

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

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису Нечипорук Андрій Вікторович

УДК 621.359.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Обґрунтування критеріїв оцінки локального потенціалу застосування
комбінованих систем електропостачання для фермерських
господарств

(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

Нечипорук А.В.

(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

Нечипорук А.В. Обґрунтування критеріїв оцінки локального потенціалу застосування комбінованих систем електропостачання для фермерських господарств. 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 постачання фермерських господарств.

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

ABSTRACT

Nechiporuk A.V. Justification of the criteria for assessing the local potential for the use of combined power supply systems for farms. 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 paper are related to the possibility of application and ways of increasing the efficiency of combined power supply systems based on renewable energy sources for supplying farms.

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

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1.	6
СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ТА НАПРЯМКИ ЙОГО РОЗВИТКУ	6
1.1. Аналіз проблем створення локальних систем електропостачання на базі нетрадиційних поновлюваних джерел енергії	6
1.2. Вибір розрахункових умов для ВЕУ	8
1.3. Оцінка продуктивності ВЕУ	10
Висновки до розділу 1.	12
РОЗДІЛ 2. ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ ВЕУ В РІЗНИХ УМОВАХ.....	13
2.1. Особливості роботи ВЕУ з регульованим вітроколесом	13
2.2. Особливості роботи ВЕУ з нерегульованим вітроколесом	17
Висновки до 2 розділу	24
РОЗДІЛ 3.....	25
ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК	25
3.1. Характеристика наземного сонячного випромінювання як джерела енергії	25
3.2. Визначення щільності потоку сумарною та дифузною сонячної радіації ...	26
3.3. Розробка моделі функціонування комбінованої системи електропостачання	28
Висновки по 3 розділу	35
ВИСНОВКИ.....	36
Список використаних джерел	38
ДОДАТКИ.....	Ошибка! Закладка не определена.

ВСТУП

Ускладнення екологічної ситуації та безперервне зростання цін на традиційні види палива стимулюють інтерес до відновлюваних джерел енергії. Особлива увага приділяється при цьому використуванню з давніх часів енергії вітру та сонячній енергії. Однак суттєвим стримуючим фактором у розвитку вітро- та геліоенергетичних систем є низька щільність енергії ($\approx 0,2$ кВт/м²) у безпосередній близькості від поверхні землі. З іншого боку, очевидно, що вітер і сонячне випромінювання є джерелами нестабільного надходження енергії. Це не дає гарантії бездефіцитного електропостачання за відсутності резервних джерел енергії. Тому використання нетрадиційних відновлюваних джерел енергії у промислових масштабах передбачає значні капіталовкладення на розробку, спорудження та експлуатацію відповідних установок [1].

Однак накопичений досвід використання малопотужних вітроелектричних установок і фотоелектричних систем показує, що застосування їх у комплексі з іншими джерелами енергії може виявитися ефективним і з економічної точки зору цілком виправданим.

Враховуючи сучасний стан економіки та енергосистеми України, а також його клімато-географічні особливості, у кваліфікаційній роботі зроблено спробу оцінити технічну та економічну сторони проблеми використання нетрадиційних відновлюваних джерел енергії.

Значна кількість ясних днів у році, а також відносна контрастність вітрових зон дозволили розглянути різні за складом системи електропостачання та обґрунтувати співвідношення встановлених потужностей між різнорідними джерелами електроенергії.

Виходячи з рівня енергозабезпеченості розглядається питання забезпечення електричною енергією окремих ізольованих господарств з різним рівнем енергоспоживання.

Як система енергозабезпечення розглядається система, що включає вітроелектричну, фотоелектричну, акумуляуючу та дизель-генераторну (резервне

джерело) установки.

Виходячи з актуальності проблеми забезпечення населення електроенергією **метою** кваліфікаційної роботи є формування структури системи енергозабезпечення на основі використання поновлюваних джерел енергії є актуальним.

Об'єктом дослідження являється комбінована система енергопостачання на базі ВЕУ.

Згідно поставленої мети слід вирішити ряд задач: підібрати методику визначення вироблення ВЕУ з урахуванням особливостей вітрового потоку, компонування конструкції та розмірів вітроенергетичної установки; вибрано оптимальну методику структурно-параметричної оптимізації енергокомплексу, що дозволяє визначати значення встановлених потужностей компонентів, що забезпечує мінімальні витрати в заданих умовах застосування.

Практичне значення одержаних результатів полягає в обґрунтування режимів експлуатації комбінованої системи електропостачання в різних регіонах України.

Перелік публікацій автора за темою дослідження:

Голубенко А. А., Калінчук В. С., Пешко С., Нечипорук А. В. ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІТРОЕЛЕКТРОУСТАНОВКИ. // Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ – 2023», 01.05.2023, Житомир, Україна. Т.2., С. 45-47.

Голубенко А. А., Нечипорук А. В. СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ РИНКУ ВІТРОВОЇ ТА СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ. // Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ – 2023», 01.05.2023, Житомир, Україна. Т.2., С. 48-49.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ТА НАПРЯМКИ ЙОГО РОЗВИТКУ

1.1. Аналіз проблем створення локальних систем електропостачання на базі нетрадиційних поновлюваних джерел енергії

Однією з головних проблем для розвитку світової спільноти є забезпечення населення енергією в достатніх кількостях. Відомо, що енергетична ситуація в кожній країні не істотно впливає на життєвий рівень населення і на рівень цивілізованості суспільно-політичних відносин.

Основними відновлюваними джерелами енергії є: енергія повітряних мас, що рухаються, і енергія сонячного випромінювання [2]. Однак, незважаючи на багаторічний досвід використання вітро- і геліоенергетичних установок у різних варіантах, широкого застосування вони не знайшли з таких основних причин:

- щільність енергії відновлюваних джерел безпосередньо біля поверхні землі в середньому не перевищує величини $0,2 \text{ кВт/м}^2$;
- елементи нетрадиційної енерготехніки використовувалися без комплексування з іншими типами енергоустановок;
- відсутність цільових дотацій держави для розвитку промислового - виробництва нетрадиційних енергетичних установок.

З огляду на низьку щільність енергії відновлюваних джерел біля поверхні землі можна з достатньою впевненістю припустити, що найбільше застосування матимуть енергосистеми малої потужності (до 40 кВт) з елементами нетрадиційної енергетики, призначені для енергозабезпечення невеликих ізольованих господарств, відрізаних від великих населених пунктів.

Основними факторами, що стримують широке застосування нетрадиційної енергетики є:

- експериментальний і дослідно-промисловий характер більшості діючих та об'єктів, що будуються, відновлюваних джерел енергії (ВІЗ), що обумовлює їх високу капіталомісткість;

- низькі технічні показники та недостатня надійність пристроїв та систем ВІЕ;
- несприятливі умови впровадження ВДЕ, відсутність державного - стимулювання підприємств-виробників та користувачів ВДЕ.

Вирішення проблеми енергозабезпечення ізольованих малих господарств має ґрунтуватися на реалізації принципу автономності та незалежності від державних енергосистем. Це дає можливість забезпечувати гнучке використання наявних запасів енергії у локальній системі енергопостачання для ефективного вирішення різних виробничих та побутових завдань. Однак, досвід використання ВДЕ показує, що системи енергопостачання, що орієнтуються на один вид нетрадиційної енергоустановки, зазвичай не вирішують проблеми бездефіцитного постачання господарства енергією. Спроба зменшити дефіцит енергії шляхом збільшення потужності енергоустановки призводить до перерозподілу елементів енергосистеми та значного погіршення питомих показників. Виходом з цього положення може бути комплексування в єдиній локальній системі енергопостачання енергоустановок, що використовують різні відновлювані джерела енергії. Наприклад:

- у районах з високим енергопотенціалом сонячного випромінювання - доцільно віддавати перевагу фотоелектричним установкам та тепловим сонячним колекторам. При високих значеннях вітропотенціалу є сенс доповнити енергосистему вітроелектричною установкою;

- у прибережних районах, а також у місцях стійкого потоку перевагу необхідно віддавати вітроенергетичним установкам, ефективність яких може бути, за деяких умов, досить високою.

Аналіз кліматичних та погодних умов показує, що навіть за високих значень середньомісячних, середньоденних показників вітрової та сонячної енергії цілком ймовірна ситуація, коли миттєві значення швидкості вітру та сонячного потоку дорівнюватимуть нулю або сумарна потужність енергоустановок значно перевищить потужність споживачів. Отже, обов'язковим елементом енергосистеми має бути акумулююча та резервна

системи.

Таким чином, локальна система енергопостачання, що використовує ВЕ, є складною технічною системою, в якій для зниження вартісних показників ефективності параметри окремих елементів повинні бути узгоджені між собою з урахуванням погодно-кліматичних характеристик місцевості та режиму роботи споживачів.

Структура та показники ефективності (розрахункова потужність, час безперервної роботи, призначення елементів тощо) комбінованої системи енергопостачання цілком і повністю визначаються структурою системи енергоспоживання, режимом роботи та кліматичними особливостями місцевості. Стосовно даної кваліфікаційної роботи доцільно розглянути комбіновану систему електропостачання, що є поєднанням вітроенергетичної (ВЕУ) і фотоелектричної установок (ФОУ) з використанням акумулюючої системи (акумуляторні батареї *АБ*) і дизель-генераторною установкою в якості резервного джерела електроенергії.

Завданням комбінованої системи електропостачання є безперебійне забезпечення електроенергією окремого ізольованого господарства.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка методики вибору кількох - варіантів комбінованої системи електропостачання з урахуванням клімато-географічних особливостей регіонів України за умови забезпечення необхідного рівня ефективності енергосистеми.

1.2. Вибір розрахункових умов для ВЕУ

Ефективність ВЕУ значною мірою залежить від вибору розрахункових умов. Відомо що щодо ВЕУ, вітровий струм являє собою сукупність випадкових поривів, що характеризуються середньою швидкістю, поривчастістю і співвідношенням між тривалостями пориву і затишся (штилю).

