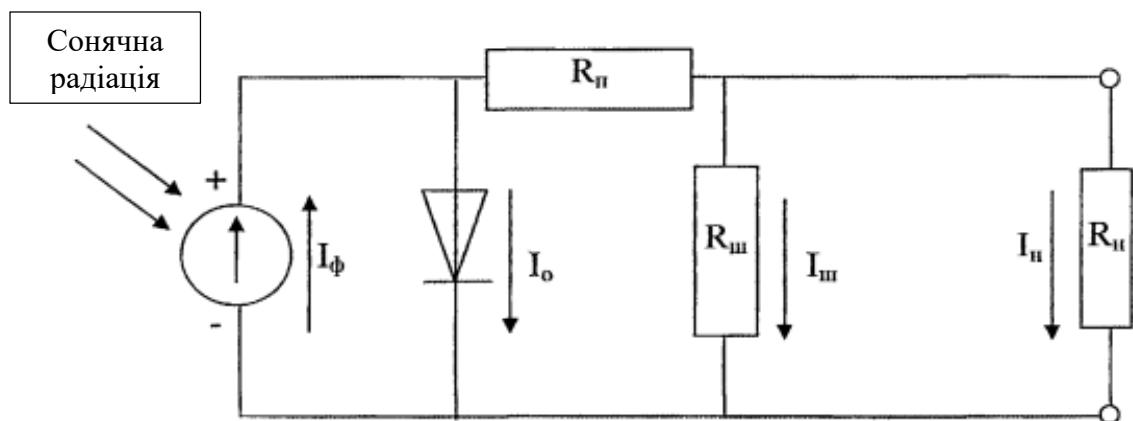


Рис. 2.3. Еквівалентна схема фотоелектричного модуля

Більш повне рівняння, що відповідає (рис. 2.4), включає послідовний і шунтовий опір і має вигляд:

$$I = I_\Phi - I_0 \left[ e^{\frac{q_0(U+IR_n)}{AKT}} - 1 \right] - \frac{U + IR_n}{R_{III}} \quad (2.27)$$

де

$K$ - постійна Больцмана ;

$T$ - температура, ° К;

$A$  - параметр кривизни характеристик (характеризує якість  $p$ - $n$  переходу);

$q_0$ – заряд електрона, Кл.

Потужність фотоелектричного модуля ( $P_{ФЕМ}$ ) визначається

твором струму та напруги:



$$P_{\text{ФЕМ}} = I_{\text{опт}} * U_{\text{опт}} \quad (2.28)$$

де

$P_{\text{ФЕМ}}$  - потужність фотоелектричного модуля, Вт;

$I_{\text{опт}}$  - робочий струм, А ;

$U_{\text{опт}}$  - робоча напруга, В.

При короткому замиканні ланцюга струм досягає максимальної величини, а напруга дорівнює нулю, тому потужність дорівнює нулю, потужність дорівнює нулю також при холостому ході, коли напруга максимально, а струм дорівнює нулю. Максимальна величина напруги ( $U_{\text{опт}}$ ) і струму ( $I_{\text{опт}}$ ) фотоелектричного модуля, при яких потужність досягає максимального значення (рис. 2.4), визначаються:

$$U_{\text{опт}} = (0,75 - 0,90) U_{\text{ос}} \quad (2.29)$$

$$I_{\text{опт}} = (0,85 - 0,95) I_{\text{кз}} \quad (2.30)$$

де

$U_{\text{ос}}$  - напруга холостого ходу ланцюга,;

$I_{\text{кз}}$  - ток при короткому замиканні ланцюга, А.

