

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

До захисту
Допускається
В.о. завідувача кафедри

Олександр ЮРЧЕНКО

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження особливості використання відновлювальних джерел енергії для умов Сумської області»

Виконав

(підпис)

Сергій ДІДЕНКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Група:

ЕТЕС 2401м

Науковий керівник:

(підпис)

Андрій ЧЕПІЖНИЙ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент:

(підпис)

Олена ДОВЖИК

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

енергетики та електротехнічних систем

Андрій ЧЕПІЖНИЙ

«5» вересня 2024 року

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу

Сергій ДІДЕНКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Дослідження особливості використання відновлювальних джерел енергії для умов Сумської області.
2. Керівник кваліфікаційної роботи: Чепіжний Андрій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент.
3. Строк подання здобувачем роботи: «14» листопада 2025 року.
4. Вихідні дані до роботи: паспортні дані сонячних панелей, вітряків та додаткового обладнання електростанцій, правила улаштування електроустановок, правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів, нормативні документи для проведення досліджень, стандарти.
5. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. 1. Загальні відомості про особливості ВДЕ. 2. Обґрунтування та пропозиції вибору необхідного обладнання для ВДЕ приватного домогосподарства. 3. Загальна компоновка джерела живлення ВДЕ та аналіз особливостей її роботи. 4. Охорона праці. 5. Економічне обґрунтування. Висновки та пропозиції. Список використаних джерел. Додатки.
6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Презентація

Керівник роботи:

(підпис)

Андрій ЧЕПІЖНИЙ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Сергій ДІДЕНКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата отримання завдання «5» вересня 2024 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів	Примітка
1	Збір інформації про особливості використання ВДЕ	до 02.08.2025 р.	
2	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 16.08.2025 р.	
3	Складання плану роботи	до 21.08.2025 р.	
4	Написання вступу	до 24.08.2025 р.	
5	Підготовка розділу «Розділ 1. Загальні відомості про особливості ВДЕ»	до 30.08.2025р.	
6	Підготовка розділу «Розділ 2. Обґрунтування та пропозиції вибору необхідного обладнання для ВДЕ приватного домогосподарства»	до 19.09.2025 р.	
7	Підготовка розділу «Розділ 3. Загальна компоновка джерела живлення ВДЕ та аналіз особливостей її роботи»	до 03.10.2025 р.	
8	Підготовка розділу «Розділ 4. Охорона праці»	до 08.10.2025 р.	
9	Підготовка розділу «Розділ 5. Економічне обґрунтування»	до 20.10.2025 р.	
10	Написання висновків та пропозицій	до 25.10.2025 р.	
11	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 01.11.2025 р.	
12	Подання роботи на рецензування	до 07.11.2025 р.	
13	Подання до попереднього захисту	до 14.11.2025 р.	

Керівник роботи:

(підпис)

Андрій ЧЕПІЖНИЙ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Сергій ДІДЕНКО

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

Діденко Сергій Михайлович «Дослідження особливості використання відновлювальних джерел енергії для умов Сумської області».

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки за освітньою програмою «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025.

В роботі виконано аналіз споживання електроенергії приватним будинком для визначення можливості використання різних джерел ВДЕ для забезпечення можливості подолання «блекаутів».

Виконано аналіз найбільш розповсюджених варіантів ВДЕ, що доступні на території Сумської області. Обрано для аналізу найбільш ефективні варіанти, що можна використовувати для умов приватних господарств.

Наведено вибір основного обладнання, що найбільш підходить для умов приватних домогосподарств Сумської області. Виконано аналіз особливостей роботи даного обладнання, з визначенням можливого забезпечення електроенергією в випадку виникнення «блекаутів».

Виконано економічне обґрунтування використання ВДЕ для приватних домогосподарств. Також наведено заходи з охорони праці при виконанні всіх робіт при реалізації електропостачання від ВДЕ.

Ключові слова: сонячна панель, приватне домогосподарство, споживання, вітрогенератор, сонячне опромінення, акумулятор, заряд, окупність.

ABSTRACT

Didenko Serhii Mykhailovych «Study of the features of the use of renewable energy sources for the conditions of the Sumy region».

Qualification work for obtaining a master's degree in electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics under the educational program «Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics» in specialty 141 «Electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics». Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025.

The work analyzes the electricity consumption of a private house to determine the possibility of using various sources of renewable energy to ensure the ability to overcome «blackouts».

The most common options for renewable energy available in the Sumy region are analyzed. The most effective options that can be used for the conditions of private households are selected for analysis.

The choice of basic equipment that is most suitable for the conditions of private households in the Sumy region is presented. The features of the operation of this equipment are analyzed, with the determination of the possible provision of electricity in the event of «blackouts».

An economic justification for the use of renewable energy sources for private households has been completed. Occupational safety measures for all work carried out during the implementation of electricity supply from renewable energy sources are also provided.