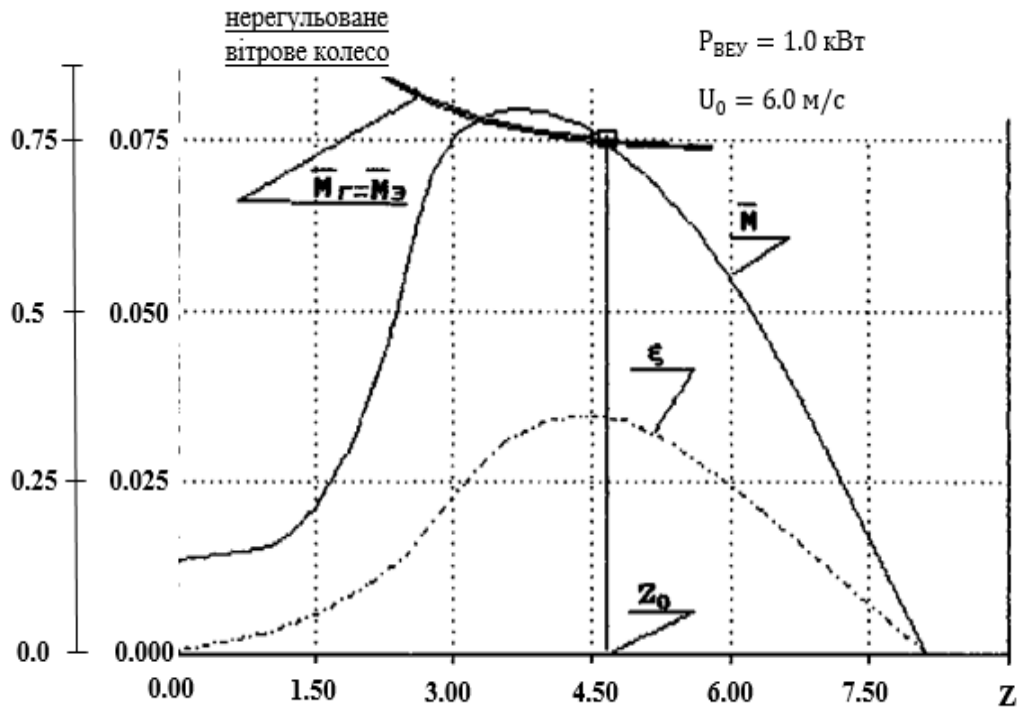


Рис. 1.1. Зміна аеродинамічного моменту вітроколеса [2]

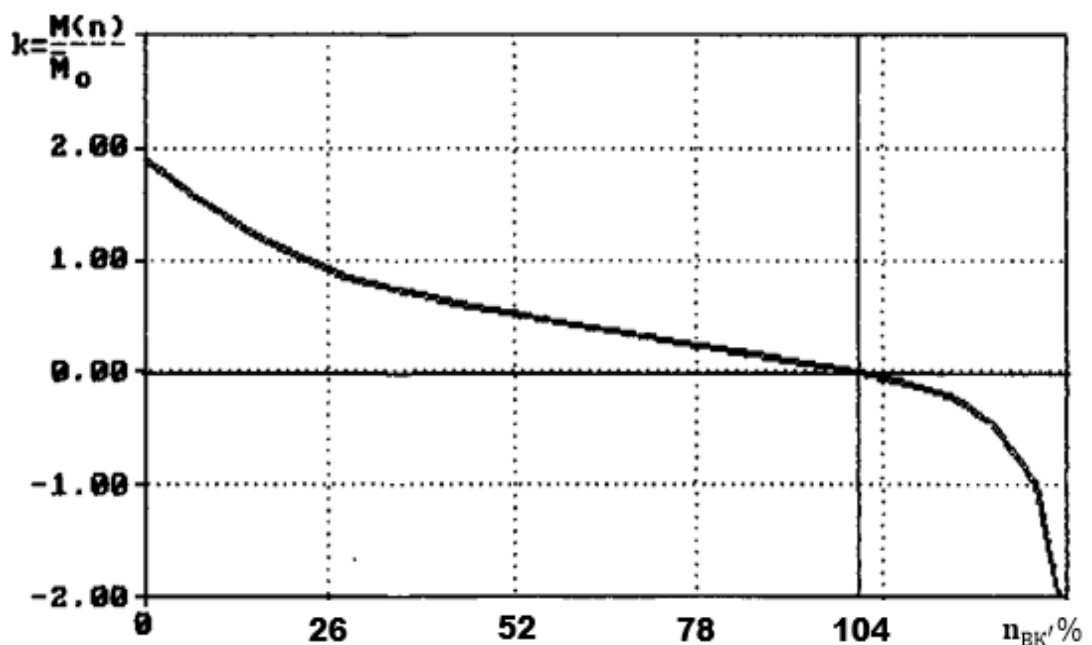


Рис.1.2. Залежність відношення аеродинамічних моментів регульованого та нерегульованого вітрового колеса від відносної частоти обертання

Дані метеорологічних вимірів рідко можуть бути джерелом достовірної інформації для оцінки вітрового потенціалу місцевості, через наявність вихрових

течій у місці встановлення датчиків. З метою визначення розрахункових умов для ВЕУ М.В.Келлером у 30-х роках у Криму було проведено дослідження з оцінки кількості енергії, що виробляється ВЕУ до стаціонарної мережі.

Для оцінки ефективності ВЕУ М.В.Келлер ввів поняття "число годин максимуму" [5], під ним розуміється кількість годин роботи, до яких можна було б віднести всю кількість річної енергії при роботі тільки на повну потужність. Отримуємо цю величину шляхом поділу загальної кількості енергії, що віддається за рік на розрахункову потужність. При цьому, як потужність, що віддається використовується добуток кількості енергії вітру при заданій швидкості вітру V на число випадків появи такого вітру протягом року.

Аналіз даних показує, що в середньому як розрахункову швидкість вітру слід використовувати швидкість вітру в 1,6..2,0 що перевищує середньорічні значення.

1.3. Оцінка продуктивності ВЕУ

Інший підхід у визначенні продуктивності ВЕУ. Особливістю цього підходу є використання фактичних вітрових даних: діапазон швидкостей вітру і повторюваність кожної швидкості вітру в районі. Продуктивність ВЕУ за будь-який проміжок часу може бути визначено [3] за такою формулою

$$A = C \cdot (\sum_{V_{\min}}^{V_0} V^3 \cdot t_1 + V_0^3 \sum_{V_0}^{V > V_0} V_i^3 \cdot t_{V > V_0}), \quad (3.22)$$

де $C = 0.25\rho \cdot \pi \cdot D^2 \cdot \xi$;

V_{\min} - мінімальна робоча швидкість вітру, м / с;

V_0 - розрахункова швидкість вітру, м/с;

D – діаметр вітрового колеса;

Аналізуючи цю формулу можна дійти висновку, що ця формула застосовна для ВЕУ з регульованою частотою обертання вітрового колеса. Для нерегульованих вітрових коліс вона матиме вигляд:

$$A = C \cdot (\sum_{V_{\min}}^{V_{\max}} V_i^3 \cdot t_i), \quad (3.23)$$

де V_{\max} – граничне значення швидкості вітру.

Однак відомо, що вітер має значну мінливість як за силою, так і за тривалістю. Запис зміни потужності ВЕУ за часом, зроблена В.Н.Андріановим показує, що коливання вихідної потужності ВЕУ практично відстежує коливання вітрової енергії, але з величиною запізнення по фазі та зміною амплітуди певними інерційними та конструктивними властивостями ВЕУ. Розглянуті вище методи оцінки продуктивності ВЕУ за фіксовані проміжки часу дають, як правило, відносно велику похибку, яка обумовлена неврахуванням динамічних процесів роботи всіх елементів ВЕУ.

$$\frac{\pi^2}{T_L^2} = \frac{\frac{dN_B}{d\varphi} + \frac{dN_\mu}{d\varphi} + \frac{dN_n}{d\varphi}}{-J_L}; \quad (3.35)$$

$$\frac{1}{T_V} = \frac{\frac{dM_B}{d\omega} + \frac{dM_\Gamma}{d\omega}}{-J_\Sigma}; \quad (3.36)$$

Інтегрування цього рівняння зводиться до вирішення характеристичного рівняння та визначення постійних інтегрування.

Для оцінки якості ВЕУ скористаємося поняттям загального коефіцієнта використання енергії вітру, введеного М.В.Келлер. Фізично цей коефіцієнт враховує всі коефіцієнти корисної дії, включаючи коефіцієнт використання енергії і є відношенням продуктивності ВЕУ до всієї потужності повітряного потоку підведеної за аналізований проміжок часу.

Висновки до розділу 1.

Для оцінки ефективності ВЕУ М.В.Келлер ввів поняття "число годин максимуму", під ним розуміється кількість годин роботи, до яких можна було б віднести всю кількість річної енергії при роботі тільки на повну потужність. Отримуємо цю величину шляхом поділу загальної кількості енергії, що віддається за рік на розрахункову потужність. При цьому, як потужність, що віддається використовується добуток кількості енергії вітру при заданій швидкості вітру V на число випадків появи такого вітру протягом року.

Аналіз даних показує, що в середньому як розрахункову швидкість вітру слід використовувати швидкість вітру в 1,6..2,0 що перевищує середньорічні значення.

Для оцінки якості ВЕУ скористаємося поняттям загального коефіцієнта використання енергії вітру, введеного М.В.Келлер. Фізично цей коефіцієнт враховує всі коефіцієнти корисної дії, включаючи коефіцієнт використання енергії і є відношенням продуктивності ВЕУ до всієї потужності повітряного потоку підведеної за аналізований проміжок часу.

РОЗДІЛ 2. ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ РОБОТИ ВЕУ В РІЗНИХ УМОВАХ

2.1. Особливості роботи ВЕУ з регульованим вітроколесом

Найбільш простим випадком є випадок, коли швидкість вітру $V = V_0$ та залишається постійною протягом усього часу спостереження. Для ВЕУ з регульованим вітровим колесом залежності $\bar{M}_B = f(z)$, $\bar{M}_T = f(z)$ та $n_T = f(z)$ наведені на рис.3.12. У разі, якщо $V = V_0$ робочою точкою вітрового колеса є точка перетину лінії залежності $\bar{M}_T = f(z)$ з лінією залежності $\bar{M}_B = f(z)$, позначена цифрою 1 [7].