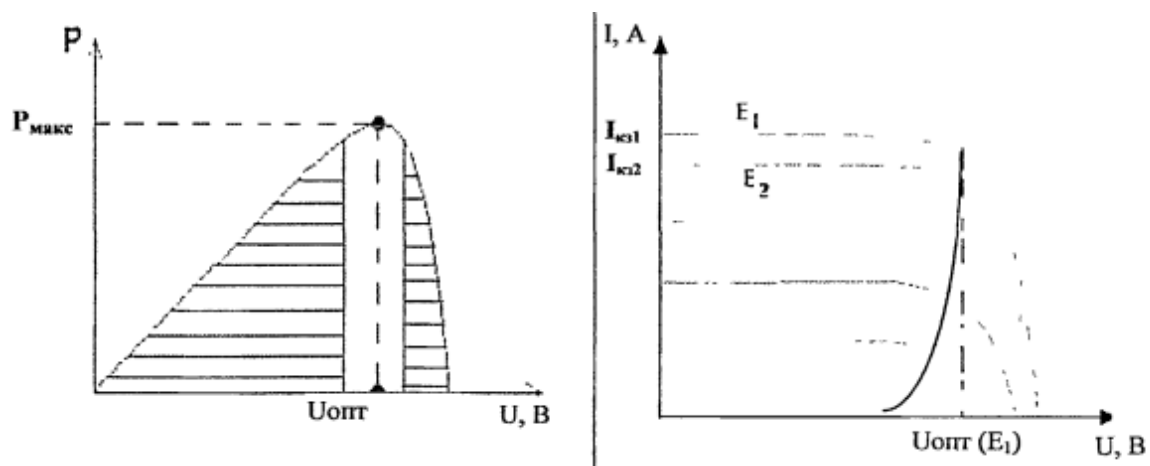


Рис. 2.4. Потужні та вольтамперні характеристики фотоелектричного модуля

Для розрахунку річного вироблення електроенергії ВЕУ необхідно розрахувати середню енергію вітру. Коефіцієнт варіації енергії вітру визначається виразом:

$$\sigma_p = \bar{P} \cdot F_{WPT} \cdot \frac{\sigma_v}{\bar{v}} \quad (2.31)$$

де

$\sigma_p$  - Коефіцієнт варіації енергії вітру, Вт;

$\bar{P}$  – середня енергія вітру в інтервалі, Вт;

$F_{WPT}$  - фактор турбулентності енергії вітру;

$\sigma_v$  - коефіцієнт варіації швидкості вітру, м/с;

$\bar{v}$  – Середня швидкість вітру в інтервалі, м/с.

Приймаючи, що середній інтервал, який використовується для отримання енергетичної характеристики  $= \Delta t_1$  середня потужність  $P_{\Delta t_1}(\bar{v}_1)$ , Для будь-якої заданої середньої швидкості вітру  $\bar{v}_1$  дорівнюватиме:

$$P_{\Delta t_1}(\bar{v}_1) = \int_{v_{\min}}^{v_{\max}} P(v) p_1(\bar{v}_1) dv_1 \quad (2.32)$$

де

$v_{\min}$  - мінімальна робоча швидкість вітру, м / с;  $v_{\max}$  - максимальна робоча швидкість вітру, м/с;

$p_1(\bar{v}_1)$  - коефіцієнт розподілу швидкості вітру, який обчислюється за формулою:

$$p_1(\bar{v}_1) = \frac{1}{\sigma_{v_1} \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left[ \frac{v - \bar{v}_1}{\sigma_{v_1}} \right]^2} \quad (2.33)$$

$\sigma_{v_1}$  - Коефіцієнт варіації швидкості вітру  $v_1$ , що визначається;

$$\sigma_{v_1}^2 = \int_{f_{l0,1}}^{\infty} S(f) df$$

$f_{l0,1}$  - частота, Гц.

$$f_{l0,1} = 1/\Delta t_1, c^{-1}$$

$\bar{v}_1$  - швидкість вітру, середня в інтервалі часу  $\Delta t_1$ , м/с.

