

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра електрифікації, автоматизації
виробництва та інженерної екології
Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Мельничук Олександр Васильович

УДК 620.93

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Підвищення ефективності використання сонячної та вітрової енергії для
теплопостачання підприємств АПК**

141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”
(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
Гончаренко Ю.П.
к.т.н., доцент

Житомир – 2020

АНОТАЦІЯ

Мельничук Олександр Васильович. Підвищення ефективності використання сонячної та вітрової енергії для теплопостачання підприємств АПК. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

Світовий і вітчизняний досвід застосування комбінованих геліо-вітрових енергетичних установок в сільському господарстві свідчить про те, що спільне використання сонячної та вітрової енергії дозволяє підвищити надійність енергопостачання споживача в порівнянні з роздільним використанням цих енергоджерел. При цьому забезпеченість споживача в енергії істотно зростає і може досягати 80...90%, в той час як при роздільному їх застосуванні цей показник знаходиться на рівні 30...70%.

Розроблена аналітична залежність, що дозволяє зв'язати енергетичну характеристику вітрового потоку з енергетичною характеристикою сонячної радіації в робочому діапазоні швидкостей вітру вітрових енергетичних установок. Достовірність залежності становить 70...90%, що дозволяє її використовувати при моделюванні роботи комбінованих геліо-вітрових енергетичних установок на ПК і в тих випадках, коли інформація про режим спільного надходження сонячної та вітрової енергії відсутня.

Для підвищення ефективності перетворення сонячної та вітрової енергії в тепло запропонована принципово нова схема КГВЕУ, що забезпечує в порівнянні з існуючими схемами приріст річного коефіцієнта заміщення на 10-20%.

Ключові слова: геліо-вітрова енергетична установка, енергія, тепло, ефективність

ANNOTATION

Melnichuk Alexander Vasilyevich. Improving the efficiency of using solar and wind energy for heat supply of agricultural enterprises. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualification work for a master's degree in the specialty 141 "Electrical Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". – Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

World and domestic experience in the use of combined solar-wind power plants in agriculture shows that the joint use of solar and wind energy can increase the reliability of energy supply to consumers compared to the separate use of these energy sources. At the same time, the consumer's energy security increases significantly and can reach 80... 90%, while when used separately, this figure is at the level of 30... 70%.

An analytical dependence has been developed that allows to connect the energy characteristic of wind flow with the energy characteristic of solar radiation in the working range of wind speeds of wind power plants. The reliability of the dependence is 70... 90%, which allows it to be used in modeling the operation of combined solar wind power plants on a PC and in cases where information about the regime of joint solar and wind energy is missing.

To increase the efficiency of conversion of solar and wind energy into heat, a fundamentally new scheme of KHVEU is proposed, which provides an increase in the annual replacement rate by 10-20% in comparison with the existing schemes.

Key words: helio-wind power plant, energy, heat, efficiency

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ТА ВІТРОВОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ СПОЖИВАЧІВ.....	7
РОЗДІЛ 2. ОТРИМАННЯ АНАЛІТИЧНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ВІТРОВОГО ПОТОКУ І СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ В УМОВАХ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	14
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СХЕМИ КОМБІНОВАНОЇ ГЕЛІОВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	20
ВИСНОВКИ.....	27
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	28

ВСТУП

У сільському господарстві сонячна енергія застосовується для отримання гарячої води, опалення, охолодження, опріснення солоної води, сушки сільськогосподарської продукції, водопідйому, зрошення та в інших технологічних процесах. Одним з небагатьох економічно вигідних напрямків використання сонячної енергії в сільському господарстві є гаряче водопостачання і опалення житлових і виробничих приміщень, саме тому підвищення ефективності використання сонячної та вітрової енергії для теплопостачання підприємств АПК є доволі актуальною задачею.

Мета і задачі дослідження. Підвищення ефективності використання сонячної та теплової енергії для теплопостачання підприємств АПК.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі:

- проаналізувати використання сонячної та вітрової енергії для енергопостачання сільськогосподарських споживачів;
- отримання аналітичної залежності між енергетичними характеристиками вітрового потоку і сонячної радіації в умовах Житомирської області;
- розробити схеми комбінованої геліо-вітро енергетичної установки для гарячого водопостачання підприємств АПК.

Об'єкт дослідження: процес забезпечення тепловою енергією підприємств АПК на основі використання альтернативних джерел енергії.

Предмет дослідження: закономірності, які пов'язують оптимальні значення параметрів комбінованих альтернативних енергетичних установок з геліо- і вітроенергетичними ресурсами Житомирської області

Методи дослідження. Дослідження виконано з використанням загальнонаукових методів пізнання, методів математичного моделювання,

теплотехніки та прикладної фізики. Обробку отриманих даних виконували з використанням графоаналітичного методу.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Мельничук О. В.** Отримання аналітичної залежності між енергетичними характеристиками вітрового потоку і сонячної радіації в умовах житомирської області. Збірник тез *VI-ї* всеукраїнської науково-практичної конференції «*Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь*» 9-10 квітня 2020 року. Житомир : ЖАТК. С. 164-167.

2. **Гончаренко Ю. П., Мельничук О. В.** Комбінована геліовітроваенергетична установка для гарячого водопостачання тваринницьких ферм. Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Мелітополь, 02-27 листопада 2020 р.) Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С. 617-620.

3. **Гончаренко Ю. П., Мельничук О. В.** Використання вітрової енергії для тваринницьких комплексів. IX Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (05-24 жовтня 2020 р.). [Електроний ресурс] – <http://animal-conf.inf.ua/conf.html>.

Практичне значення одержаних результатів. Результати роботи можуть бути впровадженні в підприємствах агропромислового комплексу Житомирської області для забезпечення тепlopостачання будівель, споруд та комплексів.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 22 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 30 сторінок комп'ютерного тексту, містить 3 таблиці і 7 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ТА ВІТРОВОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ СПОЖИВАЧІВ

У сільському господарстві сонячна енергія застосовується для отримання гарячої води, опалення, охолодження, опріснення солоної води, сушки сільськогосподарської продукції, водопідйому, зрошення та в інших технологічних процесах [1-5].

Одним з небагатьох економічно вигідних напрямків використання сонячної енергії в сільському господарстві є гаряче водопостачання і опалення житлових і виробничих приміщень [2-3].

В умовах Англії і Шотландії; де середня за рік щільність потоку сонячного випромінювання складає відповідно 1170 і 750 кВт-год/м², жителі сільської місцевості покривають потребу в тепловій енергії на 40-45% за рахунок сонячної енергії.

Активні сонячні водонагрівальні установки, розміщені на даху житлового будинку і мають акумулюючі ємності на 300-1000 літрів теплої води, широко використовують в сільській місцевості Німеччини та Австрії. За допомогою таких установок сільські жителі покривають потребу в теплій воді в Німеччині взимку на 20%, влітку – до 60%, в Австрії – в період з травня по вересень-до 80-90% [4]. Для обігріву тваринницьких і птахівничих приміщень застосовують плоскі сонячні колектори і різні видозмінені конструкції, в яких в якості теплоносія використовується повітря.

З великої різноманітності технічних рішень сонячного обігріву сільськогосподарських виробничих приміщень найбільшого поширення набули два - це даху-горищне і стінове виконання сонячних колекторів [5].

Дах-горищний варіант сонячного колектора є плоскою конструкцією, теплоприймаюча поверхня якої орієнтується на сонце під певним кутом до

поверхні ґрунту. Для більшого отримання теплової енергії сонця в літні місяці іноді на схилі даху встановлюють додатковий сонячний колектор.