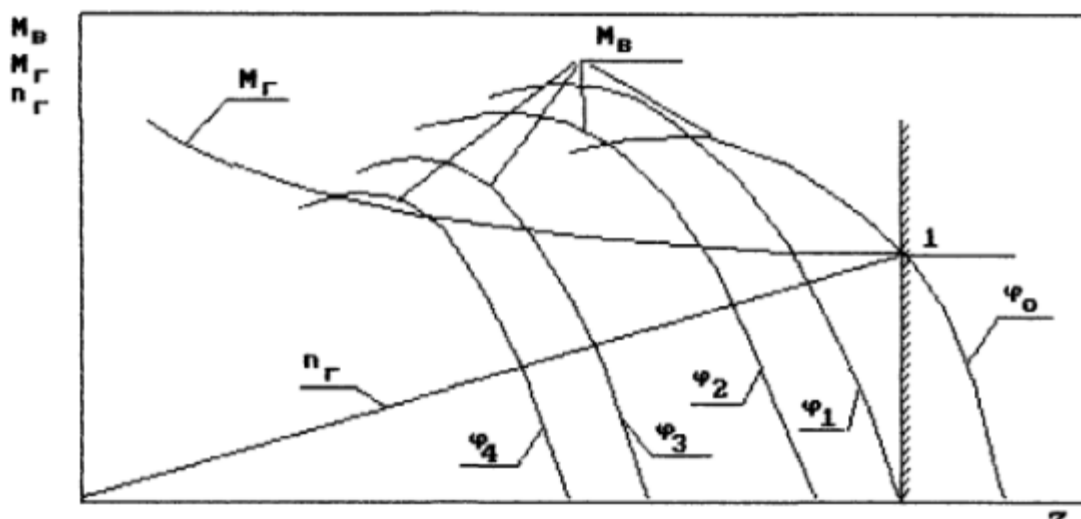


Рис. 2.1. Характеристики ВЕУ з регульованим вітровим колесом [5]

Якщо $z \leq z_0$ (це буває зі збільшенням швидкості вітру чи за зниження частоти обертання вітрового колеса), підтримання необхідної частоти обертання вітрового колеса здійснюється поворотом лопастей на деякий кут $\varphi_i > \varphi_0$, що призводить до збільшення похідної $\left(\frac{dM}{dt}\right)_{\varphi}$. В графічному вигляді процес регулювання ВЕУ може бути представлений у вигляді залежності $P_{ВЕУ} = f(V)$. Видно, що, починаючи з деякої швидкості вітру, позначеної V_{min} , починається віддача потужності ВЕУ. Цій швидкості V_{min} відповідає мінімальна частота обертання електричного генератора. Природно, що потужність віддачі до $V = V_0$ буде меншою за розраховану. Після досягнення розрахункової частоти

обертання ($V \geq V_0$) система регулювання підтримує частоту обертання вітрового колеса, а, отже, і генератора постійною.

Відключення ВЕУ відбувається при досягненні граничної швидкості вітру, величина якої визначається міцними характеристиками елементів ВЕУ. Діапазон робочих режимів ВЕУ за швидкості вітру продемонстровано на рис. 3.13 у вигляді заштрихованої фігури.

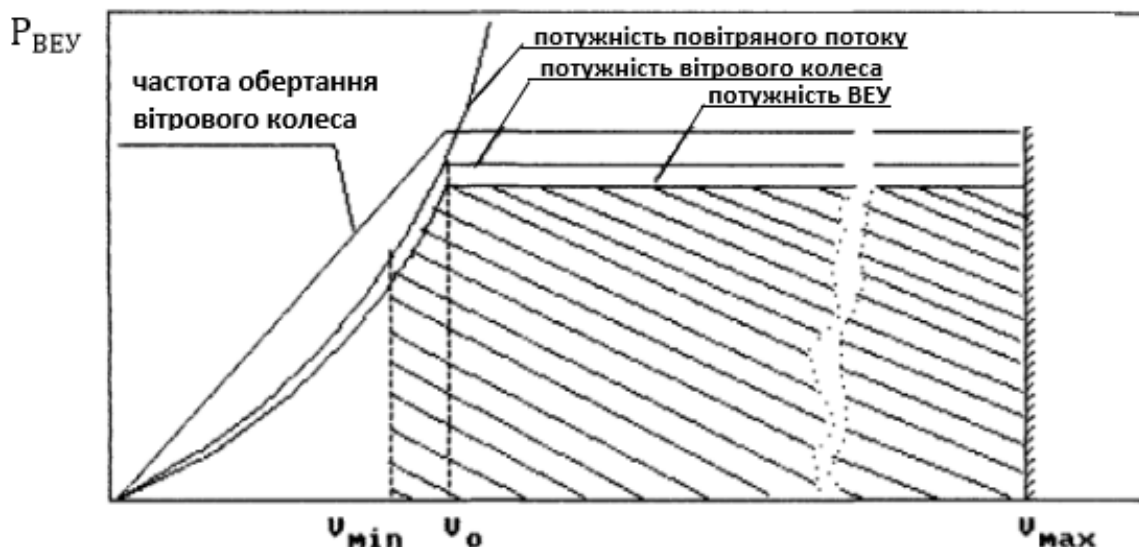


Рис. 2.2. Залежність потужності ВЕУ від швидкості вітру [4]

Для нерегульованої ВЕУ питання визначення діапазону робочих режимів дещо інакше. До швидкості вітру, що дорівнює розрахунковій V_0 , ВЕУ поводить себе так само, як і з регульованим вітровим колесом. Подальше збільшення швидкості вітру призводить до розкручування ротора і відключення електричного генератора (зняття навантаження) при досягненні ним граничної частоти обертання. Застосування системи стабілізації частоти обертання вітрового колеса збільшує діапазон робочих швидкостей ВЕУ від V_{min} до V_{max} , що відповідає, в середньому, 30 ... 35 м / с.

Однак, в реальності, вітровий потік являє собою течію повітряних мас, що не встановилася, що характеризується значним розмахом миттєвих значень швидкості відносно середнього значення. На рис.3.15 наведено запис зміни швидкості вітру за 15 секунд при середньогодинному значенні швидкості вітру

бм/с. Очевидно, що таким же чином змінюється і потужність, що підводиться до ВЕУ з боку повітряного потоку. Відомо, що, на перший погляд, хаотична зміна швидкості вітру, може бути представлена як суми гармонійних коливань із частотами різного порядку. Основними визначальними параметрами є такі величини :

- середньогодинна швидкість вітру \bar{V}_r ;
- коефіцієнти поривчастості: секундний, хвилинний і годинний: k_V^n , k'_V , k_V ;
- середньохвилинна, середньосекундна швидкості вітру : \bar{V} , \bar{V}^n ;
- середні частоти появи відповідних швидкостей $\bar{\omega}_{VZ}$, $\bar{\omega}_{V'}$, $\bar{\omega}_{V^n}$.



Рис. 2.3. Зміна швидкості вітру за 15 с при середньогодинному значенні 6 м/с

Таким чином, рух потоку повітря при моделюванні динаміки вітрового колеса може бути описано рівнянням [8], яке являє собою алгебраїчну суму середньогодинної швидкості вітру \bar{V}_q і гармонік різного порядку:

$$\bar{V}_1 = \bar{V}_q \cdot \cos(\bar{\omega}_{\bar{V}^1} \cdot t) - \text{опорна гармоніка першого порядку};$$

$$\bar{V}_2 = |\bar{V}_q - \bar{V}'| \cdot \sin(\bar{\omega}_{\bar{V}^2} \cdot t) - \text{гармоніка другого порядку};$$

$$\bar{V}_3 = |\bar{V}' - \bar{V}''| \cdot \cos(\bar{\omega}_{\bar{V}^3} \cdot t) - \text{гармоніка третього порядку};$$

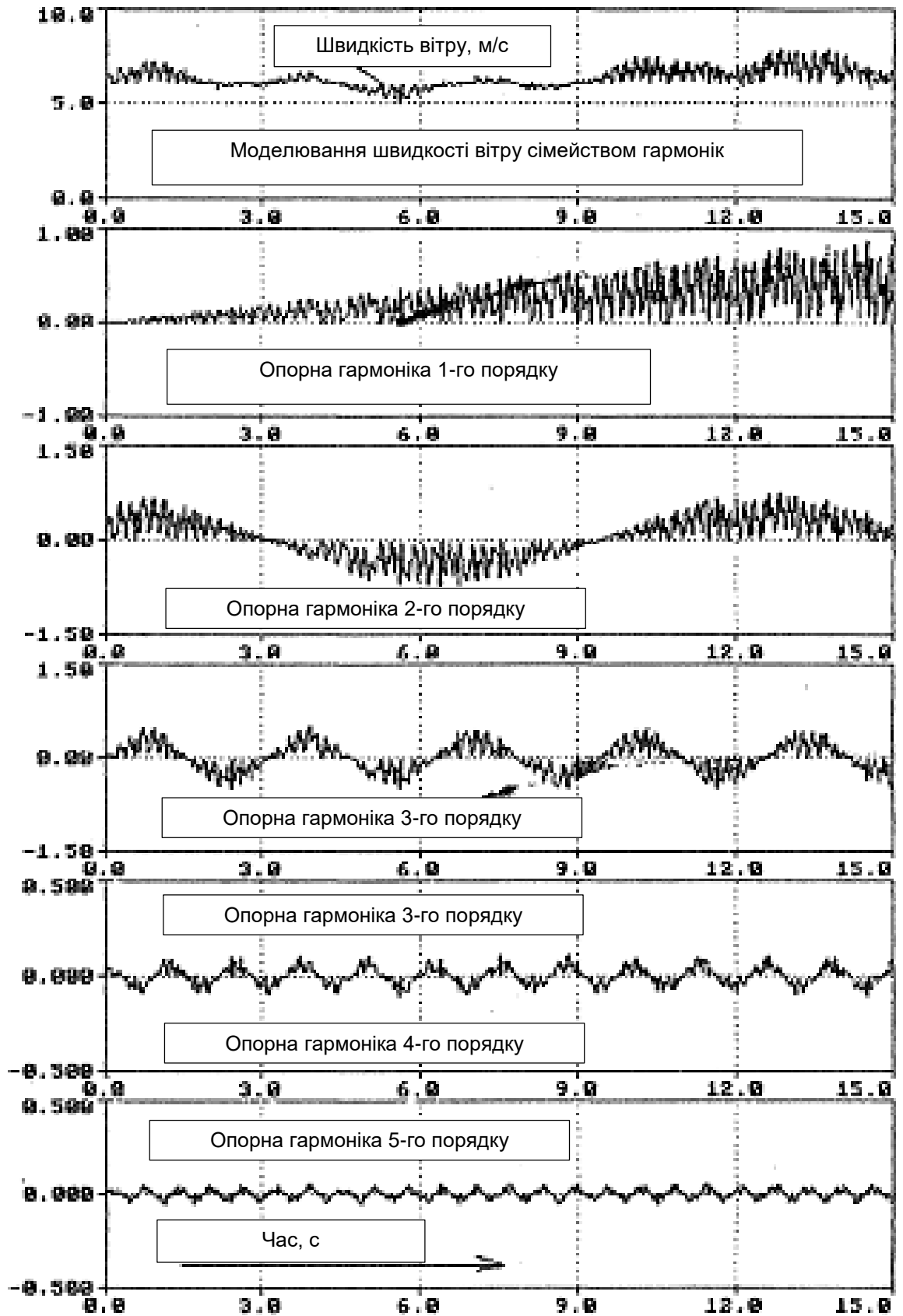


Рис.2.4. Результати моделювання поривів вітру.

$$\bar{V}_4 = |\bar{V}' - \bar{V}''| \cdot \sin(\bar{\omega}_{\bar{V}''} \cdot t) - \text{гармоніка четвертого порядку};$$

$\bar{V}_5 = |\bar{V}'' - \bar{V}_i| \cdot \cos(\bar{\omega}_{\bar{V}''} \cdot t)$ - гармоніка п'ятого порядку.