Keywords: solar panel, private household, consumption, wind generator, solar irradiation, battery, charge, payback.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОСОБЛИВОСТІ ВДЕ.....	10
1.1 Аналіз ВДЕ можливих для використання в умовах Сумської області.....	10
1.2 Опис особливостей приватних домогосподарств Сумської області.....	13
1.3 Аналіз особливостей електропостачання приватних домогосподарств для реалізації електропостачання від ВДЕ.....	14
Висновки до розділу.....	17
2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ВИБОРУ НЕОБХІДНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВДЕ ПРИВАТНОГО ДОМОГОСПОДАРСТВА.....	19
2.1 Обґрунтування необхідності ВДЕ при існуючій схемі електропостачання приватного домогосподарства.....	19
2.2 Вибір обладнання для джерела живлення приватного домогосподарства ВДЕ.....	24
Висновки до розділу.....	30
3 ЗАГАЛЬНА КОМПОНОВКА ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ВДЕ ТА АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЇЇ РОБОТИ.....	31
3.1 Визначення необхідної кількості сонячних панелей.....	31
3.2 Аналіз особливостей використання ВЕ.....	34
3.3 Обґрунтуванням вибору іншого обладнання ВДЕ.....	37
Висновки до розділу.....	41
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	42
Висновок до розділу.....	44
5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	45
Висновок до розділу.....	48
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	49
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	51
ДОДАТКИ.....	54

ВСТУП

Актуальність теми. Сумська область сьогодні знаходиться в доволі складній ситуації. По-перше складність електропостачання полягає в значному руйнуванні системи електропостачання різних об'єктів промисловості, а також домашніх господарств приватного типу. Це пов'язано з розміщенням поруч з країною агресором, що постійно обстрілює енергетику області та всі можливі об'єкти.

По-друге існуюча система електропостачання є доволі застарілою та має низькі показники надійності. Результатом цього є постійні ремонтні роботи на лінії електропередачі. Відповідно до цього спостерігаються значні відключення в часових проміжках.

Сумарний ефект від всіх факторів негативного впливу на систему електропостачання об'єктів приватного домогосподарства, промисловості, різних житлових багатоквартирних будинків дає максимальний ефект, що сприяє перевантаженню системи електропостачання та виникненню «блекаутів». Все це приводить до значної шкоди, що наноситься різним сферам діяльності в області.

Загалом використання ВДЕ в умовах Сумської області є затрудненим з точки зору їх ефективності. Вироблення значних об'ємів електроенергії ВДЕ не можливе в умовах області через низку причин. Ефективне використання вітроенергоустановок (ВЕ) є неможливим оскільки фактично відсутня необхідна швидкість вітру на території області та є доволі велика кількість перешкод, що також зменшують ефективність повітряних потоків.

Найбільш ефективним для області є використання сонячних електростанцій (СЕ). Хоча даний напрям у ВДЕ також має певні обмеження. Першочергово кількість сонячної радіації є значно меншою в порівнянні зі східними регіонами України. Також фактично відсутні значні площі для розміщення великої кількості сонячних панелей (СП), що не будуть затінятись чи матимуть оптимальні параметри роботи. Іншим складним моментом є їх побудова в умовах військових дій.

Загалом використання ВДЕ, а саме СЕ в умовах Сумської області є ефективним фактично для приватних домогосподарств, що мають можливість розміщення необхідної кількості панелей. Даний напрям в електрозабезпеченні приватних домогосподарств можливий фактично лише для нетривалого подолання відсутності електропостачання.

При цьому в літні періоди такі системи дозволяють отримувати значну кількість електроенергії, яку можна продавати в електричну мережу, а отже вирішувати питання в підтримці генерування електричної енергії в регіоні.

Виходячи з такої постановки задачі досліджувана нами тема є актуальною та потребує подальшого розгляду особливо з врахуванням ведення постійних військових дій. Особливістю дослідження також є постійна зміна кліматичних умов в регіоні, що супроводжується значними температурами та збільшенням рівня сонячної радіації в певні періоди.

Аналіз стану наукової розробки проблеми. На сьогодні доволі велика кількість вітчизняних та зарубіжних науковців досліджують напрям відновлювальної енергетики та надають обґрунтування використання ВДЕ для різних об'єктів, в тому числі і для приватних домогосподарств.

Мета та задачі досліджень. Основною метою дипломної роботи є визначення особливостей використання різних типів ВДЕ в умовах зміни клімату та проходження бойових дій в Сумській області.

Вирішення поставленої мети нашого дослідження потребує розв'язання задач, що пов'язані з:

- аналізом різних типів ВДЕ, що є найбільш ефективними в умовах Сумської області;
- вибором найбільш ефективного джерела електропостачання приватних домогосподарств, а також підбір необхідного обладнання для їх роботи;
- визначенням показників ефективності роботи обраного джерела ВДЕ для заданих умов.

Об'єкт дослідження. Загалом основним об'єктом дослідження є ВДЕ, що можна ефективно використовувати для електропостачання в умовах кліматичних змін та проходження бойових дій в Сумській області.