Основною робочою частиною стінових варіантів сонячних колекторів є масивна вертикальна стіна, що споруджується на південній стороні приміщення з забарвленн в чорний колір залізобетонних блоків. На деякій відстані від неї, з боку, зверненої назустріч падаючому сонячному потоку, монтується додаткова стінка з пластмасових прозорих блоків коробчатої конструкції. Кожен з цих блоків має по три отвори: два – на торцевих сторонах і одна – в центрі широкої стінки, напруженої в бік залізобетонної стіни. Як показали випробування, проведені в США, такі геліоустановки дозволяють економити 50-100 літрів пропану на 1 м^2 площі сонячного колектора [6-9].

Певний досвід застосування сонячної енергії для теплопостачання сільськогосподарських споживачів накопичений і в Україні.

Так, в умовах України величина заміщення потреби в енергоресурсах на фермах великої рогатої худоби при використанні геліоустановок становить 19,5-45,8% річного споживання. Основними умовами раціональної експлуатації є застосування колекторів з коефіцієнтом ефективності 0,6 і з оптимальним кутом нахилу панелі до горизонту [10].

Потужна геліосистема гарячого водопостачання в Первомайському районі Криму забезпечує гарячою водою дитячий садок, розвиває теплопродуктивність до $0,74 \text{ Гкал/м}^2$ економить до 0,32 т. у. п. на 1 м^2 геліополя [10].

Досвід експлуатації показав можливість використання геліоустановки для гарячого водопостачання сезонних споживачів. Сонячна установка з травня по вересень забезпечувала гарячою водою технологічні потреби спільно з теплогенератором, що працюють на рідкому паливі. В середньому протягом дня за рахунок сонячної енергії в липні забезпечено близько 80% необхідної теплової енергії, в серпні – 60%. Вода нагрівалася до температури $35...50 \text{ }^\circ \text{C}$; економія палива в середньому склала 100 кг.т./м^2 на рік [10].

Таким; чином, аналіз зарубіжного і вітчизняного досвіду використання геліоустановок для енергопостачання сільськогосподарських споживачів показує, що за рахунок сонячної енергії в залежності від географічного розташування можна економити від 30 до 70% традиційних енергоресурсів.

Енергія вітру знайшла широке застосування в сільському господарстві. Вітроустановки використовуються для приведення в дію агрегатів для підйому води і енергопостачання деяких комунальних об'єктів, для забезпечення енергетичних потреб теплиць, виробництва електричної енергії при спільній роботі з тепловими електростанціями, для отримання водню та в інших цілях.

Одним з перспективних напрямків використання вітрової енергії є застосування вітроагрегатів для цілей теплопостачання тваринницьких комплексів. Використання вітрових електростанцій у складі теплових установок доцільно на невеликих тваринницьких фермах, так як для цих цілей придатні установки малої та середньої потужності, створення яких не представляє особливих складнощів для промисловості. При цьому вони можуть комплектуватися широкою номенклатурою стандартних електротеплових установок, тепловентиляторів і теплогенераторів [11-19].

Для теплових процесів (нагрівання технологічної води та інших середовищ) використовують похідні вітрової енергії – механічну і електричну енергію.

На фермі поблизу Блумфілда (штат Айова, США) з кінця 2006 року експлуатується унікальна установка, для внутрішнього обігріву тваринницького приміщення. Загальна ємність системи водяного опалення становила 2270 літрів. Вода нагрівалася від двох джерел енергії: від вітрової електроустановки – механічним перемішувачем і гарячим повітрям – в теплообміннику типу «вода-повітря». Загальна потужність системи водяного обігріву близько 78 кВт, з них 32% потужності припадає на вітрову електроустановку [20].

З теплових технічних засобів, що використовують енергію вітру, в сільському господарстві переважають резистивні пристрої. Це трубчасті

електричні нагрівачі (ТЕНи), що встановлюються в ємностях з водою (електричні бойлери), або нагрівальні дроти, які закладаються в ґрунт теплиць, в підлоги, що обігріваються і ін.

Практика використання електричних бойлерів, що живляться від вітрових електроустановок, для забезпечення теплового навантаження 2-поверхових 9-кімнатних будинків фермерів штату Айова (США) показує, що використання таких установок дозволяє забезпечувати до 60-70% енергії, що витрачається на нагрівання води.

У Нідерландах де близько 70% тепличних площ, що обігріваються знаходяться в районах з сильними вітрами, власники теплиць використовують для підземного обігрівання електроенергію, що виробляється вітровими електростанціями. Економія енергії досягає близько 30%, що еквівалентно приблизно 400 млн. м³ природного газу.

В останні роки, особливо в країнах, багатих вітроенергетичними ресурсами (Данія, Німеччина, США, Нідерланди та ін.), вітроустановки використовують для електропостачання сільських споживачів, а також з метою отримання додаткових прибутків від її збуту.

У Нідерландах на птахівницьких фермах, розрахованих на 20-25 тис. курей-несучок, де встановлена потужність електрообладнання близько 20 кВт, застосовуються датські вітро-електроустановки з діаметром вітроколеса 10 м і робочим діапазоном швидкостей вітру 4-10 м/с. Середньорічна продуктивність при швидкості вітру 6-6,5 м/с 50 тис. кВт-год [20].

Шотландські фермери використовують для електропостачання своїх господарств вітрові електроустановки потужністю 10 кВт. При швидкості вітру 9-10 м/с така вітроустановка виробляє близько 92 кВт-год електроенергії в день. Окупність установки становить 4-5 років.

У Чехії для електропостачання сільськогосподарських споживачів використовують вітроустановки потужністю від 0,02 до 4000 кВт. Економічно прийнятні ВЕУ можуть забезпечити 3-6% всієї споживаної електроенергії.

Річне виробництво електроенергії на 1 кВт встановленої потужності ВЕУ може становити від 780 кВт-год (при швидкості вітру 4 м/с) до 3200 кВт-год (при швидкості 8 м / с) [20].

У Данії практикується кооперативне володіння вітроустановками. Такий вид власності вважається найбільш прогресивним, ніж одноосібне володіння вітряком. При кооперативному будівництві ВЕУ, як правило мають потужність кількох кіловат, держава надає субсидію в розмірі 14%. Після того, як витрати членів кооперативу окупаються, вони отримують прибуток від продажу електроенергії в місцеву мережу [2].

У Великобританії фермери укладають вигідні контракти з державою на підключення їх ВЕУ до загальних електричних мереж. При цьому окупаємість ВЕУ при витратах приблизно 1000 фунтів стерлінгів за 1 кВт встановленої потужності становить в залежності від місця установки від 5 до 10 років.

Закордоном широко практикується поставка надлишків електроенергії, в загальну електричну систему країни. Постачання електроенергії в національну енергосистему є джерелом додаткових доходів фермерів.

У країнах, де діє така система, введена диференційована за часом система оплати продаваної фермерами електроенергії. Так, в США за відпустк в громадську енергосистему електроенергії в години пікового навантаження (з 8 до 22 години з понеділка по п'ятницю включно) фермер отримує за 1 кВт-год в 2,7 рази більше, ніж в інший час тижня.

Таким чином, вітрова енергія може бути успішно використана в усіх галузях сільськогосподарського виробництва та в сільському побуті. Причому найбільш ефективно застосування ВЕУ знаходять при виробництві теплової енергії для опалення та гарячого водопостачання тваринницьких приміщень, теплиць, житлових і громадських будівель. Економія традиційних енергоресурсів може при цьому досягати 40-60% [21].