V_i - миттєве значення швидкості вітру.

Приклад моделювання поривів вітру з використанням відповідних параметрів потоку, описаних вище та отриманих із запису реального потоку наведено на рис.2.3. Використання ймовірних значень амплітуд, що входять до гармонійних складових швидкості потоку повітря, дозволяє моделювати роботу ВЕУ в умовах близьких до реальних. У цьому випадку рівняння набуде вигляду:

$$V_i = \bar{V}_c + \tilde{x}_1 \cdot \bar{V}_1 + \tilde{x}_2 \cdot \bar{V}_2 + \tilde{x}_3 \cdot \bar{V}_3 + \tilde{x}_4 \cdot \bar{V}_4 + \tilde{x}_5 \cdot \bar{V}_5, \quad (2.1)$$

де \tilde{x}_i - випадкове число, що підпорядковується нормальному закону розподілу в діапазоні $[0,1.0]$.

Результати моделювання пориву вітру з кроком 0.01 с. наведено на рис.2.4.

2.2. Особливості роботи ВЕУ з нерегульованим вітроколесом

Розглянемо роботу ВЕУ з нерегульованим вітровим колесом у потоці повітря, що описується рівнянням (2.1). Результати дослідження наведено на рис.2.5. Як початкові умови прийнята частота обертання вітрового колеса [9], що дорівнює $0,3 \cdot N_{\text{ВХ}_0}$ (розрахункової). Видно, що частота обертання вітрового колеса забезпечує з деяким запізненням зміну опорної гармоніки першого порядку. При фіксованому значенні потужності навантаження $P_{\text{нагр}} = 1.0$ кВт після виходу на номінальну напругу при зменшенні середньосекундної швидкості вітру з'являються перехідні режими, пов'язані з періодичним підключенням і відключенням навантаження через малу механічну потужність вітрового колеса. Значення коефіцієнта використання ВЕУ k_U до необмежено наближається до величини 0.2.

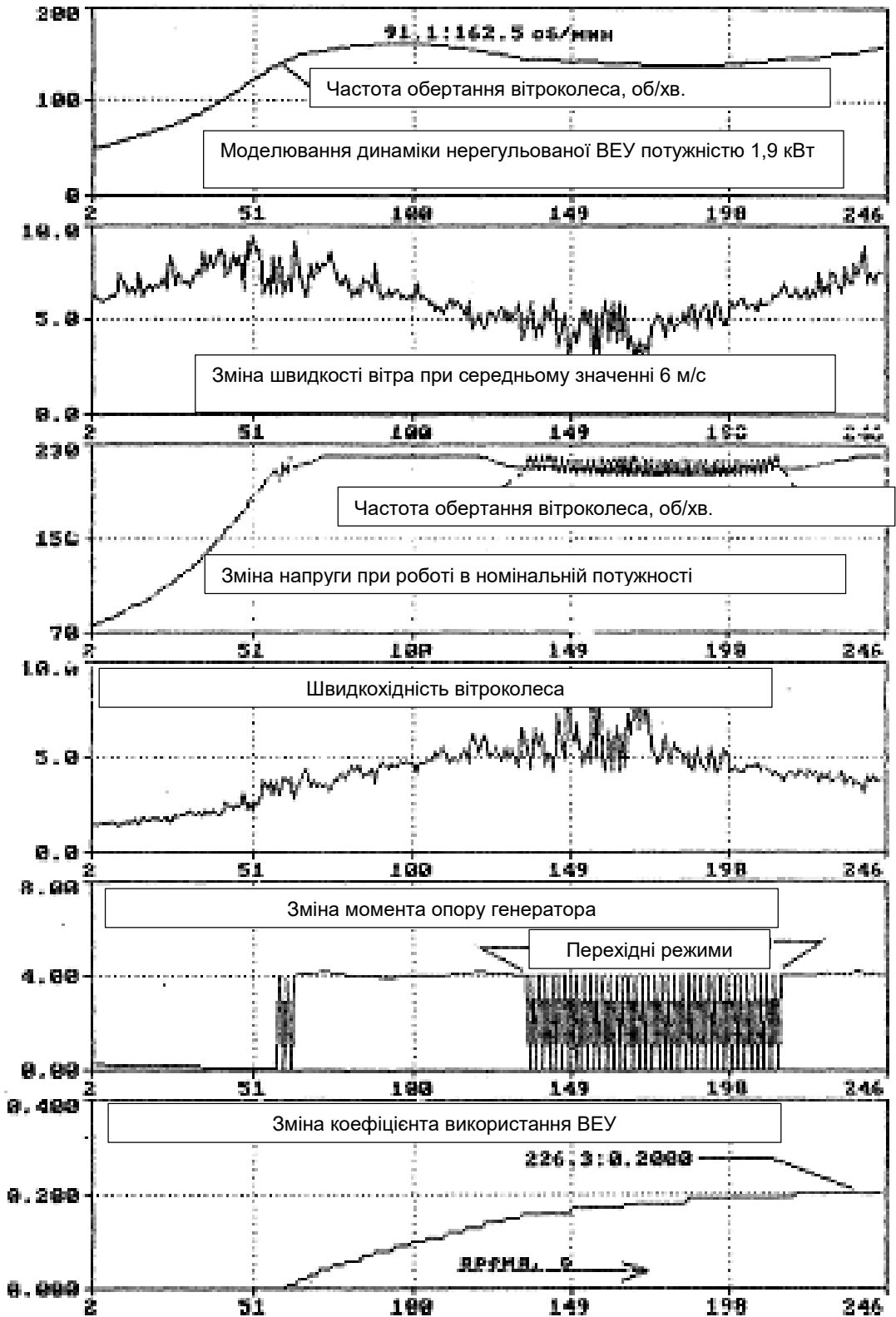


Рис.2.5. Процеси у ВЕУ з нерегульованим вітроколесом.

Моделювання роботи ВЕУ з регульованим вітровим колесом у тих самих

умовах і за тих самих початкових умов дозволило отримати значення $k_U = 0,325$. Результати дослідження наведено на рис.2.5.

Використання в електричній системі автомата підключення навантаження дозволяє суттєво розширити діапазон робочих швидкостей вітру. На рис. 2.5 наведено результати моделювання ВЕУ з нерегульованим вітровим колесом для різних середньогодинних швидкостей вітру. На малих середньогодинних швидкостях вітру автомат підключення навантаження забезпечує досить малі значення k_U (до 0.0302), що може бути пояснено незадоволеною динамікою ВЕУ. Великі швидкості вітру призводять до виходу на граничні режими роботи генератора та відключення навантаження [3]. Це суттєво зменшує k_U до значень 0.01...0,005.

Аналіз роботи ВЕУ з регулюванням частоти обертання вітрового колеса показує, що такі ВЕУ можуть забезпечити значно вищі значення k_U , особливо за наявності автомата підключення навантаження (рис.2.6).

Для ВЕУ різної потужності були проведені розрахункові дослідження з аналізу залежності коефіцієнта використання ВЕУ від середньогодинної швидкості вітру V при характері зміни секундної швидкості вітру, описаному вище. Результати досліджень наведено на рис.2.7. Характер залежності $k_u = f(V')$ для нерегульованої ВЕУ визначається насамперед тим, що електричний генератор має обмеження по граничній частоті обертання, що обмежує діапазон швидкостей вітру зверху, а знизу накладається обмеження по можливостях прийому вітрового колеса: малі пускові моменти вітроколеса.