Предмет дослідження. Основним предметом дослідження є показники роботи ВДЕ в умовах приватних домогосподарств Сумської області.

Завдання дослідження. Основне завдання дослідження полягає в визначенні ефективності використання ВДЕ для домогосподарств Сумської області.

Методи дослідження. Методи, що можливо використовувати при проведенні подібних досліджень ґрунтуються на математичних розрахунках та моделюванні процесів, а також на аналізі основних баз даних результатів.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота містить 5 розділів, 3 додатки, 9 таблиці, 13 рисунків, 27 джерел.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОСОБЛИВОСТІ ВДЕ

Найбільшій популярності на території Сумської області ВДЕ набули для приватних домогосподарств, що мають достатню та необхідну територію для розміщення СП чи ВЕ. При цьому враховуються особливості споживання електричної енергії та можливість доступності до електричних мереж для подальшого продажу електричної енергії в мережу.

1.1 Аналіз ВДЕ можливих для використання в умовах Сумської області

Станом на сьогодні доволі поширеними ВДЕ на території Сумської області найбільш розповсюдженими є фактично два типи:

- сонячна електроенергетика;
- вітроенергетика.

Не менш розповсюдженими є і використання різного роду комбінацій вищенаведених типів ВДЕ. Для подальшого розгляду особливостей використання ВДЕ пропонується провести загальний аналіз та навести компоновку кожного з типів даних джерел електропостачання.

Загалом найбільш розповсюдженим типом ВДЕ на території Сумської області є різного роду СЕ, з можливістю акумулювання електроенергії та продажу її в електричні мережу. Загальний вигляд схеми такої СЕ наведено на рисунку 1.1. Необхідно зазначити, що умови війни викликали потребу в забезпеченні різних об'єктів домогосподарювання електроенергією, а отже власники встановлюють не лише даний тип СЕ. При цьому можуть використовуватись СП для певного конкретного споживача в домогосподарстві. Також доволі часто розглядається питання акумулювання електроенергії без будь якого продажу її в мережу, тобто в якості системи резервного живлення.



Рисунок 1.1 – Загальна схема СЕ мережевого типу

В таких електростанціях (рис. 1.1) енергія отримана від СЕ, через інвертор подається для споживання електричним приладам приватного домогосподарства. Надлишок електроенергії (за умови його наявності) продається в мережу, а при недостатньому виробітку електричної енергії СП електроприлади споживають електроенергію з мережі електропостачання. Сонячна енергетика є доволі ефективною для умов області, а отже є більш розповсюдженою. Доступ до ринку різноманітних СЕ на території Сумської області та проведення монтажу знаходиться на доволі високому рівні. А отже придбання їх не є значною проблемою для власників приватних домогосподарств.

Схожу схему має електропостачання від ВЕ. Загальна схема електропостачання від якої наведена на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Загальна схема ВЕ

Схема електропостачання приватного домогосподарства від ВЕ є схожою з електропостачанням від СП. Хоча необхідно звернути увагу, що вітроенергетика є малоефективною в умовах Сумської області, або взагалі є неефективною. Також вітроенергетика має ряд проблем, що унеможливають ефективне використання в умовах щільної забудови та неможливе через ряд впливів на живі організми, в тому числі і на людину.

Окрім низької ефективності ВЕ мають значний рівень шуму та вібрації, а отже фактично унеможливує їх використання для приватних домогосподарств Сумського регіону.

На сьогодні не менш ефективними є комбіновані системи ВДЕ, що ґрунтуються на базі СП з використанням ВЕ. Загальна схема комбінованої електростанції наведена на рисунку 1.3.