У сільському господарстві спільне застосування енергії сонця і вітру поширене менше, ніж роздільне використання цих джерел, хоча

перспективність даного напрямку відзначена в багатьох роботах [1, 2, 3]. Найбільшого поширення комбіновані геліоветроенергетическіе установки (КГВЕУ) отримали за кордоном. Розглянемо деякі приклади їх використання.

В університеті штату Джорджія (США) розроблений проект обігріву пташника енергією різних видів традиційних та альтернативних джерел. За проектом споживач (пташник) підключений за допомогою теплообмінника до водяного резервуару місткістю 4542 літра. Цей резервуар є акумулятором теплоти. Джерелами теплоти для нього служать сонячний колектор і топка, де спалюється біомаса, що мають власні теплообмінники у водяному резервуарі, а також лінія електропередачі та ВЕУ, що живлять електроенергією нагрівальні елементи, які встановлені там же. В результаті досліджень встановлено, що подібні комплекси цілком можуть бути реалізовані і економічно ефективні на молочних фермах для нагрівання технологічної води і охолодження молока [22].

У Кембриджському університеті (Великобританія) були проведені роботи по створенню тепличних споруд, де відбувається постачання електричної енергії від ВЕУ і теплової – від плоского сонячного колектора. У проєктованих теплицях для короткочасного зберігання теплоти передбачені акумулятори. Вони запасують теплоту, відбираючи її надлишки з теплиці. Тривалими хранителями теплоти є водяні акумулятори. Теплову енергію вони отримують від сонячного колектора і від тена, що перетворює електроенергію, яка виробляється ВЕУ [11].

У Німеччині проявляється активний інтерес до використання вітросонячних систем. Досвід експлуатації таких систем для теплопостачання сільських житлових будинків і тваринницьких ферм показує, що надійне постачання тепла і гарячої води може бути досягнуто тільки при застосуванні комбінованих систем, в яких поряд з органічним паливом використовуються сонячні колектори і вітроустановки.

В Японії працює система, що складається з ВЕУ (з трилопатеvim ротором діаметром 8,2 м з номінальною потужністю 8 кВт), сонячної батареї (потужністю 0,5 кВт влітку і 1,5 кВт взимку), дизельного генератора (потужністю 10 кВт з трифазним виходом 200 В), а також акумуляторної батареї ємністю 15 кВт-год. Установка призначена для електропостачання житлового будинку (кондиціонування, холодильник, освітлення і т.д.). Досвід експлуатації системи в зимовому і літньому сезонах при швидкості вітру 3-6 м/с влітку і 5-8 м/с взимку і інтенсивності сонячного випромінювання 4400-4600 ккал/м² влітку і 2200 ккал/м² взимку показує, що частка сонячної енергії в виробленні електроенергії комбінованої установкою склала влітку 64,3%, взимку 28,2%, а ВЕУ – 27,2% влітку і 59% взимку [22].

На Північно-Фризських островах (Нідерланди) з серпня 2007 року експлуатується комбінована вітросонячна установка (ВСУ) з сумарною потужністю 1000 кВт. До складу ВСУ входить ВЕУ фірми Еперсоп потужністю 300 кВт, три ВЕУ HSW-33 з сумарною потужністю 100 кВт і дві фотоелектричні установки з сумарною потужністю 600 кВт. Сумарне річне вироблення енергії склала в 2018 році 1266984 кВт-год, в 2019 році – 1400218 кВт-год [22]. У Україні комбіновані геліоветроенергетическіе установки практично не поширені, але тим не менш, спроби використовувати їх для енергопостачання сільських споживачів були зроблені.

Висновки по першому розділу/

Таким чином, світовий і вітчизняний досвід застосування КГВЕУ в сільському господарстві свідчить про те, що спільне використання сонячної та вітрової енергії дозволяє підвищити надійність енергопостачання споживача в порівнянні з роздільним використанням цих енергоджерел. При цьому забезпеченість споживача в енергії істотно зростає і може досягати 80...90%, в той час як при роздільному застосуванні ГЕУ і ВЕУ цей показник знаходиться на рівні 30...70%.

РОЗДІЛ 2

ОТРИМАННЯ АНАЛІТИЧНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ВІТРОВОГО ПОТОКУ І СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ В УМОВАХ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Наявність тісного кореляційного зв'язку між сонячної і вітрової енергії дозволяє отримати аналітичну залежність, що зв'язує енергетичні характеристики цих джерел між собою. Дана залежність необхідна при дослідженні режиму вироблення енергії КГВЕУ на базі імітаційної моделі з метою вибору її оптимального варіанту. При цьому для практичних розрахунків важливо отримати таку залежність, яка відразу б дозволяла визначати енергетичну характеристику вітрового потоку в робочому діапазоні швидкостей вітру ВЕУ.

Оскільки кореляційний зв'язок між сонячної та вітрової енергії близький до лінійного (про що свідчать високі значення коефіцієнтів кореляції), для математичного опису зв'язку між енергетичними характеристиками цих джерел всередині місяця нами запропонована лінійна залежність виду:

$$V^3 = a \times S + b, \quad (2.1)$$

де V^3 – середній куб швидкості вітру, відповідає тривалості сонячного сяйва S і визначений в робочому діапазоні швидкостей вітру ВЕУ, $\text{м}^3/\text{с}^3$;

S – можлива тривалість сонячного дня, год;

a і b – постійні коефіцієнти.

Для визначення коефіцієнтів a і b залежності (2.1) були використані дані таблиць умовної повторюваності швидкостей вітру. При цьому були розглянуті ВЕУ, що мають робочий діапазон швидкостей вітру 3...25 м/с і розрахункові швидкості вітру 8, 10 та 12 м/с. Зазначені межі швидкостей вітру відповідають технічним характеристикам випускаємих в даний час ВЕУ. Результати

розрахунку коефіцієнтів a і b для різних значень розрахункової швидкості вітру ВЕУ представлені в табл. 2.1-2.2.

Таблиця 2.1 – Значення коефіцієнтів a і b для різних розрахункових швидкостей вітру ВЕУ (ст. Житомир).

Місяць	Розрахункова швидкість вітру, м/с					
	8		10		12.	
	a	b	a	b	a	b
1	-16,61	177	-24,72	243,49	-31,49	294,54
2	-17,92	207,97	-25,04	275,07	-29,74	316,3
3	-5,34	151,25	-7,98	200,85	-9,86	231,81
4	-7,07	188,28	-9,98	244,65	-12,63	285,99.
5	-0,43	139,04	-1,01-	178,16	-1,99:	201,99
6	-2,84	124,65	-4,09	152,56	-4,91:	167,2
7	-3,6	115,96	A26	133,48	-4,41 ⁱ	137,15
8	-2,18	97,88	-3.1	120,08	-3,58:	132,63
9	-6,65	146,67	-8,42	177,54	-9,24	192,69
10	-12,39	205,32	-16,93	266,66	-20,32	304,45
11	-9,33	176,78 >	-11,75	227,85	-12,87	259,27
12	-7,41	140,56	-9,59	183,08	-10,92	210,02

Таблиця 2.2 – Значення коефіцієнтів a і b для різних розрахункових швидкостей вітру ВЕУ (ст. Коростень).