Коли крок інтервалу часу моделі такий самий, як середній час, середня потужність ВЕУ за будь-якої швидкості дається як лінійна інтерполяція між точками на характеристиці. В інтерполяції використовуються найближчі пари з будь-якої сторони заданої швидкості вітру. Припускаємо, що задана швидкість

вітру дорівнює  $v$  і лежить в інтервалі  $v_i < v < v_{i+1}$  де індекс  $i$  показує, яка пара точок із серії точок на потужності характеристики є граничною. Тоді потужність ВА на розрахунковому інтервалі дорівнює:

$$P = (P_{i+1} - P_i) \left[ \frac{v - v_i}{v_{i+1} - v_i} \right] + P_i \quad (2.34)$$

Потужність ВЕУ  $P_{\text{ВЕУ}}$  має бути моделюватися залежно від її потужних характеристик як таке:

$$P_{\text{ВЕУ}} = P(v) = \begin{cases} 0, v < v_3 \\ a_1 v^3 + a_2 v^2 + a_3 v + a_4, v_3 \leq v < v_1 \\ b_1 v^3 + b_2 v^2 + b_3 v + b_4, v_1 \leq v \leq v_{\text{ВЕУ}} \\ 0, v_2 > v_{\text{ВЕУ}} \end{cases} \quad (2.35)$$

де

$v$ - швидкість вітру на висоті флюгера, м/с;

$v_1$ - розрахункова швидкість вітру, м/с;

$a_1, a_2, a_3, a_4, b_1, b_2, b_3, b_4$ — константи.

Швидкість вітру  $v_1$  на висоті  $h_1$  (висота ВЕУ на місці випробування) відрізняється від швидкості вітру на висоті  $h_0$ , на якій проводилися вимірювання:

$$v_1 = v_0 \left[ \frac{h_1}{h_0} \right]^m \quad (2.36)$$

де

$v_1$  - швидкість вітру на висоті вітроагрегату  $h_1$ ;

$v_0$  - Вимірювана швидкість вітру на висоті анемометра  $h_0$ .

$m = 0,14$  - статичний коефіцієнт. Головна Геофізична Обсерваторія ім.Воейкова рекомендує використовувати статичний коефіцієнт  $m = 0,20$ .

### 2.3. Оптимізація структури енергетичного обладнання

Існує кілька підходів, які використовуються для досягнення оптимальної конфігурації комбінованих електростанцій. Серед них відомий науково-технічний підхід, що визначається ймовірність дефіциту електропостачання. Метод складається з наступних процедур розрахунку (рис. 2.5):

Загальне виробництво електроенергії Комб.ЕС визначається наступним

виразом:

$$E_{\text{Комб.ЕС}}(t) = E_{\text{СФЕУ}}(t) + E_{\text{ВЕУ}}(t), \quad (2.37)$$

Річний виробіток електроенергії СФЕУ визначається виразом:

$$E_{\text{Р,СФЕУ}} = \sum_{n=1}^{8760} E_{\text{СФЕУ}}(t), \quad (2.38)$$

Річний виробіток електроенергії ВЕУ визначається наступним виразом:

$$E_{\text{ВЕУ,Р}} = 8760 \cdot \int_{v_{\text{мін}}}^{v_{\text{макс}}} P(v) p_1(\overline{v_1}) dv_1 \quad (2.39)$$

При роботі Комб.ЕС виходить 3 випадки:

1. якщо загальне виробництво електроенергії  $P_{\text{Комб.ес}}$  більше, ніж загальне споживання  $P_{\text{інв}}$ , то надлишок електроенергії зберігається в АБ, а нова ємність АБ розраховується виразом (2.23).

2. якщо загальне виробництво електроенергії  $P_{\text{Комб.ес}}$  менше, ніж загальне споживання, то дефіцит покривається АБ, а нова ємність АБ розраховується виразом (2.24).

3. якщо загальне виробництво електроенергії  $P_{\text{Комб.ес}}$  дорівнює загальному споживанню, то ємність АБ не зміниться.