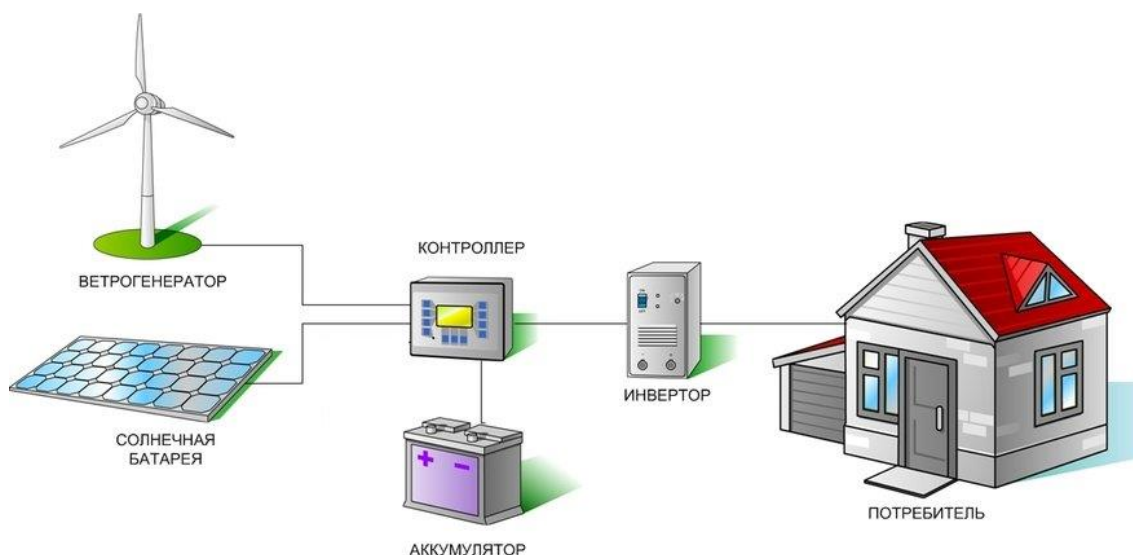


Рисунок 1.3 – Загальний вигляд комбінованої електростанції СЕ та ВЕ

Дана комбінована схема електропостачання приватного домогосподарства є більш ефективною в порівнянні з використанням лише вітроустановок. Хоча вона також характеризується значним негативним впливом, як і ВЕ.

При цьому використання комбінованої системи пов'язано зі значними площами та особливостями розміщення ВЕ, а отже також має свої обмеження. Використання подібних систем можна спостерігати на тваринницьких фермах.

Так в роменському районі комбінована система встановлена на пташнику та працює доволі ефективно.

1.2 Опис особливостей приватних домогосподарств Сумської області

Загалом основними об'єктами Сумської області, які можливо ефективно забезпечити електроенергією від ВДЕ є приватні домогосподарства. Ефективне забезпечення електроенергією об'єктів промисловості потребує значних потужностей, тож є малоефективним оскільки потребує великих площ для розміщення СП. Виходячи з такого розподілу спостерігається реальний ріст встановлення СЕ саме для приватних домогосподарств, а отже в подальших дослідженнях пропонується провести аналіз ефективності використання СЕ саме для даного типу об'єктів.

Приватні домогосподарства Сумської області на своїй території в основному мають декілька будівель. Основною будівлею є житловий будинок, а додатково на території розміщуються різноманітні господарські будівлі (гараж, сарай та ін.). Загалом територія ділянки приватного домогосподарства може коливатись від 5 до 25 соток. При цьому господарства з великими площами, більшу її частину використовують під вирощування різноманітних сільськогосподарських культур чи садів.

Загалом в середньому під забудову виділяється 0,05 га, на якій і розміщуються всі будівлі та споруди. Виходячи з цього найбільш доцільно для встановлення СЕ використовувати саме даний тип площі.

Більшість будинків приватних домогосподарств є одноповерховими з скатним типом дахів. Подібні конструкції в основному мають і інші споруди на території приватних домогосподарств. Основним матеріалом виготовлення будівель та споруд в Сумській області є цегла. Дах в основному виконано з обшивкою із шиферу або металочерепиці.

Територія приватних домогосподарств досить часто засаджена різноманітними деревами, що спричиняють затінення території, а отже

встановлення СП можливо лише на дахах або на спеціальних конструкціях, що піднімають їх на необхідний рівень зменшуючи ступінь затінення.

Додатково при аналізі систем електропостачання приватних домогосподарств необхідно враховувати потужності приладів обігріву та водозабезпечення. Для обігріву в своїй більшості дані домогосподарства використовують природний газ, а для водопостачання колодязі чи свердловини з насосними станціями. Деякі будинки можуть мати додатковий обігрів приміщень з використанням електричного опалення. При цьому всі ці особливості будуть відобразитись на споживанні електричної енергії, особливо в холодні місяці року. Виходячи з цього електроспоживання приватних домогосподарств є збільшеним в порівнянні зі звичайною квартирою в багатоповерховому будинку.

1.3 Аналіз особливостей електропостачання приватних домогосподарств для реалізації електропостачання від ВДЕ

Живлення будинків та споруд приватних домогосподарств в основному виконано від повітряних ліній 0,4 кВ. При цьому лічильники обліку електроенергії встановлюються на вході до домогосподарства в безпосередньому доступі для контролера.

Живлення приватних домогосподарств виконується в основному від підстанцій 10/0,4 кВ з потужністю 160 кВА. Повітряні лінії до об'єктів приватних домогосподарств виконані в основному з використанням СП. Після лічильника на ввіді в домогосподарство внутрішня електрична мережа домогосподарства розподіляє електроенергію на всю необхідну територію. Фактично вся внутрішня електрична мережа приватного домогосподарства виконується прихованою. За показником надійності всі приватні домогосподарства області відносяться до 3 категорії.