Місяць	Розрахункова швидкість вітру, м/с, м/с					
	8		10		12	
	a	b	a	b	a	b
1	-4,3	69,44	-6,27	86,22	-7,88	97,659
2	-4,1	74,78	-6,04	93,69-	-7,62	107,06
3	-5,38	94,39	-7,42	118,14	-8,44.	128,63
4	-2,65	109,35,	-3,67	136,87	-4,26	151,12
5	-2,66-	110,36	-4,31	139,94	-5,99	161,31
6	-2,3	86,69	-2,57	96,23	-2,61	97,7
7	-2,17	63,31	-2,61	70,96	-2,72	72,6
8	-2,37	64,15	-2,78	70,61	-2,85	71,56
9	-3,11	82,49	-4,57	99,94	-5,27	106,65
10	-4,61	99,33	-5,76	119,01	-6,25	127,45
11	-3,79	81,16	-6,24-	101,73	-7,8	112,94
12	-5,66	68,82	-8,22	86,67	-9,78	95,54

Аналіз таблиць 2.1-2.2 показує, що значення коефіцієнтів a і b істотно залежать від розрахункової швидкості вітру ВЕУ. Зі збільшенням останньої відбувається зростання коефіцієнтів a і b . З аналізу таблиць 2.1-2.2 також випливає, що значення коефіцієнтів a і b для зимового періоду в цілому вище, ніж значення аналогічних коефіцієнтів для літнього періоду, що обумовлено сезонною нерівномірністю надходження вітрової енергії.

Для наочного уявлення про характер залежності коефіцієнтів a і b від розрахункової швидкості вітру на малюнках 2.1-2.2 наведені відповідні графіки. Графіки побудовані на прикладі одного місяця (січень), оскільки в інші місяці графіки мають аналогічний характер.

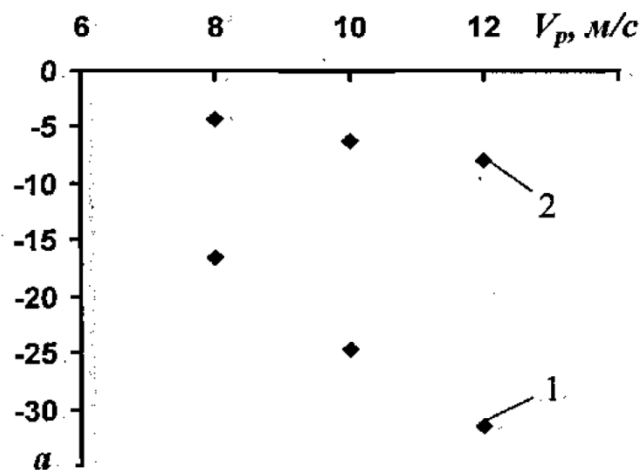


Рис. 1.1. Залежність коефіцієнта a від розрахункової швидкості вітру V_p (1 – ст. Житомир; 2 – ст. Коростень).

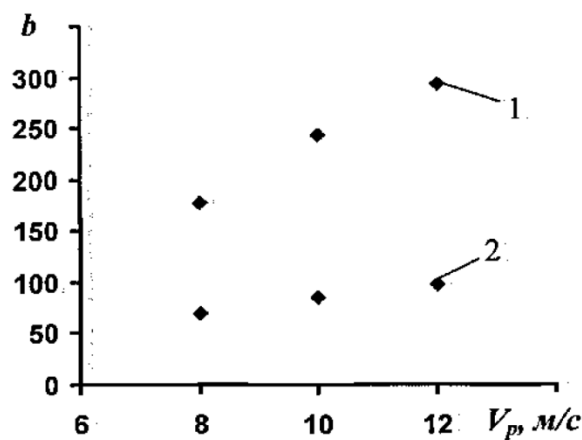


Рис. 1.2. Залежність коефіцієнта b від розрахункової швидкості вітру V_p (1 – ст. Житомир; 2 – ст. Коростень).

З аналізу графіків, представлених на малюнках 2.1-2.2 випливає, що коефіцієнти a і b лінійно залежать від розрахункової швидкості вітру ВЕУ. Тому для математичного опису зв'язку даних коефіцієнтів з розрахунковою швидкістю вітру ВЕУ нами запропоновані лінійні залежності виду

$$a = -\kappa_1 \times V^3 + \kappa_2; \quad (2.2)$$

$$b = \kappa_3 \times V^3 + \kappa_4, \quad (2.3)$$

де $\kappa_1, \kappa_2, \kappa_3$ і κ_4 – постійні коефіцієнти (табл. 2.3);

V_p – розрахункова швидкість вітру ВЕУ, м / с.

Таблиця 2.3 – Параметри залежностей (2.2) і (2.3) (I – Житомир; II – Коростень).

Місяць	κ_1		κ_2		κ_3		κ_4	
	I	II	I	II	I	II	I	II
1	3,72	0,90	12,93	2,80	29,39	7,05	-55,51	13,89
2	2,96	0,88	5,32	2,88	27,08	8,07	-4,38	11,14
3	1,13	0,77	3,57	0,57	20,14	8,56	-6,76	28,12
4	1,39	0,40	4,01	0,50	24,43	10,44	-4,63	28,02;
5	0,39	0,83	2,76	4,00	15,74	12,74	15,69	9,83
6	0,52	0,08	1,23	-1,72	10,64	2,75	41,76	66,02
7	0,20	0,14	-2,07	-1,13	5,30	2,32	75,89	45,73
8	0,35	0,12	0,55	-1,47	8,69	1,85	29,99	50,25
9	0,65	0,54	-1,63	1,08	11,50	6,04	57,25	35,96
10	1,98	0,41	3,28	-1,44	24,78	7,03	10,99	44,96
11	0,89	1,00	-2,47	4,08	20,62	7,94	15,07	19,16
12	0,88	1,03	-0,53	2,4 И	17,37	6,68	4,24	16,88

Залежності (2.2) - (2.3) є узагальненням даних і дозволяють спростити визначення параметрів a і b для ВЕУ, що мають різні розрахункові швидкості вітру.

На рис. 2.3 представлено порівняння енергетичних характеристик вітрового потоку в робочому діапазоні швидкостей вітру ВЕУ, отриманих з використанням таблиць з аналогічними характеристиками, отриманими розрахунком по залежності (2.1). Закономірності однотипні, але в літній період значно менші значення величин швидкості вітру.

Для порівняння результатів в якості базової була прийнята ВЕУ, що має робочий діапазон швидкостей вітру 3...25 м/с і розрахункову швидкість 12 м/с. Вибір ВЕУ з такими характеристиками пояснюється тим, що вона має найбільше поширення в світовій вітроенергетиці.