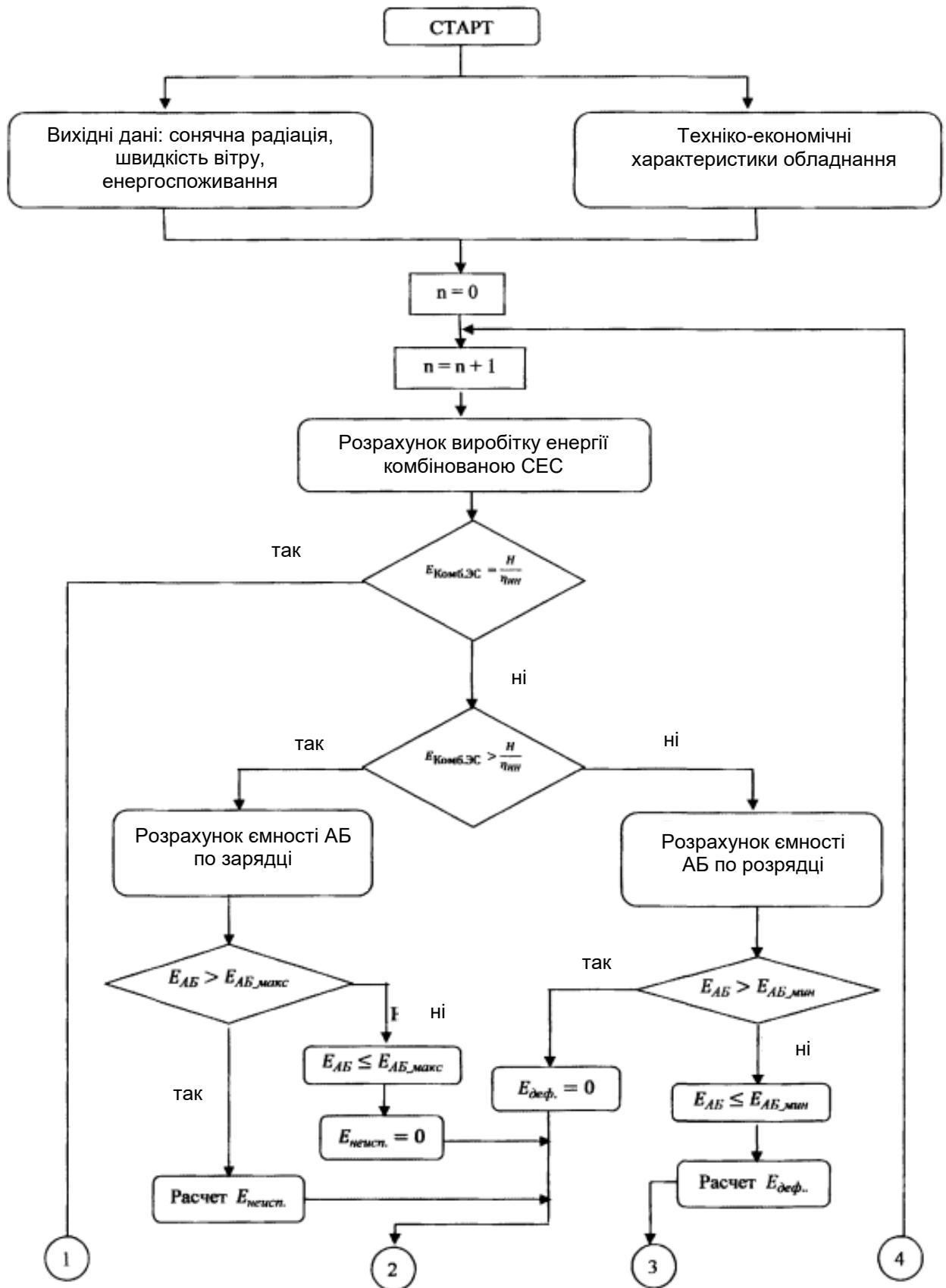
У першому випадку буде досягнуто максимальної ємності АБ, а контролер заряду відключить АБ від Комб.ЕС. Невикористовувана електроенергія ( $E_{\text{невик.}}$ ) визначається електроенергією, яка виробляється, а не використовується в системі за крок часу. Це розраховується так:

$$E_{\text{невик.}}(t) = E_{\text{Комб.ЕС}}(t) - \left\{ E_{\text{інв}}(t) + \left[ \frac{E_{\text{АБмакс}}(t) - E_{\text{АБ}}(t-1)}{\eta_{\text{АБ,з}}} \right] \right\} \quad (2.40)$$