З приватними домогосподарствами на надання послуги з електропостачання завжди укладається договір. Основні дані електропостачання

приватного домогосподарства у відповідності до договору наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні параметри електропостачання приватних домогосподарств

№ з/п	Показник	Опис показника
1	Точка постачання електричної енергії (лінія), кВ	0,4
2	Підстанція для організації живлення, кВ	10/0,4
3	Потужність підстанції живлення, кВА	160
4	Розрахункове значення рівня електропостачання, кВ	0,4
5	Категорія схеми електропостачання об'єкта	ІІІ
6	Лічильник для обліку електричної енергії	однофазний, однотарифний прямого підключення
7	Значення максимальної потужності пристроїв живлення, кВ	45
8	Характеристика режиму роботи електроспоживачів приватного будинку	24/7
9	Група за рівнем максимального споживання електроенергії	1

Для подальшого аналізу роботи системи електропостачання від джерела ВДЕ необхідно чітко розуміти споживання електроенергії приватним домогосподарством. Для аналізу нами обрано усереднені показники споживання електроенергії приватними домогосподарствами Сумської області за 2024 рік. Загальні дані по місяцям зведено до таблиці 1.2. При цьому прийнято середній склад сім'ї, що проживає в будинку прийнято 3 чоловіки (двоє дорослих та дитина).

Таблиця 1.2 – Середні значення показників споживання приватним домогосподарством електроенергії за 2024 рік

Показник	Місяць року												
	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Разом за рік
Споживання електричної енергії, кВт·год	266	204	199	161	134	141	125	135	137	175	215	250	2142

Дані для оформлення таблиці 1.2 брались з квитанцій про оплату за електроенергію групи приватних домогосподарств різних потужностей та вираховувалось середнє значення. При цьому додатково в додатках наведено основні показники по рівню споживання для різних електричних приладів, що використовуються в приватних домогосподарствах.

Для кращої наочності електроспоживання електроприладами приватного домогосподарства пропонується виконати його графічне зображення (рис. 1.4).

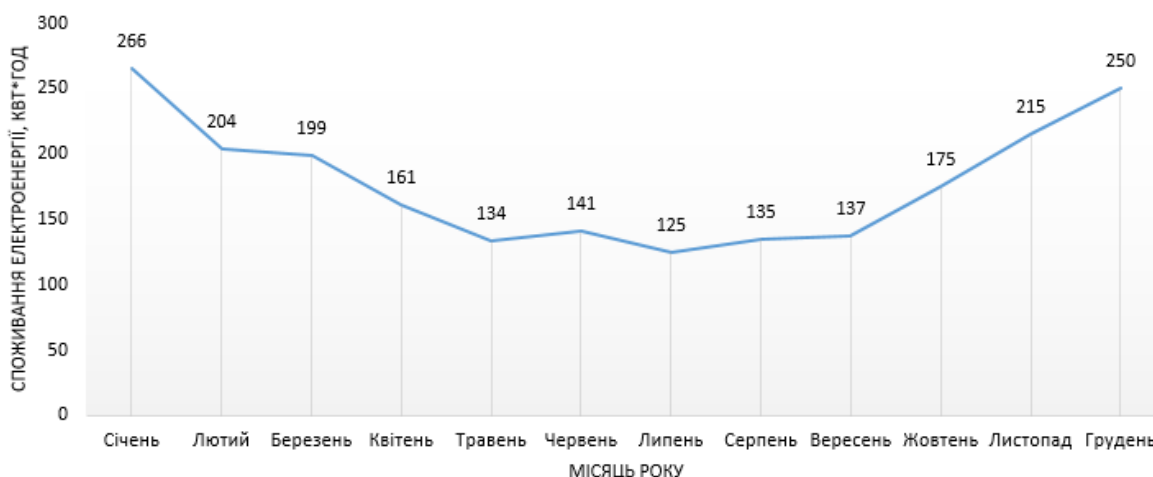


Рисунок 1.4 – Графік споживання електричної енергії приватним домогосподарством за 2024 рік

Загалом в середньому спостерігається збільшення електроспоживання в зимові місяці. В першу чергу це пояснюється тим, що в цей період року жителі більше перебувають вдома та в більшій мірі користуються електроприладами, а також це відбувається через підвищене користування різноманітним обігрівачами чи навіть системами електричного опалення будинків.

Загалом все споживання електроенергії приватним домогосподарством можна поділити на певні групи. Це в основному електроосвітлення, електрообігрів, електричні побутові прилади та електричні інструменти.

За даним таблиці А1 додатків до дипломної роботи нами виконано підрахунки та наведено діаграму частки споживання даних груп споживачів від загального електроспоживання приватного домогосподарства. Отримані дані наведемо в вигляді загальної діаграми у відсотковому значенні, адже вони є

усередненими по об'єктам аналізу. Діаграма розподілу загального споживання групами електроприладів, що використовуються в приватному домогосподарстві наведена на рисунку 1.5.