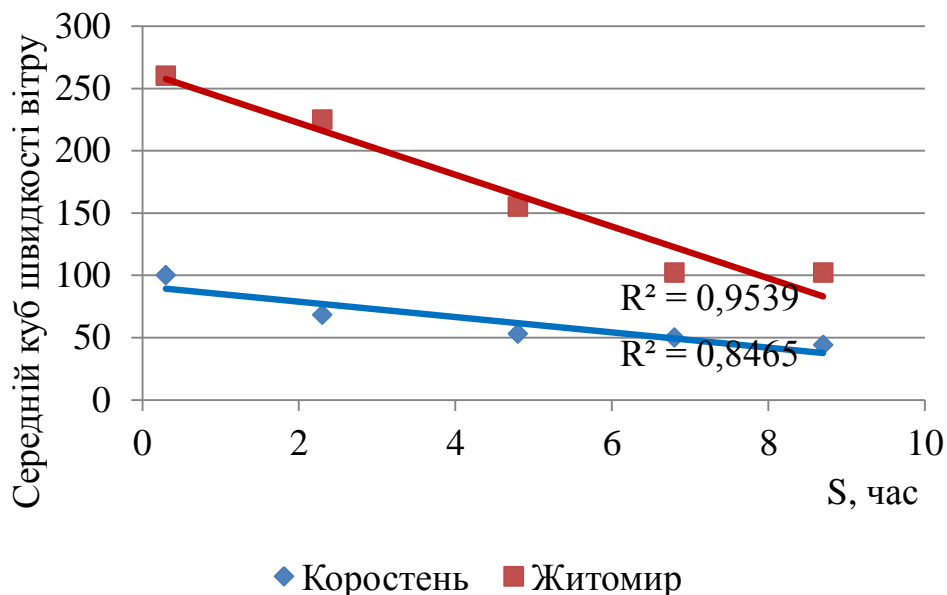


Рис. 2.3. Порівняння енергетичних характеристик вітрового потоку, отриманих за таблицями умовної повторюваності швидкостей вітру і розрахунком по залежності (2.1) в січні.

З аналізу рис. 1.3 випливає, що залежність (2.1) досить добре описує закономірність. Результати розрахунку коефіцієнтів детермінації показали, що ступінь наближення значень, отриманих розрахунком по залежності (2.1), до значень, отриманих за таблицями умовної повторюваності швидкостей вітру, становить 70...90%. Це говорить про достатню адекватність запропонованої залежності і можливості її використання для дослідження режиму роботи

КГВЕУ на ЕОМ. Аналогічні результати були отримані для розрахункових швидкостей вітру ВЕУ 8 і 10 м/с.

Слід зазначити, що залежність (2.1) справедлива тільки для тих районів, які однорідні по вітровому і радіаційного режиму з районами, розташованими поблизу метеостанцій Коростень і Житомир.

Висновки по розділу 2

Запропоновано аналітичну залежність, що дозволяє зв'язати енергетичну характеристику вітрового потоку з енергетичною характеристикою сонячної радіації в робочому діапазоні швидкостей вітру ВЕУ. Достовірність залежності становить 70...90%, що дозволяє її використовувати при моделюванні роботи КГВЕУ на ПК і в тих випадках, коли інформація про режим спільного надходження сонячної та вітрової енергії відсутня.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА СХЕМИ КОМБІНОВАНОЇ ГЕЛІОВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

З ростом потреб агропромислового комплексу в енергоресурсах, постійним ростом цін на електричну енергію та органічне паливо, а також негативним впливом традиційної енергетики на навколишнє середовище гостро постає потреба в пошуку альтернативних джерел енергії. Одним із шляхів вирішення даної проблеми є використання в системі енергопостачання сільськогосподарських підприємств комбінованої (сонячної та вітрової) енергетичної установки.

Недоліком роздільного використання геліоенергетичної установки та вітроенергетичної установки є низька надійність енергопостачання споживача, обумовлена нерівномірністю надходження сонячної та вітрової енергії. Для підвищення надійності необхідно застосовувати комбіновані геліовітроенергетичні установки.

Ефективність застосування комбінованих систем суттєво залежить від схемного рішення, за яким вони реалізовані. Саме тому пріоритетним напрямком в галузі спільного використання сонячної та вітрової енергії є розробка схем комбінованих геліовітроенергетичних установок, що забезпечить ефективне перетворення енергії даних джерел.

Аналіз відомих схем комбінованих геліовітроенергетичних установок показав, що вони мають один суттєвий недолік: в періоди максимального приходу сонячної і вітрової енергії в процесі її роботи виникають надлишки енергії, які не використовуються споживачем і розсіюються в навколишнє середовище. Це призводить до зниження ККД перетворення сонячної та вітрової енергії і як наслідок, до підвищення собівартості теплової енергії, одержуваної від комбінованих геліовітроенергетичних установок.

З метою підвищення ефективності перетворення сонячної та вітрової енергії в тепло нами розроблена принципово нова схема комбінованої геліовітроенергетичної установки для гарячого водопостачання (рис. 3.1).

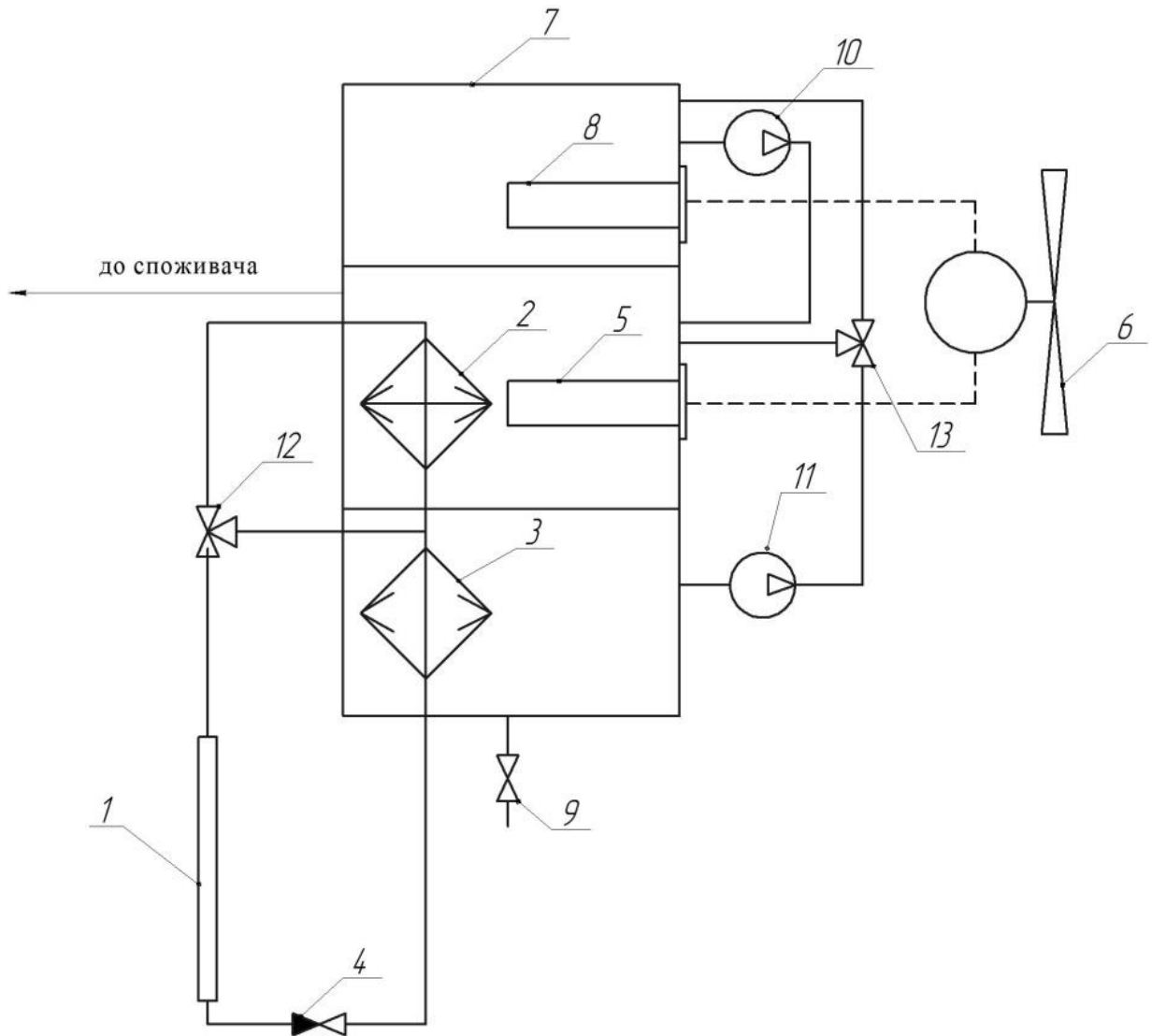


Рис. 3.1. Схема комбінованої геліовітроенергетичної установки для гарячого водопостачання: 1 – сонячні колектори; 2 – основний теплообмінник геліоустановки; 3 – додатковий теплообмінник геліоустановки; 4 – зворотній клапан; 5 – основний електронагрівач вітроустановки; 6 – вітроустановка; 7 – бак-акумулятор; 8 – додатковий електронагрівач вітроустановки; 9 – клапан; 10, 11 – насоси; 12, 13 – триходові клапани.