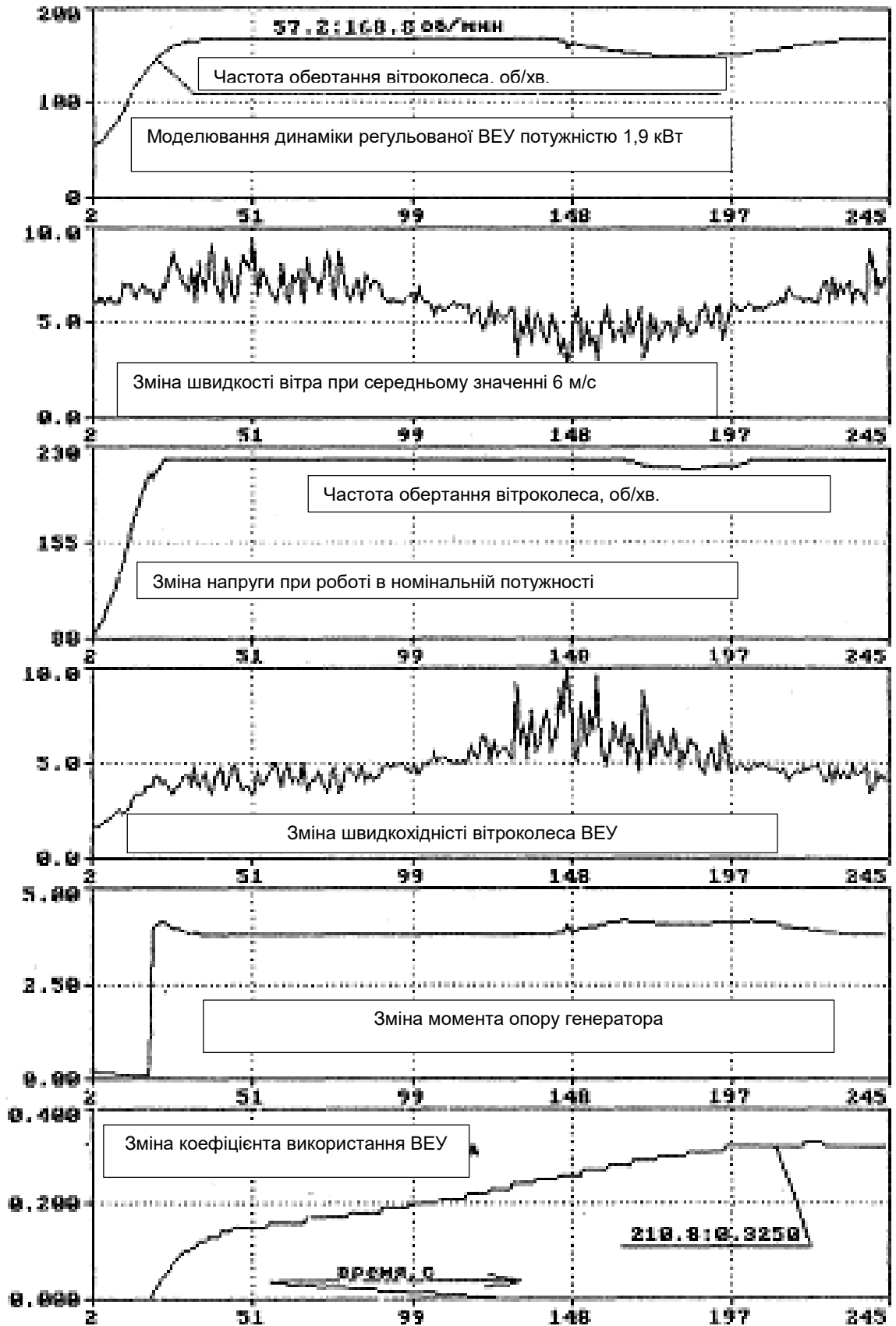


Рис.2.6. Процеси У ВЕУ з регульованим вітроколесом.

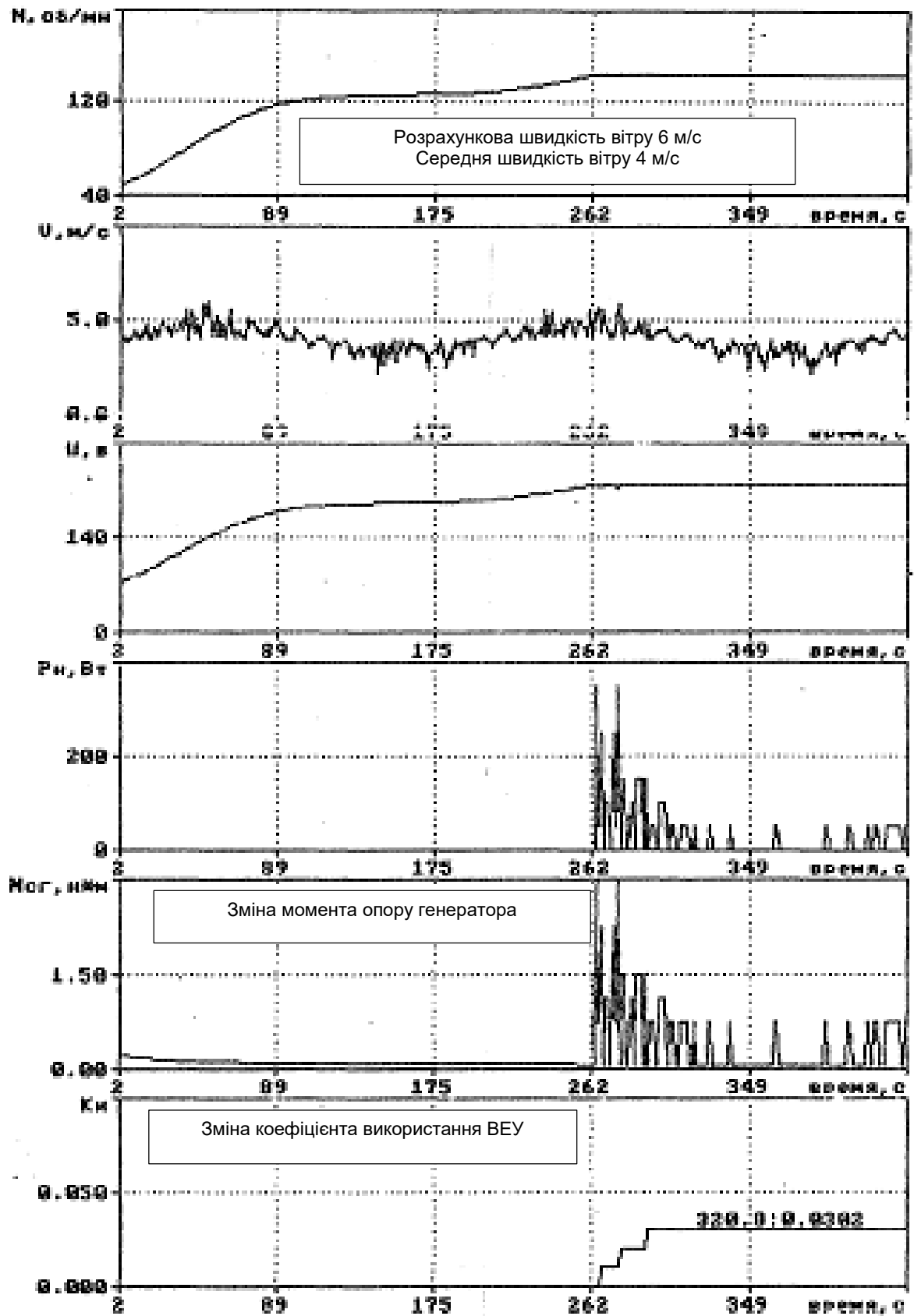


Рис.2.7. Результати моделювання нерегульованої ВЕУ.

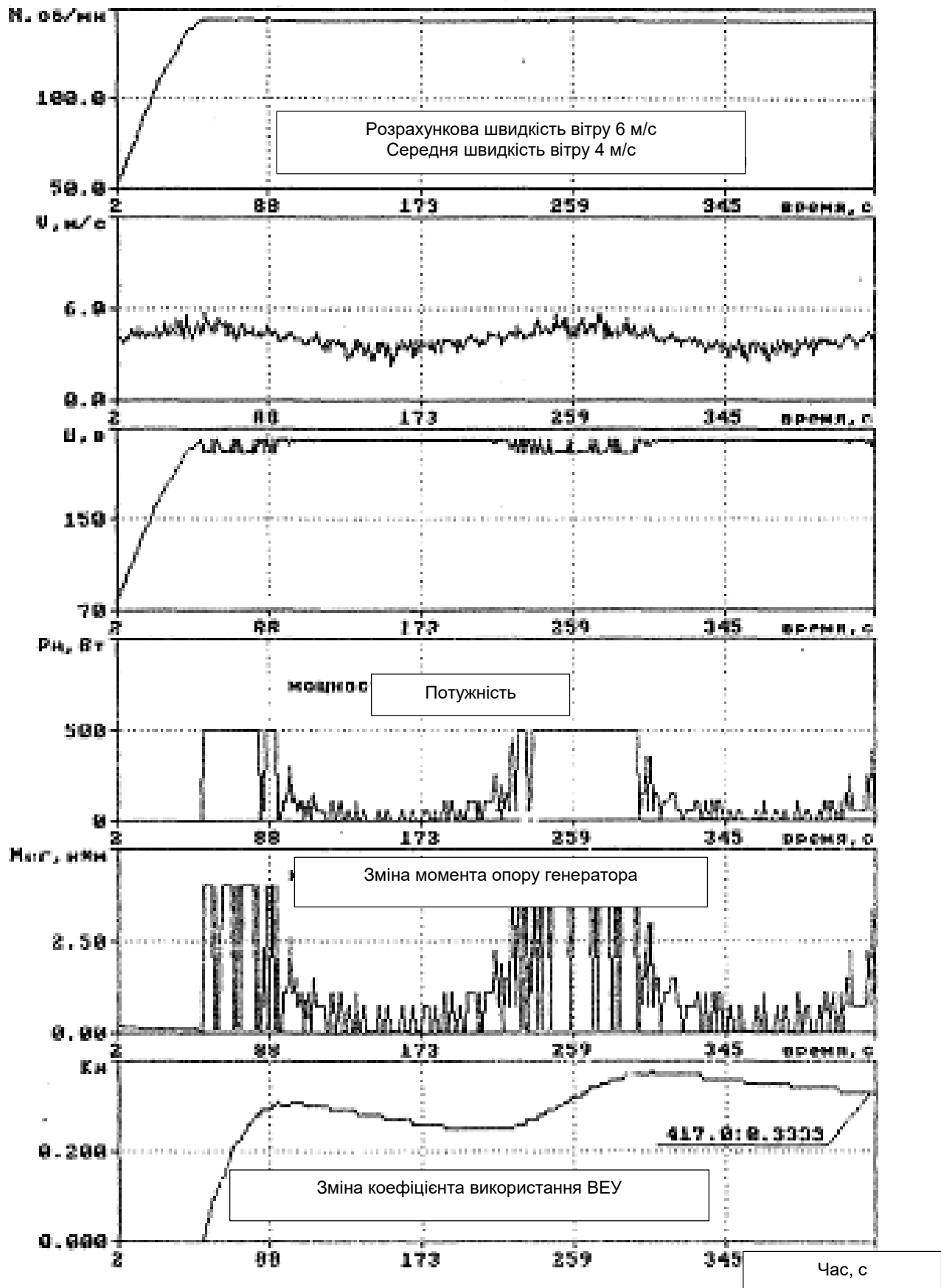


Рис.2.8. Результати моделювання регульованої ВЕУ.

Збільшення потужності дозволяє отримати більші значення k_U через те, що збільшення діаметра вітрового колеса забезпечує зростання осьового моменту інерції ($J_{BK} = f(R_{BK}^5)$) і, як наслідок, збільшення постійного часу T_{BK} , що робить нечутливим ВЕУ і до гармоніків другого і вище порядків в коливання вітру. Застосування регулювання вітроколеса дозволяє як розширити діапазон робочих швидкостей вітру, а й підвищити k_u [8].