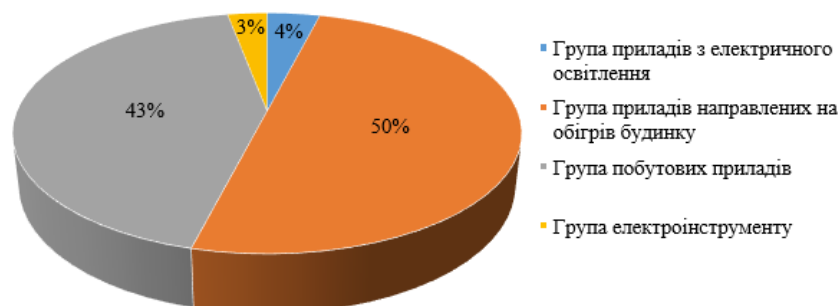


Рисунок 1.5 – Діаграма частки споживання групами електроприладів, що використовуються в приватних домогосподарствах

З діаграми розподілу споживання електричної енергії різноманітними електроприладами, можна зробити висновок, що найбільше споживання електроенергії припадає саме на обігрів приміщень домогосподарства. При цьому слід також зауважити, що саме ці електричні прилади працюють протягом певних періодів року. Але необхідно також врахувати особливість використання в літні місяці роботи пристроїв кондиціонування повітря в будинку.

Якщо не брати до уваги незначного коливання споживання електроенергії електроприладами, то можна сказати, що наступною групою електроприладів, яка має значне електроспоживання є побутові електроприлади. Прилади даної групи використовуються доволі часто для приготування їжі, розваг та ін., а отже вони використовуються постійно протягом року.

Наступний показник по електроспоживанню це споживання приладами електричного освітлення. При цьому є можливість зменшення даного показника, що можна досягти використанням різного роду енергозберігаючими лампами та приладами освітлення.

Висновки до розділу

Виходячи з проведеного аналізу бачимо певні особливості у споживанні електроенергії різними електроприладами приватного домогосподарства. При

цьому протягом року спостерігається значне коливання основних показників по споживанню електричної енергії. З більшості літературних джерел відомо, що спостерігається і нерівномірність використання ВДЕ. Основною проблемою використання ВДЕ для приватного домогосподарства є те, що в момент максимального виробітку електричної енергії приватне домогосподарство буде споживати незначну кількість електроенергії. І навпаки, при низькому виробництві електроенергії ВДЕ споживання значно зростає. Виходячи з цього необхідно виконати коригування споживання електроенергії протягом року. Подібне коригування може бути виконано з використанням електроенергії з мережі.

За умови виникнення «блекаутів» в Сумській області пропонується виконати розрахунки та вибір обладнання ВДЕ, в розрахунку відсутності електропостачання протягом 3 діб.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ПРОПОЗИЦІЇ ВИБОРУ НЕОБХІДНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВДЕ ПРИВАТНОГО ДОМОГОСПОДАРСТВА

2.1 Обґрунтування необхідності ВДЕ при існуючій схемі електропостачання приватного домогосподарства

В більшості приватних домогосподарств навантаження є однофазним. При цьому слід також зазначити, що потужність електроприладів в домогосподарстві є також незначною, а отже необхідною умовою є правильне групування електроприладів по фазам. За умови правильного підходу можна досягти певного значення рівномірності по фазам. Загалом необхідно врегулювати не симетрію по різним фазам приватного домогосподарства в межах від 5 до 10 %, що є нормою.

Необхідно при цьому також враховувати нерівномірність споживання електричної енергії відповідно протягом доби, місяця чи навіть року. Всі інші вимоги до електричної мережі приватного домогосподарства нами розглянуто в попередньому розділі при детальному описі об'єкту.

Для розрахунку електричного навантаження необхідно зазначити, що всі електроприлади в домогосподарстві працюють в тривалому режимі. При цьому розрахунок кожного з них планується проводити окремо для кожного з електроприладів.

Розрахунок пропонується проводити відповідно до методики, що наведена нижче. Першочергово необхідно визначити навантаження електроустановки (електроприладу):

$$P_{\text{уст.}i} = P_{\text{ном.}i} \cdot n_i, \text{ кВт} \quad (2.1)$$

де $P_{\text{ном.}i}$ – номінальне значення потужності відповідного електроприладу приватного будинку, кВт;

n_i – кількість електроприладів відповідного типу, шт.

Далі необхідно визначити розрахункове значення потужності електроприладу з виразу:

$$P_{p.i} = P_{уст.i} \cdot K_{в.i} \cdot K_{п.i}, \text{ кВт} \quad (2.2)$$

де $K_{в.i}$ – коефіцієнт, що враховує ступінь використання електроприладу;

$K_{п.i}$ – коефіцієнт, що враховує величину попиту електроприладу.

Також необхідно знайти величину реактивної потужності:

$$Q_{p.i} = P_{p.i} \cdot tg(\varphi_i) \quad (2.3)$$

Виходячи з цього величина повної потужності має вигляд:

$$S_{p.i} = \sqrt{P_{p.i}^2 + Q_{p.i}^2} \quad (2.4)$$

Знаючи величину повної потужності розрахункове значення струму електроприладу визначаємо з рівняння:

$$I_{p.i} = \frac{S_{p.i} \cdot 10^3}{U_{ном}} \quad (2.5)$$

де $U_{ном}$ – номінальне значення напруги електроприладу, В.