Основною перевагою даної схеми перед існуючими аналогами є можливість акумулювання певної частини надлишків теплової енергії, що виникають в періоди максимальної інтенсивності сонячної радіації і (або) енергії вітрового потоку, і їх ефективне використання в похмурі і (або) безвітряні дні. Акумулювання надлишків теплової енергії здійснюється у верхній і нижній секціях бака-акумулятора після того як зарядиться середня (споживча) секція. Така конструкція бака-акумулятора дозволяє підвищити забезпеченість споживача тепловою енергією і тим самим знизити її собівартість.

Схема працює в такий спосіб. Теплоносій, нагрітий під дією сонячної радіації в колекторах 1, надходить в основний теплообмінник 2 і повертається назад через додатковий теплообмінник 3 і зворотний клапан 4. Одночасно з цим (при достатній енергії вітрового потоку) основний електронагрівач 5, пов'язаний з вітроустановкою 6, виробляє теплову енергію. У разі якщо температура води в середній секції бака-акумулятора 7 стане рівною температурі теплоносія на виході з колекторів 1, останні переходять на нагрів води виключно в нижній секції.

При нагріванні води в середній секції бака-акумулятора 7 до необхідної температури відбувається перемикавання вітроустановки 6 на нагрів води у верхній секції, а також колекторів 1 на нагрів води в нижній секції. При повній зарядці верхньої і нижньої секцій бака-акумулятора 7 відбувається відповідно відключення вітроустановки 6 від додаткового електронагрівача 8 і колекторів 1 від додаткового теплообмінника 3.

У процесі споживання гарячої води з середньої секції бака-акумулятора 7 поповнення її новою порцією води проводиться з тієї секції, в якій; знаходиться вода з більш високою температурою. Нова порція холодної води надходить в нижню секцію бака-акумулятора 7 через клапан 9, а з неї за допомогою насосів 10 і 11 – в інші секції.

При розробці проекту пропонованої схеми комбінованої установки обсяг середньої секції бака-акумулятора завжди слід приймати рівним добовій потребі в гарячій воді. Дещо складніше справа йде з верхньою та нижньою секціями бака-акумулятора, так як їх обсяг істотно залежить від величини надлишків енергії, що виникають в процесі роботи установки. В свою чергу, надлишки теплової енергії при інших рівних умовах залежать від періоду року і співвідношення параметрів схеми.

Для визначення місяця, в якому виникають найбільші надлишки енергії, був проаналізований режим вироблення теплової енергії КГВЕУ, реалізованої за схемою рис 3.1, всередині кожного місяця року. При аналізі добова потреба в гарячій воді умовно була прийнята рівною 100 літрам. В результаті аналізу було встановлено, що при однакових значеннях основних параметрів схеми найбільші надлишки енергії виникають в окрему добу травня, коли сонце світить 14 годин і більше (рис. 3.2).

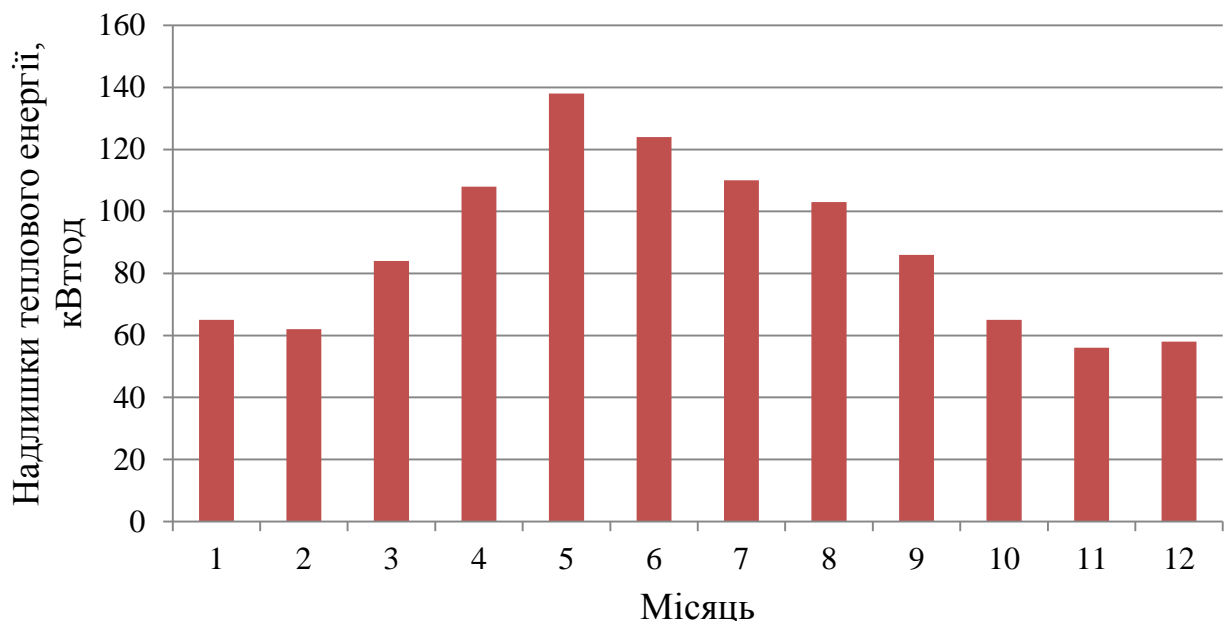


Рис. 3.2 Внутрішньорічний розподіл найбільших надлишків теплової енергії, що виникають в процесі роботи КГВЕУ, реалізованої за схемою рис. 3.1.

В умовах цієї доби на ПК моделювалася робота КГВЕУ при різних співвідношеннях основних параметрів. В результаті для другої і третьої

вітрових зон Житомирської області були отримані аналітичні вирази для розрахунку необхідного обсягу верхньої та нижньої секцій бака-акумулятора в залежності від основних параметрів КГВЕУ. Дані вирази дозволяють оцінити обсяг секцій, розрахованих для акумуляції надлишків теплової енергії при температурі гарячої води 60°C .

На рис. 3.3 і 3.4 представлені залежності, що відображають вплив на обсяг нижньої і верхньої секцій бака-акумулятора основних параметрів схеми. Залежності побудовані на прикладі другої вітрової зони для добової потреби в гарячій воді 100 літрів.