Таким чином, у завданнях аналізу та синтезу ВЕУ в системах енергопостачання при визначенні вироблення ВЕУ за необхідний проміжок часу (не більше 1 години) доцільно використовувати залежність, що враховує особливості вітрового колеса, вітрові умови місцевості.

$$P_{\text{ВЕУ}}|_{t=0}^{t=1} = 0.5 \cdot k_u(P_{\text{ВЕУ}}, V)' \cdot \rho_B \cdot (V_0, \bar{V})^3 F \cdot \Delta t, \quad (2.2)$$

де

$k_u = f(P_{\text{ВЕУ}}, \bar{V})$ - залежність коефіцієнта використання ВЕУ при заданій встановленій потужності $P_{\text{ВЕУ}}$ та особливостях вітрового потоку;

ρ_B – масова щільність повітря;

V_0, \bar{V} – відповідно розрахункова та середньогодинна швидкості вітру;

F – площа яку захоплює вітрове колесо;

Δt – проміжок часу в інтервалі від $t=0$ до $t=1$ год.

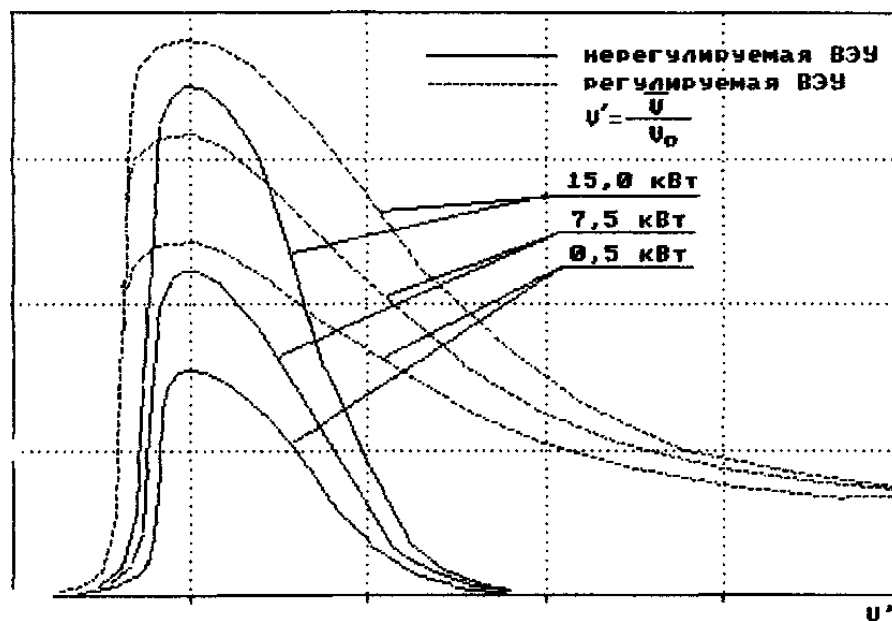


Рис.2.9. Залежності коефіцієнтів використання регульованої та нерегульованої вітроустановок від швидкості вітру.

Виходячи із встановлених залежностей, відображених на рис. 2.9, основою системи є ВЕУ, але її потужність перекриває потреби тільки в 75% часу, в інших потрібно компенсувати дефіцит потужності ввімкненням дизельного генератора. Регульована ВЕУ видає кращі показники по рівню виробленої потужності.

Висновки до 2 розділу

В розділі були розглянуті особливості роботи ВЕУ з регульованим та нерегульованим колесом, встановленні відмінності та їх вплив на оцінку ефективності роботи установки. При цьому відзначені і спільні сторони, що дозволяє зробити систему оптимізації більш гнучкою.

РОЗДІЛ 3.

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ТА АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ УСТАНОВОК

3.1. Характеристика наземного сонячного випромінювання як джерела енергії

Особливий характер сонячної радіації як джерела енергії, полягає в тому, що вона переривчаста (через хмарність або нічні інтервали) і має порівняно малу питому потужність (поверхнева щільність на площині перпендикулярної до сонячних променів, дорівнює приблизно $0,8-1 \text{ кВт/ м}^2$).

Сонячне випромінювання, що падає за нормаллю до Земної атмосфери, має спектральний розподіл, показаний на рис.3.23 рентгенівське та інші типи ультракороткохвильового випромінювання в сонячному спектрі, що поглинаються високо в іносфері озоном, киснем та іншими складовими атмосфери. Більшість ультрафіолетового випромінювання поглинається озоном. При довжинах більше $2,5 \text{ мкм}$ слабке позаземне випромінювання інтенсивно поглинається вуглекислим газом і водою, так що тільки невелика частина сонячної енергії досягає землі.

Таким чином, найбільша щільність потоку сонячного випромінювання, що приходить на Землю, складає приблизно 1 кВт/м^2 в діапазоні довжини хвиль $0,3-2,5 \text{ мкм}$ [5, 2]. Це випромінювання називається короткохвильовим та включає видимий спектр. Для населених районів залежно від місця, часу доби та погоди потоки сонячної енергії, що досягають Землі, змінюються від 3 до 30 МДж/м^2 на день.

Потоки енергії випромінювання, що пов'язують атмосферу з поверхнею Землі, теж близько 1 кВт/м^2 у спектральному діапазоні від 5 до 25 мкм , що називається довгохвильовим, з максимумом близько 10 мкм [5].

Незважаючи на переривчастий вид характеристики сонячної радіації можна на підставі багаторічних спостережень обчислити середньостатичні значення для так званих ясних, напівясних і похмурих днів із зазначенням

ступеня ймовірності їх прояву.

3.2. Визначення щільності потоку сумарною та дифузною сонячної радіації

Для розрахунку та визначення інтенсивності сонячного випромінювання можуть бути використані рівняння у роботах [7, 9]. У цих роботах величина інтенсивності є функція широти, азимуту, висоти сонця над горизонтом і кута нахилу сонячної батареї до горизонту. Є багато інших робіт з визначення інтенсивності сонячної радіації на горизонтальній та похилій поверхні [3-8]. Всі ці роботи в основному ґрунтуються на фізичних залежностях та результатах досліджень. Щільність потоку сумарної сонячної радіації H , що падає на поверхню Землі, є в загальному випадку сумою щільності потоку прямого сонячного випромінювання H_b і потоку дифузного випромінювання H_d :

$$H = H_b + H_d; \quad (3.1)$$

Дифузна радіація складається з щільності розсіяного потоку на небосхилі, випромінювання H_n і потоку розсіяного випромінювання, відбитого від наземного відображення, тобто:

$$H_d = H_n + H_r \quad (3.2)$$

Щільність потоку прямого випромінювання, що досягає поверхні землі, обчислюється із співвідношення:

$$H = \zeta E_\lambda \cdot a \cdot \lambda; \quad (3.3)$$

де:

λ – довжина хвилі випромінювання, м;

E_λ – щільність енергії, Вт/м² з урахуванням розсіювання та поглинання прямого сонячного випромінювання в атмосфері Землі може бути визначена так:

$$E_\lambda = E_{0\lambda} \cdot \exp(-a_\lambda \cdot m); \quad (3.4)$$

де:

a_λ – поглинання ідеальної атмосфери;

$E_{0\lambda}$ – щільність потоку енергії поза земною атмосферою.

Для обчислення H на основі (3.3) та (3.4) необхідне знання космічного

спектру сонячного випромінювання, а також оптичної маси атмосфери. Інтегрування формули (3.5) може бути проведено за допомогою чисельних методів з використанням ЕОМ. Час обчислення разом із зчитуванням даних є порівняно тривалими і є основним недоліком цього [7]. Тому можна використати таке співвідношення:

$$H_N = H_{0\text{эф}} \exp(-a \cdot T \cdot m^k) \quad (3.5)$$

де:

k - показник ступеня та визначається як:

$$k = 0,39 + 0,072 \cdot T; \quad (3.6)$$

a - константа 0,0995 [42];

T - коефіцієнт прозорості атмосфери, що визначається за формулою :

$$T = T_{\text{max}} - 0,64(1 + \cos 0,9856 \cdot n); \quad (3.7)$$

Коефіцієнт T бере до уваги розсіювання та поглинання випромінювання в атмосфері та залежить від факторів; пов'язаних з технічною діяльністю людини (вмістом газів та пилу, що виділяються промисловістю або іншими джерелами, наприклад, після вибуху ядерних зарядів в атмосфері). Величина приблизно рівна 2 у липні у високогірних районах і приблизно 6-8 у районах промислових центрів [7].

Щільність потоку прямого сонячного випромінювання на горизонтальній поверхні можна визначити за формулою:

$$H_b = H_N \cdot \cos \theta_x; \quad (3.8)$$

а його значення на похилій поверхні визначається як:

$$H_T = H_N \cdot \cos \theta; \quad (3.9)$$

Щільність потоку дифузійного сонячного випромінювання на горизонтальній поверхні визначається за формулою:

$$H_d = H_{nH} \cdot \psi_n + (H_{nH} + H_b \cdot \cos \theta_x) \cdot R \cdot (1 - \psi_n); \quad (3.10)$$

де:

H_{nH} - розсіяне випромінювання на небі на горизонтальній поверхні і визначається так:

$$H_{nH} = H_b [m/3 [\exp(aT \cdot m^k) - 1]]; \quad (3.11)$$

де:

Ψ_n - фактор конфігурація приймача на місці установки, у відкритій рівній місцевості, де площа "бачить" небосхил без обмеження, визначається так:

$$\Psi_n = 0,5(1 - \cos\beta); \quad (3.12)$$

R - значення середнього відображення середовищем і залежить від поверхні різних засобів. У табл. 3.1 надано значення R для різних середовищ.

Усі попередні співвідношення призначені для розрахунків за яскравих сонячних днів (безхмарного неба). При хмарному небі процес поглинання сонячного випромінювання залежить від типу хмар і ступеня хмарності, кута висоти Сонця. Результати експериментального визначення суцільної хмарності піддаються приблизному опису за допомогою співвідношення:

$$H_{nH} = H [C_1 + C_2 \cdot \cos\theta_x]; \quad (3.13)$$

де:

H_{nH} - щільність потоку розсіяного випромінювання, що падає на горизонтальну площину при суцільній хмарності;

H - щільність потоку сумарного випромінювання за безхмарного неба.

Сталі C_1 і C_2 залежать від типу хмар.