де

$E_{\text{інв}}$  - вихідна електроенергія інвертора, що визначається:

$$E_{\text{інв}} = \frac{H}{\eta_{\text{інв}}} \quad (2.41)$$



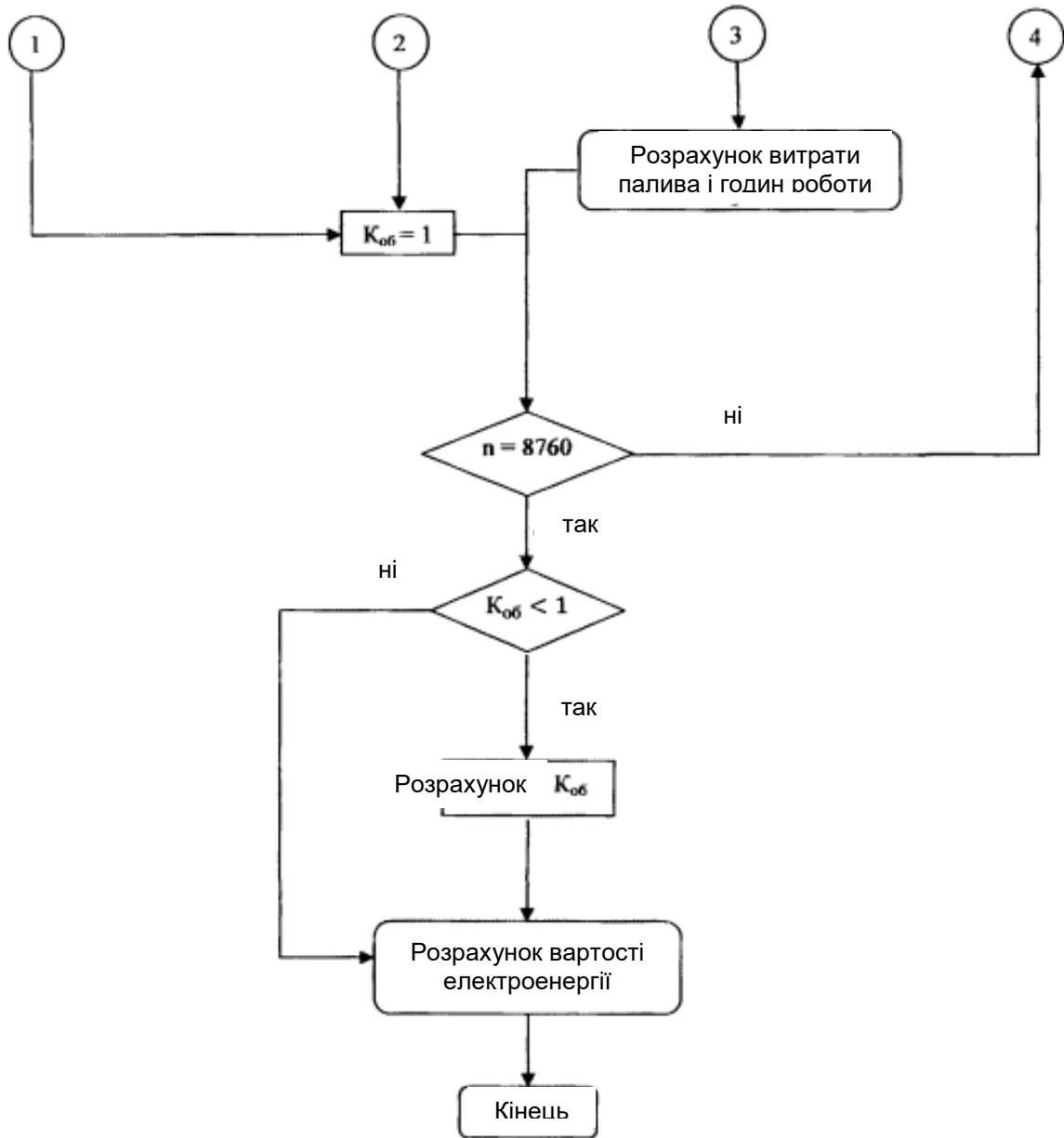


Рис. 2.5. Математичний алгоритм оптимізація підбору обладнання Комб.ЕС

У другому випадку АБ досягне максимального рівня розрядки, при цьому контролер системи відключить навантаження та зупинить процес розрядки.

Дефіцит електропостачання за крок часу можна розрахувати:

$$E_{\text{деф}}(t) = H(t) - [(E_{\text{СФЕУ}}(t) + E_{\text{ВЕУ}}(t)) + E_{\text{АБ}}(t - 1) - E_{\text{АБ}_{\text{мін}}}(t)] * \eta_{\text{ИНВ}}, \quad (2.42)$$

Імовірність дефіциту електропостачання ( $L_{\text{деф}}$ ) за крок часу може бути

визначена ставленням:

$$L_{\text{деф}} = \sum_{n=1}^{8760} E_{\text{деф}}(t) / \sum_{n=1}^{8760} E_{\text{інв}} \quad (2.43)$$

Для аналізів Комб.ЕС можна використовувати дві концепції. Перша - коефіцієнт забезпеченості електропостачання споживачів ( $K_{\text{об}}$ ) рахунок використання ВДЕ визначається залежно від коефіцієнта забезпечення:

$$K_{\text{об}} = 1 - L_{\text{деф}}, \quad (2.44)$$

А друга - коефіцієнт невикористовуваної електроенергії ( $K_{\text{невик.}}$ ), визначається ставленням електроенергії, що не використовується, до загального вироблення електроенергії за крок часу:

$$K_{\text{невик.}} = \sum_{n=1}^{8760} E_{\text{невик.}}(t) / \sum_{n=1}^{8760} E_{\text{Комб.ЕС}}(t), \quad (2.45)$$

Для цієї величини  $K_{\text{об}}$ . протягом певного періоду можна задовольняти необхідні вимоги до надійності енергопостачання та оптимальна конфігурація буде отримана шляхом досягнення низької вартості 1кВт.год . Це може бути виконано з використанням економічної моделі, яка розробляється в наступному розділі.

Економічний підхід може бути найкращим орієнтиром аналізу вартості. Для оптимізації підбору обладнання, яке входить до складу комбінованої електричної системи, рекомендуємо використовувати наступну модель для розрахунку річних витрат енергії. Розрахунок вартості електроенергії визначається наступним способом:

$$C_{\text{ОЕ}} = \frac{C_{\text{ЗАГ.Р}}}{H_{\text{Р}}} \quad (2.46)$$

де

$C_{\text{ОЕ}}$  - вартість електроенергії, грошових одиниць/ кВт.ч ;

$C_{\text{ЗАГ.Р}}$  - загальні річні капіталовкладення, грошових одиниць/рік;

Загальні річні капіталовкладення визначаються у такий спосіб:

$$C_{\text{ЗАГ.Р}} = C_{\text{NPC}} \cdot CRF \quad (2.47)$$

де

$C_{\text{NPC}}$  – загальна вартість системи;

$CRF$ - коефіцієнт амортизації, що визначається наступною формулою:

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}, \quad (2.48)$$

де

$i$ - річна відсоткова ставка;

$n$ -термін служби устаткування.