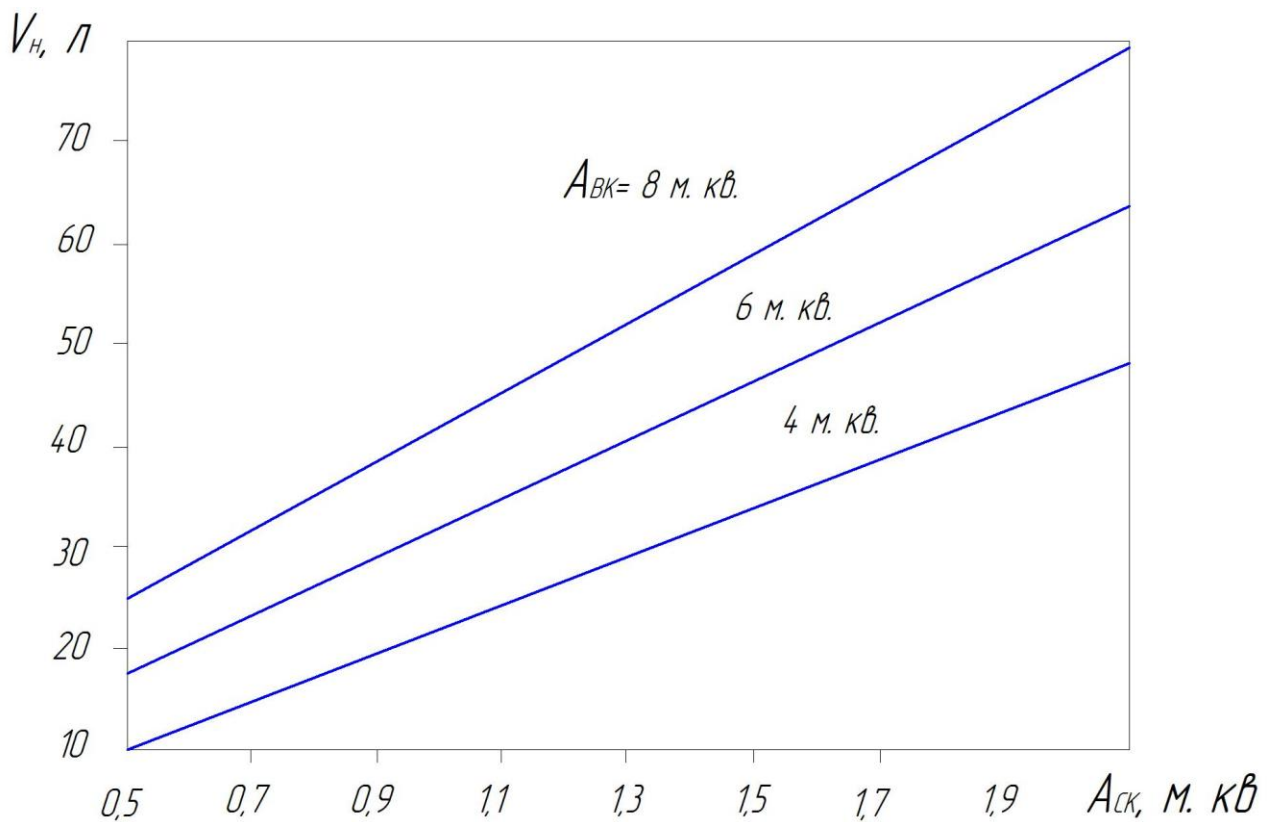


Рис. 3.3. Залежність обсягу нижньої секції бака-акумулятора від площі сонячних колекторів при різних значеннях площі вітроколеса.

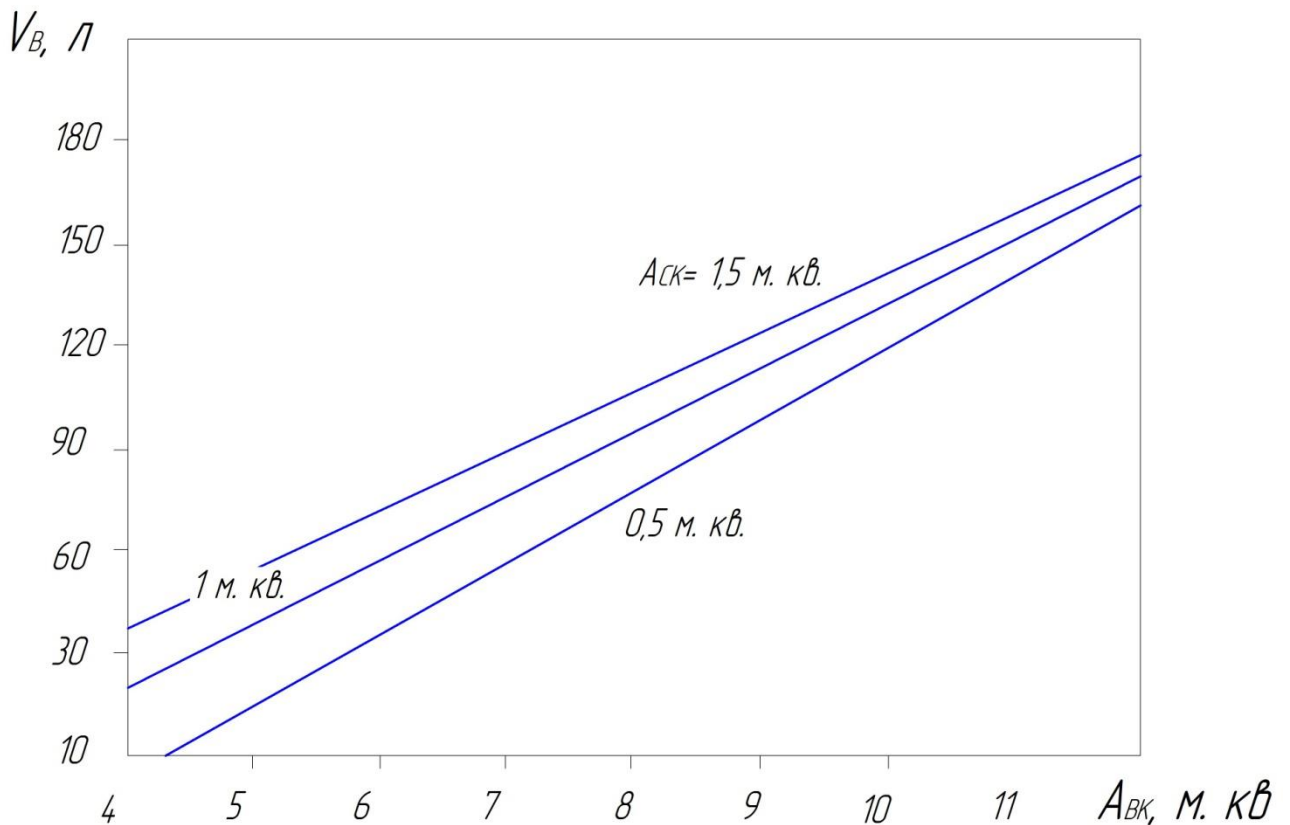


Рис. 3.4. Залежність обсягу верхньої секції бака-акумулятора від площі вітроколеса при різних значеннях площі сонячних колекторів.

За рис. 3.3-3.4 можна не тільки оцінити обсяг верхньої та нижньої секцій бака-акумулятора, але і легко визначити доцільність встановлення кожної з них. Так, наприклад, якщо при певних значеннях параметрів $A_{СК}$ і A_{BK} обсяг нижньої секції бака-акумулятора вийшов негативним або близьким до нуля, то установка цієї секції недоцільна.