3.3. Розробка моделі функціонування комбінованої системи електропостачання

Наступним етапом у досягненні поставленої в кваліфікаційній роботі мети є розробка узагальненої математичної моделі комбінованої системи електропостачання, призначеної як для дослідження процесів, що відбуваються, так і для вирішення завдання структурно-параметричної оптимізації СЕС за критерієм економічної ефективності. Відповідно до призначення створений математичний опис має задовольняти наступним вимогам:

- враховувати особливості об'єкта енергопостачання (режим електроспоживання) та клімато-географічні умови місця розміщення;
- забезпечувати моделювання роботи комбінованої СЕС на короткочасних

(добу) та тривалих (рік) інтервалах;

- вихідна інформація повинна містити дані, що дозволяють оцінити технічні характеристики та економічні показники системи;

- мати прийнятну для етапу ескізного проектування системи електропостачання точність при розумних витратах обчислювальних ресурсів ЕОМ.

При використанні повних математичних моделей ВЕУ і ФЕУ, а також детальному моделюванні умов докільця цього досягти практично не вдається. Внаслідок чого виникає проблема розробки спрощених математичних описів основних процесів, що протікають у нетрадиційних відновлюваних джерелах енергії. Застосування таких моделей, можливо навіть імітаційного характеру, має забезпечити оцінку техніко-економічних показників системи з точністю, достатньою для прийняття обґрунтованих проектних рішень.

Для прийнятого принципу побудови ЕК (п.2.5) структура програми моделювання у найзагальнішому вигляді може бути представлена блок-схемою на рис.3.25. Вона включає п'ять основних підпрограм, функції яких зводяться відповідно до наступного:

- введення вихідних даних, що задають структуру встановлених потужностей компонентів СЕС, їх розрахункові параметри та режими роботи програми;

- введення інформації про середньомісячні (протягом року) рівні необхідного електроспоживання, середньомісячні значення швидкості вітру та інтенсивність сонячної радіації в зоні розташування системи;

- визначення середньодобових значень річного графіка навантаження та розподілу потенціалів вітрової та сонячної енергії в заданому регіоні;

- моделювання енергетичних процесів для визначення поточних значень потужностей окремих компонентів і СЕС в цілому, а також обсягів електроенергії, що виробляється ними;

- оцінки основних економічних показників системи, що визначаються витратами на основні компоненти системи та їх енергетичною продуктивністю.

У першому блоці програми моделювання СЕС (Додаток 1) здійснюється послідовне введення даних, що характеризують конструктивні, функціональні та економічні показники вітроенергетичної, фотоелектричної та дизель-генераторної установок, а також системи акумулювання енергії. Ці параметри можуть легко змінюватися, забезпечуючи завдання необхідних початкових умов та режимів роботи програми.

Оскільки зазвичай у літературі наводяться деякі усереднені за місяцями року результати метеорологічних спостережень у різних клімато-географічних зонах (п.1.3), а для оптимізації параметрів комбінованої СЕС необхідна інформація про середньодобові зміни швидкості вітру та інтенсивність сонячного випромінювання, то в третьому блоці програми здійснюється визначення значень, що відсутні, методом лінійної інтерполяції за вихідними даними, введеними в блоці 3.

Попередній аналіз показав, що орієнтація на метод моделювання "годину за годиною" на річному інтервалі функціонування СЕС призводить до не виправдано великих заторів машинного часу, не даючи при цьому помітного виграшу в точності результату. Крім того, слід зазначити, що випадкова складова найбільше впливає на дані короткочасних спостережень. Опосередкованість результатів вимірів на досить тривалих інтервалах дає більш стійкий результат, усуваючи дію нормально розподілених випадкових чинників. Внаслідок цього при оптимізації СЕС, розрахованої на роботу протягом 20-30 років, краще використовувати дані багаторічних спостережень опосередковані по місяцях і перераховані на середньодобові значення.

Аналогічні міркування відносяться і до інформації про режим електроспоживання та графіки навантаження об'єкта енергопостачання.

Структура четвертого блоку програми моделювання комбінованої СЕС, що описує енергетичні зв'язки окремих компонентів системи, більш детально показана в Додатку 1. Цей блок є базовим у математичній моделі комбінованої СЕС. В основі підпрограми моделювання енергетичних процесів лежить добовий аналіз балансу потужності у комбінованій СЕС, що працює на об'єкт

енергопостачання

$$\Delta P_t = P_{nt} - [P_v(P_{vn}, V_n) + P_a(P_{an}, V_{an}) + P_d(\Delta P, P_a) + P_a(Q_a, \Delta P)]_t, \quad (3.3)$$

де P_{nt} - потужність навантаження, підключеного в t -ий момент часу;

P_a, P_v - наявні потужності ВЕУ і ФЕУ, P_d, P_a - потужності ДДУ та АС. Наявні потужності вітро- та фотоелектричної установок визначаються шляхом математичного моделювання за заданими клімато-географічними умовами.

При цьому математичні моделі ВЕУ і ФЕУ можуть бути використані у двох формах: повні - для детального аналізу процесів виробництва та споживання електричної енергії за різних зовнішніх умов, що змінюються протягом доби, і спрощені (імітаційні), що дозволяють одержати необхідні дані для оцінки техніко-економічної ефективності комбінованої СЕС [5].

В останньому випадку математичний опис вітроенергетичної установки може бути представлений у наступному вигляді. Потужність повітряного потоку, що припадає на одиницю площі, що охоплюється вітровим колесом

$$E_v(t) = \frac{\rho \cdot V(t)^3}{2000}, \quad \text{кВт/м}^2 \quad (3.4)$$

де ρ - щільність повітря [кг/м^3], а $V(t)$ - поточна швидкість вітру [м/с]. Площа ротора вітрового агрегату, потрібна для забезпечення заданої номінальної потужності P_{vn} при розрахунковій швидкості вітру V_n

$$f_v = \frac{2000 \cdot P_{vn}}{\eta_{vn} \cdot \rho \cdot V_n^3} \quad (3.5)$$

де η_{vn} - розрахункове значення коефіцієнта корисної дії ВЕУ в номінальному режимі.

Коефіцієнт корисної дії вітроустановки зі збільшенням швидкості вітру змінюється від нуля до деякого максимального значення η_{vn} , відповідного розрахунковій швидкості вітру V_n , після чого падає. При $V(t) > V_{\max}$ відбувається відключення ВЕУ. У цих умовах зазначена залежність $\eta_v(V)$ з достатнім ступенем точності може бути апроксимована в діапазоні $V_{\min} < V(t) < V_n$ виразом

$$\eta_v(V) = \eta_{vn} \cdot \sin\left[\frac{\pi}{2V_n} \cdot V(t)\right]. \quad (3.6)$$

Таким чином, у спрощеній математичній моделі поточна електрична

потужність вітроенергетичної установки

$$P_v(t) = \begin{cases} 0, & V(t) < V_{\min}; \\ \eta_v(V) \cdot E_{v(t)} \cdot F_v, & V_{\min} \leq V(t) \leq V_{\max}; \\ P_{vn}, & V(t) > V_{\max} \end{cases} \quad (3.7)$$

Модель фотоелектричної установки, призначена для знаходження вихідної потужності за заданими значеннями інтенсивності (щільності сонячної радіації), у спрощеному вигляді може бути зведена до наступної системи рівнянь:

$$\begin{aligned} f_a &= P_{an} / (\eta_a \cdot \eta_H \cdot E_{an}); \\ P_a(t) &= \eta_a \cdot \eta_H \cdot f_a \cdot E_a(t); \end{aligned} \quad (3.8)$$

де P_{an} – номінальна потужність ФЕУ [кВт], η_a – коефіцієнт перетворення сонячної енергії в електричну, η_H – к.к.д. інвертора, E_{an} – розрахункова інтенсивність сонячного випромінювання, за якої сонячні батареї віддають номінальну потужність, f_a – площа панелей сонячних батарей [м^2], $E_a(t)$ – поточна інтенсивність сонячної радіації [$\text{кВт}/\text{м}^2$].

Після моделювання вітро і фотоелектричної установок для t -ого моменту часу визначається різниця між потрібною потужністю і потужністю основних джерел (ВЕУ і ФЕУ).

$$\Delta P_t = P_{nt} - (P_v + P_a)_t \quad (3.9)$$

Подальший порядок обчислень залежить від того, чи є в системі надлишок або дефіцит потужності.

При дефіциті потужності ($\Delta P_t > 0$) перевіряється можливість покриття за рахунок акумулюючої системи. Необхідний при цьому запас ємності

$$\Delta Q_t = (\Delta P \cdot \Delta t)_t / \eta_r \quad (3.10)$$

(Δt – крок за часом, за який ведеться моделювання СЕС). Якщо запас ємності АС менший за необхідний, $(Q_a - \Delta Q)_t < Q_a^{\min}$, то необхідно підключення дизель-генераторної установки. В іншому випадку дефіцит потужності повністю покривається за рахунок акумулюючої системи. Віддається потужність акумулюючої системи $P_{at} = \Delta P_t$, а її ємність зменшується до

$$Q_{at} = Q_{a(t-1)} - \Delta Q_t. \quad (3.11)$$

У тих випадках, коли наявна потужність основних джерел енергії (ВЕУ і

ФЕУ) перевищує потреби об'єкта енергопостачання, проводиться акумулювання надлишкової енергії

$$\Delta Q_t = (\Delta P \cdot \Delta t)_t \cdot \eta_z. \quad (3.12)$$

Можливості акумулюючої системи в цьому режимі визначаються точним ступенем зарядженості і при $Q_{at} - \Delta Q_t < Q_a^{\max}$ вся надмірна енергія запасється в АС. Потужність акумулятора $P_a = \Delta P$ має негативне значення ($\Delta P < 0$), що вказує на режим заряду. Місткість АС наприкінці розрахункового інтервалу визначається за (3.10) з урахуванням (3.11).

Якщо надмірна енергія в СЕС перевищує можливість акумулювання, то середня потужність АС

$$P_{at} = \frac{Q_{at} - Q_a^{\max}}{\Delta t \cdot \eta_z} \quad (3.13)$$

а її ємність в кінці розглянутого інтервалу $Q_{at} = Q_a^{\max}$.

Потужність, яка віддається нетрадиційними відновлюваними джерелами - енергії в навантаження,

$$P_{ot} = P_{nt} - (P_a + P_d)_t \quad (3.14)$$

Значення потужності дизель -генераторної установки P_{dt} , знаходяться за допомогою її математичної моделі, структура якої наведена в Додатку 1.