Всі розрахунки проводились відповідно до наведеної методики в Excel та наведено в додатках до дипломної роботи. Відповідно до отриманих результатів потужність всіх електроприладів приватного домогосподарства становить 12,3кВт, а відповідно потужність з врахуванням всіх вищезазначених коефіцієнтів становить 13,8 кВА.

Отриманими значеннями можна користуватись при проведенні вибору ВДЕ, а саме СЕ та ВЕ для приватного домогосподарства. На початковому етапі

необхідно провести обґрунтування кожного з видів ВДЕ. Основним обґрунтуванням відповідних резервних джерел є відповідно величина сонячної радіації для СЕ та швидкість вітру для ВЕ.

Як зазначалось вище, що кількість сонячної радіації на території Сумської області є мінімально достатньою для забезпечення роботи СЕ, а відповідно енергії вітру фактично недостатньо для ефективної роботи ВЕ.

Для визначення місячних значень сонячної радіації, необхідною умовою є чисельні значення середньоденної кількості сонячної радіації $E_{\text{пит}}$. Виходячи з кількості днів в місяці можна визначити місячні значення:

$$E_{\text{міс}} = E_{\text{пит}} \cdot n_{\text{д}}, \text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2 \quad (2.6)$$

де $E_{\text{пит}}$ – питома кількість сонячної радіації, $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2(\text{день})$;

$n_{\text{д}}$ – кількість днів в місяці, днів.

Значення питомої сонячної радіації можна отримати відповідно до кліматичних даних, або зі звітів синоптичних організацій. Всі отримані данні зведено до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахункові данні сонячної радіації Сумського регіону

Показник	Місяць року											
	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Середнє денне значення сонячної радіації, $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$	1,2	2,2	3,5	4,5	5,2	5,6	5,4	4,8	3,4	2,2	1,3	0,9
Місячне значення сонячної радіації, $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$	37,2	61,6	108,5	135	161,2	168	167,4	148,8	102	68,2	39	27,9

Відповідно до отриманих даних з таблиці 2.1 можна визначити річне значення $E_{\text{річне}}$, яке становить $1224,8 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$. Також необхідно визначити

критерій, що характеризує раціональний режим роботи СЕ, що визначається з рівняння:

$$K_{\text{рад}} = \frac{E_{\text{річне}}}{E_{\text{міс}}} \quad (2.7)$$

$$K_{\text{рад}} = \frac{1224,8}{27,9} = 43,9$$

Відповідно до отриманого значення $K_{\text{рад}}$ можна сказати, що СЕ використовує цілорічний режим роботи. Виходячи з даного аналізу можна використовувати СЕ для отримання електроенергії в якості резервного живлення приватного домогосподарства протягом року, а отже даний напрям є доволі перспективним для Сумського регіону.

Подібний аналіз необхідно виконати для ВЕ з визначенням ефективності її використання в якості резервного живлення для приватного домогосподарства.

Необхідно врахувати, що ВЕ повинна мати дещо складніші вимоги ніж до СЕ, оскільки вона потребує орієнтування за вітром, має доволі великий шумовий поріг. При цьому потужність ВЕ повинна відповідати за потужністю до споживаної потужності приватним домогосподарствам.

Оцінку ВЕ проводять з врахуванням потенціалу вітру на території Сумської області. Але першочергово необхідно навести методику оцінки ефективності ВЕ.

Для оцінки вітроенергетичного потенціалу застосовують рівняння:

$$P_{\text{пит}} = 0,5 \cdot \rho \cdot V_{\text{ср}}^3 \quad (2.8)$$

де ρ – значення щільності повітря, кг/м³;

$V_{\text{ср}}^3$ – середня величина швидкості кубу повітря.

$$V_{\text{ср}}^3 = 1,9 \cdot (V_{\text{ср}})^3 \quad (2.9)$$

де V_{cp} – середнє значення швидкості вітру, м/с.

Відповідно до отриманих рівнянь можна скоригувати величину вітроенергетичного потенціалу:

$$P_{пит} = 0,5 \cdot \rho \cdot (V_{cp})^3 \quad (2.10)$$

Враховуючи величину щільності повітря отримуємо ще більш просту формулу:

$$P_{пит} = 1,17 \cdot (V_{cp})^3 \quad (2.11)$$

Значення середньої швидкості вітру можна отримати з даних метеостанції, а відповідно до наведеної методики можна визначити вітроенергетичний потенціал Сумського регіону. Отримані данні зведено до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Вітроенергетичний потенціал регіону

Показник	Місяць року											
	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Середнє значення швидкості вітру, м/с	3,5	3,4	3,2	3,3	3,0	2,7	2,5	2,7	3,0	3,4	3,6	3,6
Вітроенергетичний потенціал, Вт/м ²	50,2	46,0	38,3	42,0	31,6	23,0	18,3	23,0	31,6	46,0	54,6	54,6

З даних таблиці можна визначити, що фактично в листопаді та грудні маємо найбільші значення виробітку. При цьому за умови використання лише однієї ВЕ для організації резервного живлення приватного будинку маємо дефіцит величини потужності, що становить більше 6 кВт·год.