У загальному вигляді структура витрат на виробництво енергії може бути виражена такою залежністю:

$$C_{NPS} = C_{КАП} + C_{ЕКС} + C_{ПАЛ} + C_{ЗАМ} + C_{ЗАЛ} \quad (2.49)$$

де

$C_{КАП}$  - загальні капіталовкладення (з урахуванням усіх виплат за кредитом), грошових одиниць;

$C_{ЕКС}$  - загальні витрати на експлуатацію та технічне обслуговування, грош. один.;

$C_{ПАЛ}$  загальні паливні витрати, грошових одиниць;

$C_{ЗАМ}$  - повні витрати на капітальний ремонт або заміну великих компонентів системи електропостачання, грошових одиниць;

$C_{ЗАЛ}$  - залишкова вартість обладнання наприкінці економічного періоду дії проектів, грошових одиниць, що визначається наступною формулою:

$$C_{ЗАЛ} = C_{ЗАМ} \cdot \frac{R_{ЗАЛ}}{R_{ПРОЕКТ}} \quad (2.50)$$

$R_{ЗАЛ}$  - залишковий термін служби обладнання наприкінці економічного періоду, років;

$R_{ПРОЕКТ}$  - термін дії проекту, років.

## Висновки до розділу 2

Комбінована електростанція на основі СФВЕУ з метою отримання оптимального співвідношення енергетичних компонентів у складі загальної системи, згідно з розробленим методом, розраховується таким чином:

1. Визначається величина добового споживання електроенергії автономним об'єктом, необхідна подальшого розрахунку основних характеристик компонентів комбінованої системи;



2. Вибирається модель ВЕУ за максимальною середньомісячною швидкістю вітру в межах розрахункового періоду року, виходячи з необхідності задоволення необхідного рівня забезпеченості енергопостачання споживача;
3. Визначається середньодобове вироблення ВЕУ на місяць з мінімальною в межах розрахункового періоду року середньомісячною швидкістю вітру;
4. Встановлюється різниця у величинах добового споживання енергії навантаженням автономного споживача для періоду року з найменшою середньомісячною швидкістю вітру та виробленої енергією ВЕС у цей час. За одержаним значенням розраховується необхідна потужність СФЕУ;
5. Виробляються коригувальні розрахунки необхідної потужності ВЕУ з урахуванням можливого вироблення енергії СФЕУ на місяць з максимальною середньомісячною швидкістю вітру;
6. Оптимізація структури обладнання, необхідного для забезпечення гарантованого електропостачання споживачеві, залежить від потужності Комб.ЕС та існуючих комплексів обладнання та їх вартості.

## Висновки

1. Аналіз показав, що в Україні існує можливість використання енергії сонця та вітру у сільськогосподарських регіонах для забезпечення електропостачання автономного сільського споживача.

2. Розроблено схему комбінованої електростанції, яка складається з ВЕУ, СФЕУ, АБ та резервного дизельного генератора.

3. Результати вивчення теми показали, що використання одиночних автономних систем на базі ВЕУ або СФЕУ неефективне у районах з великими перепадами швидкостей вітру та приходу СР, т.к. їх доводиться розраховувати на найгірші умови щодо енергетичного джерела, що призводить у свою чергу до значного подорожчання системи енергопостачання в цілому.

4. Комбінована електростанція на основі СФВЕУ з метою отримання оптимального співвідношення енергетичних компонентів у складі загальної системи, згідно з розробленим методом, розраховується таким чином:

5. Визначається величина добового споживання електроенергії автономним об'єктом, необхідна подальшого розрахунку основних характеристик компонентів комбінованої системи;

6. Вибирається модель ВЕУ за максимальною середньомісячною швидкістю вітру в межах розрахункового періоду року, виходячи з необхідності задоволення необхідного рівня забезпеченості електропостачання споживача;

7. Визначається середньодобове вироблення ВЕУ на місяць з мінімальною в межах розрахункового періоду року середньомісячною швидкістю вітру;

8. Оптимізація структури обладнання, необхідного для забезпечення гарантованого електропостачання споживачеві, залежить від потужності комбінованої енергосистеми та існуючих комплексів обладнання та їх вартості.