Може вийти так, що величина обох секцій бака-акумулятора мізерно мала або негативна. У цьому випадку застосування схеми, представленої на малюнку 3.1, взагалі не має сенсу, оскільки надлишки теплової енергії, що виникають в процесі роботи схеми КГВЕУ, занадто малі або їх немає зовсім.

Розрахунки показали, що застосування запропонованої схеми КГВЕУ в порівнянні з існуючими схемами КГВЕУ дозволяє при однакових значеннях основних параметрів підвищити річний коефіцієнт заміщення на 10-20%. Однак для цього необхідно понести додаткові витрати, пов'язані з установкою верхньої і нижньої секцій бака-акумулятора. Тому остаточний висновок про

ефективність запропонованої схеми можна зробити тільки після порівняння економічних показників різних схем КГВЕУ.-

Для забезпечення найбільшої ефективності схеми КГВЕУ, представленої на рис. 3.1, необхідно оптимізувати її основні параметри, до яких відносяться площа сонячних колекторів і обтікаєма площа вітроколеса. Оскільки в запропонованій схемі КГВЕУ за рахунок використання додаткових секцій бака-акумулятора ГЕУ і ВЕУ виробляють стільки ж енергії, скільки і при ізольованій роботі, оптимізація параметрів даної схеми КГВЕУ нічим не відрізняється від оптимізації окремо застосовуваних ГЕУ і ВЕУ

Висновки по розділу 3

В результаті аналізу режиму вироблення теплової енергії традиційної (однобаковою) схемою КГВЕУ встановлено, що в періоди максимальної інтенсивності сонячної радіації і енергії вітрового потоку при її роботі виникають надлишки теплової енергії, які не використовуються споживачем і губляться в навколишнє середовище. Для підвищення ефективності перетворення сонячної та вітрової енергії в тепло нами запропонована принципово нова схема КГВЕУ, що забезпечує в порівнянні з традиційною (однобаковою) схемою КГВЕУ приріст річного коефіцієнта заміщення на 10-20%.

ВИСНОВКИ

На основі аналізу світового та вітчизняного досвіду використання сонячної та вітрової енергії встановлено, що найбільш перспективним напрямком застосування цих джерел енергії в сільському господарстві є отримання теплової енергії. При цьому економія традиційних енергоресурсів може досягати 30-90%.

В умовах Житомирської області між енергетичними характеристиками вітрового потоку і сонячної радіації існує тісний кореляційний зв'язок (коефіцієнт кореляції становить не менше 0,8). Кореляція негативна за знаком, тобто збільшення приходу сонячної енергії супроводжується зменшенням приходу вітрової енергії, і навпаки. У зв'язку з цим для надійнішого теплопостачання сільськогосподарських споживачів з використанням сонячної та вітрової енергії необхідно застосовувати КГВЕУ.

Встановлено аналітичну залежність, що дозволяє з достовірністю 70-90% зв'язати енергетичну характеристику вітрового потоку з тривалістю сонячного сяйва в робочому діапазоні швидкостей вітру ВЕУ. Дана залежність є основоположною при виборі раціональної схеми енергопостачання з використанням КГВЕУ.

Для підвищення ефективності перетворення сонячної та вітрової енергії в тепло запропонована принципово нова схема КГВЕУ, що забезпечує в порівнянні з існуючими схемами приріст річного коефіцієнта заміщення на 10-20%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Патон Б. Є. Умови ефективного застосування сонячних електроенергетичних систем. *Вісник НАН України*. 2012. № 3. С. 48-58
2. Розроблення наукових засад формування комбінованої системи використання поновлювальних джерел енергії в сільськогосподарському виробництві :звіт про НДР (проміжний). УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого; наук. керівник В.С. Таргоня. Дослідницьке, 2009. 75 с.
3. Провести дослідження і розробити пропозиції по впровадженню нетрадиційних джерел енергії для енергозабезпечення тваринницьких ферм : звіт про НДР (проміжний). УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого; наук. керівник В.А. Ясенецький. Дослідницьке, 2000. 41 с.
4. Перехід України на відновлювану енергетику до 2050 року / за ред. Ю. Огаренко та О. Алієвої. Київ : Вид-во ТОВ «АРТ КНИГА», 2017. 88 с.
5. Стан і перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні : аналіт. доп. / за ред. О. М. Суходолі. Київ : НІСД, 2013. 104 с
6. Челіжко В. Безперспективна стратегія для альтернативної енергетики. *Уряд. кур'єр*. 2012. 26 лип. (№ 132) 4 с.
7. Прокіл А. Сучасні підходи до енергозабезпечення людства в умовах формування суспільства сталого розвитку. *Економіка України*. 2012. № 5. С. 85-91.
8. Цивенкова Н. М. Альтернативні джерела енергії: чи врятують вони Україну від енергетичної залежності та екологічної катастрофи? *Вісник ДАЕУ*. 2008. № 1. С. 374-382.
9. Lewandowski W. M. Proekologiczne źródła energii odnawialnej. Warszawa : Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, 2004. 253 s.
10. Шульжик Ю. О. Перспективи використання нетрадиційних видів палива і енергії в Україні. *Нетрадиційні і поновлювані джерела енергії як*

альтернативні первинним джерелам енергії в регіоні : матеріали II наук.-практ. конф. Львів, ЛьвівЦНТЕІ, 2003. С. 26-30.

11. Семкин Б. В., Стальная М. И., Свит П. П. Использование возобновляемых источников энергии в малой энергетике. *Теплоэнергетика*. 1996. № 2. С. 6–7.

12. Ильин А. К., Шишкин Н. Д. Автономные теплоэнергетические комплексы (структура, характеристики, эффективность). – Ростов н/Д: ЮНЦ РАН, 2004. – 116 с.

13. Лукутин, Б. В. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями : учеб. пособие . Томск: Томский политехн. ун-т, 2015. –127 с.

14. Кундас С. П. Гибридные технологии в использовании возобновляемых источников энергии. *Энергоэффективность*. 2012. № 2. С. 19-23.

15. Шишкин Н. Д., Манченко Е. А. Оценка эффективности экологически чистой комбинированной солнечно-ветровой установки для туристического комплекса. *Экология и безопасность жизнедеятельности: материалы Междунар. конф.* Астрахань, АГТУ, 2010. С. 84–89.

16. Решение энергоэффективности и использование возобновляемых источников энергии в Республике Беларусь / Минск: Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь, 2011. 8 с.

17. Ганелин А. М. Экономия электроэнергии в сельском хозяйстве. Москва : Колос, 1983. 141 с.

18. Жесан Р. В. Автоматизація управління автономним енергопостачанням з використанням відновлювальних джерел енергії в умовах селянського (фермерського) господарства: Дис... канд. техн. наук: 05.13.07. Кіровоградський державний технічний університет. 2001. 207 с.

19. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. Схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 1071 [Електронний ресурс] // Офіційний сайт Міністерства енергетики та вугільної промисловості України. 156 с. Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50358>

20. Гелетука Г. Г. Возобновляемые источники энергии в Украине: стимулы и барьеры. *Промышленная теплотехника*. 2015. №5. Т. 34. С. 58-63.

21. Денисюк С. П. Принципи побудови автономних систем енергопостачання на базі нетрадиційних джерел енергії. *Новітні технології в сфері нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії*. 1999. №2. С. 39-42

22. Лукутин, Б. В. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении : монографія. Москва : Энергоатомиздат, 2008. 231 с.