На першому етапі в математичній моделі оцінюються можливості - забезпечення покриття залишкового дефіциту потужності $(\Delta P - P_a)_t$ за рахунок використання ДДУ. При $(\Delta P - P_a)_t \leq P_{dn}$ це завдання успішно вирішується. У разі меншої величини встановленої потужності P_{dn} дизельного агрегату утворюється непоправний дефіцит потужності

$$P_{xt} = \Delta P_t - (P_{dn} + P_a)_t, \quad (3.15)$$

внаслідок чого комбінована СЕС буде здатна забезпечити лише меншу потужність навантаження $(P_n - P_x)_t$.

При визначенні запасу палива, необхідного для роботи дизельного агрегату, у техніко-економічних розрахунках зручніше використовувати не коефіцієнт корисної дії ДДУ, а питому витрату палива q_T на вироблення однієї кВт·год електричної енергії. З аналізу цих залежностей випливає, що за малих

навантажень ДДУ має підвищену витрату палива. Дане явище може бути враховано в математичній моделі дизель-генераторної установки виразом виду

$$q_T = [1 + k_T \left(1 - \sin \frac{\pi}{2P_{dn}} \cdot P_d\right)] \cdot q_{Tn} \quad (3.16)$$

де q_{Tn} - питома витрата палива при номінальній потужності, а $k_T = (q_{max} - q_{Tn})/q_{Tn}$ - коефіцієнт перевищення номінальної витрати палива при мінімальному навантаженні ДГУ. У блок-схемі імітаційної моделі дизельного агрегату (додаток 1) рівняння (3.16) представлено за досить типового значення $k_T = 0.3$.

Крім балансу потужності в програмі моделювання визначаються і енергетичні показники комбінованої СЕС, у тому числі, вироблення електроенергії окремими компонентами системи.

Енергія, що споживається навантаженням (об'єктом енергопостачання),

$$W_n = k_{max} \cdot \sum_{t=1}^T P_{nt} \cdot \Delta t. \quad (3.17)$$

В (3.17) $k_{max} = P_{mid}/P_{max}$ - відношення середнього навантаження системи до її максимального розрахункового значення.

Потенційне (прогнозоване) виробництво електроенергії нетрадиційними відновлюваними джерелами енергії визначається за такими формулами:

- для вітроенергетичної установки

$$W_v = \sum_{t=1}^T [P_v (P_{vn}, V_n, V) \cdot \Delta t]_t ; \quad (3.18)$$

- для фотоелектричної установки

$$W_a = \sum_{t=1}^T [P_a (P_{an}, E_a) \cdot \Delta t]_t . \quad (3.19)$$

При розрахунку реального вироблення електроенергії необхідно задати спосіб розподілу навантажень між паралельно працюючими ВЕУ та ФЕУ. Надалі для простоти вважатимемо, що навантаження нетрадиційних джерел у комбінованій СЕС пропорційні їх встановленим потужностям. Тоді реальне вироблення електроенергії ВЕУ і ФЕУ відповідно описуватиметься рівняннями

$$W'_v = \sum_{t=1}^T \frac{P_{vn} [P_0 - (P_d + P_a)]_t}{P_{vn} + P_{an}} \cdot \Delta t \quad (3.20)$$

$$W'_a = \sum_{t=1}^T \frac{P_{an}[P_0 - (P_d + P_a)]_t}{P_{vn} + P_{an}} \cdot \Delta t$$

Вироблення електроенергії дизель-генераторною установкою

$$W_d = \sum_{t=1}^T [P_d(P_{dn}, \Delta P) \cdot \Delta t]_t \quad (3.21)$$

Енергія, що споживається навантаженням від акумулюючої системи

$$W_a = \sum_{t=1}^T [P'_a(Q_a^{\max}, \Delta P) \cdot \Delta t]_t \quad (3.22)$$

Дефіцит енергії у системі за розрахунковий період

$$W_x = \sum_{t=1}^T [k_{\max} P_n - (P'_v + P'_a + P_d)]_t \cdot \Delta t, \quad (3.23)$$

де P'_v і P'_a - реальна потужність, що віддається відповідно ВЕУ і ФЕУ в навантаження. Таким чином, баланс енергії в комбінованій СЕС в t -й момент часу описується виразом типу

$$W_{nt} = (W'_v + W'_a)_t + W_{dt} \pm W_{at} + W_{xt}. \quad (3.24)$$

Обґрунтована модель комбінованої СЕС, спираючись на існуючі моделі основних компонентів, описує їх взаємозв'язки на енергетичному рівні. Її використання дозволяє вирішувати як завдання дослідження процесів у системі, так і оптимізації її параметрів при пошуку найбільш економічно вигідних способів комбінування НВІЕ.

Висновки по 3 розділу

Обґрунтована модель комбінованої СЕС, спираючись на математичні (або запропоновані імітаційні) моделі основних компонентів, описує їх взаємозв'язки на енергетичному рівні. Її використання дозволяє вирішувати як завдання дослідження процесів у системі, так і оптимізації її параметрів при пошуку найбільш економічно вигідних способів комбінування НВІЕ.

Попередній аналіз показав, що орієнтація на метод моделювання "годину за годину" на річному інтервалі функціонування СЕС призводить до невиправдано великих заторів машинного часу, не даючи при цьому помітного виграшу в точності результату. Крім того, слід зазначити, що випадкова складова найбільше впливає на дані короткочасних спостережень.

ВИСНОВКИ

У процесі проведення досліджень у галузі оптимізації структури та параметрів комбінованих енергокомплексів на базі нетрадиційних відновлюваних джерел енергії стосовно умов території України було отримано такі результати.

1. Тяжкий стан, в якому знаходиться енергосистема України в даний час, а також обмеженість запасів традиційних енергоресурсів роблять досить актуальним вирішення проблеми залучення нетрадиційних відновлюваних джерел до енергобалансу країни, насамперед при організації автономного електропостачання ізольованих житлових об'єктів у віддалених від електричних мереж районах.

2. На основі аналізу клімато-географічних умов України виділено три типові зони: приморська, внутрішня та гірська з характерними розподілами потенціалів вітрової та сонячної енергій із середньою питомою потужністю вітрових потоків 0.029, 0.026, 0.014 кВт/м² і 0,025 кВт/м² відповідно .

3. Аналіз соціально-побутових умов життя населення України, складу та характеристик використовуваних електроприладів дозволив визначити три типи об'єкта електропостачання з максимальними значеннями розрахункового навантаження 2.71, 5.07 та 11.7 кВт та сформувати річні графіки навантаження для проведення подальших досліджень та вибору оптимальних параметрів комбінованого енергокомплексу .

4. Порівняльна оцінка необхідного рівня та режимів електроспоживання та наявних потенціалів вітрової та сонячної енергії, вказує на досить хорошу доповнюваність потенціалів аналізованих НВІЕ у різних районах, в той же час використання максимумів енергії, що підводиться, ускладнюється їх розбіжністю в часі з максимумами характерних графіків навантаження .

5. Як найбільш загальний принцип побудови комбінованого - енергокомплексу пропонується варіант одночасного використання вітро- та фотоелектричних установок, резервного джерела на базі дизель-генераторного агрегату та акумулюючої системи на базі електрохімічних батарей з необхідним

додатковим обладнанням.

6. Розроблено комплекс математичних моделей комбінованого ЕК узагальненої структури та його компонентів, реалізований на ПЕОМ типу ІВМ РС/АТ і що дозволяє проводити дослідження основних технічних характеристик і показників енергокомплексу, а також особливостей процесів, що в них відбуваються.

7. Як критерій ефективності комбінованого ЕК запропоновано використовувати сумарні наведені витрати на його створення та експлуатацію, що збігається по виду, при заданому рівні та режимі електроспоживання, з вартістю електроенергії, що виробляється.

8. Аналіз існуючих методів структурно-параметричної оптимізації показало, що найбільш ефективним є комбінування НВІЕ з традиційними дизель-генераторними агрегатами в окремих регіонах України виявлено недоцільність застосування у складі ЕК вітроелектричних установок.

9. При використанні комбінованих ЕК вартість виробленої електроенергії виходить на 30-50% нижче, ніж при електропостачанні тих же об'єктів від широко поширених дизельних електростанцій і становить близько 0.21-0.24 дол./кВт.год.

10. Порівняння оптимального комбінованого ЕК з альтернативними варіантами організації електропостачання заданих об'єктів показало його більш високу ефективність, хоча варіанти комбінування одного з розглянутих НВІЕ з дизель-генераторною установкою в окремих районах за вартістю електроенергії лише на 10-15% поступаються оптимальним.

В цілому аналіз усієї сукупності отриманих у роботі результатів дозволяє зробити висновок про перспективність створення комбінованих енергокомплексів на базі НВІЕ для електропостачання ізольованих житлових та господарських об'єктів з рівнем максимального навантаження 2-12 кВт у більшості клімато-географічних зон України.

Список використаних джерел

1. Яхно О. М., Таурит Т. Г., Грабар І. Г. Вітроенергетика: конструювання та розрахунків ВЕУ. Житомир: ЖДТУ, 2003. 248 с.
2. Фаворський Ю. П. Створення моделі оптимального стану гібридних вітросонячних систем електрозабезпечення. Альтернативна енергетика і екологія. Київ, 2012. №5-6. С. 98-107.
3. Kelash, H. M., Faheem, H. M., & Amoon, M. (2007). It takes a multiagent system to manage distributed systems. *IEEE Potentials*, 26, 39–45.
4. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії : підручник. К., НТУУ «КПІ», 2012, 490 с.
5. Abouzahr , I., Ramakumar . R. 1990. Втрата потужності можлива напруга однієї електричної конвертації систем: closed form solution approach. *IEEE Transaction on Energy Conv.* 5(3), pp.445-452.
6. 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.
7. Шкравюк І. Є. Тенденції розвитку поновлюваних джерел енергії у світі / І. Є. Шкравюк. – М. : WWF, 2010. – 88 с.
8. Надійність електроенергетичних систем. Довідник / за редакцією М. Н. Розанова. – М. : Енергія, 2000. – 564 с.
9. Довідник по проектуванню електричних мереж / за редакцією Д. Л. Файбисовича. – М. : Вид. НЦ ЕНАС, 2005. – 320 с.
10. Оптимізація числа й потужності дизель-генераторів автономної дизельної електростанції / Б. В. Лукутин, С. Г. Обухів, Е. А. Блазнів, Н. М. Парників // Промислова енергетика. – 2009. – № 11. – С. 27–33.