### Список використаних джерел

1. Joachim Berner . Малий інтерес в CSP Technology. Sun та Wind Energy. 2009 № 5, ppt 58-60.
2. Sun та Wind Energy. 2009 № 2, ppt. 93.
3. Sun та Wind Energy. 2009, № 6, ppt. 79.
4. Manwell , JF, et al., "Development of Quasi-Steady Analytical Models for Wind/Diesel Systems," Proc. Ninth ASME Wind Energy Symposium, ASME Publication SED-Vol. 9, ppt. 223-230,1990.
5. Ibrahim M.: Decentralized Hybrid Renewable Energy Systems, Dissertation, 2002, Kassel, Germany.
6. Manwell JF, McGowan JG (1993) Обладнання гідравлічного battery storage model for hybrid energy systems, Solar Energy, 50,399-405.
7. Bin, A., Hongxing , Y, Shen, H., Xianbo , L.2003. Комп'ютер видобутий дизайн для PV/Wind hybrid system. Renewable Energy 28,1491-1512.
8. Bogdan, S. B. i Salameh , ZM 1996. Методологія для оптимальне з'єднання комбінації battery bank i PV array в wind/PV hybrid system. ШИЕ Transactions on Energy Conv. 11 (2), 367-375.
9. Diaf S., Diaf D., Belhamel M., Haddadi M., A. Louchel . Методологія для optimal sizing autonomous hybrid PV/wind system. Energy Policy, issue , 2007, vol. 35, ppt 5708-5718.
10. Markvart , T., Castaner ., L. 2003. Практична Hand Book of Photovoltaic Fundamentals and applications.
11. Арбозов Ю. Д. та Євдокимов В. М. Основи фотоелектрики. М: ВІЕСХ, 2007.
12. Saiju R., Heier S. " Performance Analysis of Lead Acid Battery Model for Hybrid Power System", 21-24 April, 2008, 2008 IEEE PES Transmission and Distributio Conference and Exposion , Chicago, USA.
13. Brett AC, Tuller SE (1991) Autocorrelation of hourly wind speed observations, Journal of Applied Meteorology, 30, ppt. 823-833.
14. Manwell JF i McGowan JG, як комбінований probabilistic / time series

model for wind diesel systems simulation, Solar Energy, Vol. 53, ppt. 481-490,1994.

15. Manwell J. R, McGowan JG, Rogers AL (2002) Wind Energy Explained, Wiley, New York, NY.
16. Green, HJ i Manwell , JR, "Hybrid2- A Versatile Model of Performance of Hybrid Power Systems," Proc. AWEA 1995.
17. Маленькі Wind Electric Systems. A US Consumer's Guide. National Renewable Energy Laboratory, DOE національної laboratory, DOE/GO- 102005-2095, March 2005,ppt. 11-12.
18. Stevens MJM, Smulders PT (1979) Прихильність параметрів Weibull wind speed distribution for wind energy utilization purposes, Wind Engineering, 3, ppt. 132-145.
19. Akai TJ. 1994. Застосовані numerical methods for engineers, second ed , John Wiley and Sons, New York.
20. Abouzahr , I., Ramakumar . R. 1990. Втрата потужності можлива напруга однієї електричної конвертації систем: closed form solution approach. ШИЕ Transaction on Energy Conv. 5(3), pp.445-452.
21. Abouzahr , L, Ramakumar . R. 1991. Loss of power supply probability of stand alone photovoltaic systems: a closed form solution approach. IEEE Transaction on Energy Conv. 6(1), pp.1-11.
22. Hongxing , Y ; Lu, L., Burnett. LJ 2002. Probability and reliability analysis of hybrid PV/wind power conversion system in Hong Kong. WREC. cologne Німеччина.
23. Graham VA, Hollands KGT (1990) А метод до generate synthetic hourly solar radiation Global, Solar Energy, 44 (6), ppt.333-341.
24. PV\*SOL, <http://www.valentiri.de> , accessed February 2,2005. ppt.79.
25. RETScreen International <http://www.etscreen.net> , accessed February 2,2005.