У відповідності до отриманих даних можна виконати приблизний підбір обладнання для приватного домогосподарства, що в результаті дасть можливість виконати економічне обґрунтування.

2.2 Вибір обладнання для джерела живлення приватного домогосподарства ВДЕ

Наступним кроком при аналізі ВДЕ для приватного домогосподарства є вибір необхідного обладнання для СЕ та відповідно підбір вітряка ВЕ. Оскільки першочергово нами розглядалось використання сонячної електростанції то пропонується провести вибір необхідного обладнання саме для даного напрямку. І відповідно далі обрати вітрогенератор для ВЕ.

Оскільки сонячна енергетика на території Сумської області є більш поширеною то вибір різноманітного обладнання є доволі широким. Необхідно зазначити, що найбільш кращими в використанні по ряду факторів є монокристалічні сонячні панелі.

Для використання пропонується використовувати сонячні панелі більшої потужності. Відповідно до пропозицій ринку пропонується обрати панелі Bluesun Solar Topcon Bifacial Half Cell, потужність даних панелей становить 610Вт відповідно до технічної характеристики, наведеної в додатку Б.

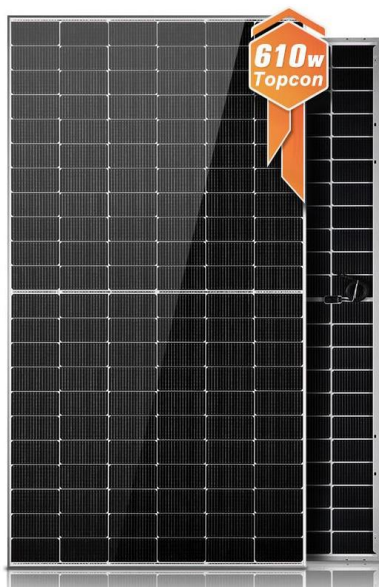


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд сонячної панелі Bluesun Solar Topcon Bifacial Half Cell з потужністю 610 Вт

Оскільки дані сонячні панелі мають можливість дахового розміщення, то відповідно для приватного домогосподарства пропонується виконати

розміщення їх саме на дахах будівель. При цьому необхідно враховувати особливості розміщення (кути розміщення та орієнтування).

Першочергово необхідно провести аналіз орієнтування поверхонь дахів будівель, визначитись з площею дахів та необхідною площею панелей. Схема для визначення основних кутів розміщення сонячної панелі наведена на рисунку 2.2.

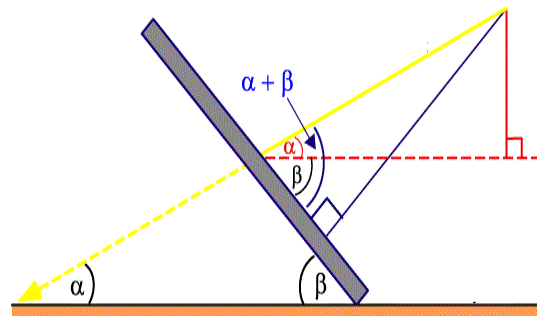


Рисунок 2.2 – Схема визначення основних кутів розміщення сонячних панелей

Відповідно до рисунку 2.2 здійснюють визначення особливостей розміщення СЕ на даху та коригують їх.

Оскільки сонячні панелі пропонується кріпити на даху, то загалом для Сумської області прийнятий кут розміщення β , що дорівнює 53° . Відповідно коригуємо основні параметри та розміри рами для кріплення СЕ на даху з врахуванням кута нахилу даху.

Наступним кроком пропонується здійснити вибір вітрогенератора для установки ВЕ. Пропонується обрати декілька варіантів вітрогенераторів. першочергово пропонується обрати варіант вітрогенератора з горизонтальною віссю, а також вітрогенератор з вертикальною віссю або спірального типу. Загальний вигляд конструкції пропозицій вітрогенераторів наведено на рисунку 2.3.



а

б

а – ВЕ з горизонтальною віссю; б – ВЕ спірального типу.

Рисунок 2.3 – Загальний вигляд різних типів ВЕ

Для ВЕ пропонується вибір установок Winder W5 з горизонтальною віссю, а також RX-SV5000 спірального типу. Технічні характеристики даних ВЕ наведено в додатку Б.

Наступним кроком підбору обладнання для забезпечення резервного живлення від відновлювальних джерел енергії є вибір акумуляторних батарей. Сьогодні існує доволі велика кількість різноманітних акумуляторів. При цьому найбільшого розповсюдження набувають свинцеві акумулятори, лужні, літієві та гелієві.

Кожен з даних типів акумуляторних батарей має певні переваги та недоліки, але найбільшого застосування в галузі ВДЕ набувають все ж таки гелієві акумулятори. Необхідно зазначити, що доволі широкого застосування набули акумулятори типу GEL, що є тяговими, а отже пропонується обрати для побудови джерела живлення від ВДЕ саме їх. Пропонується обрати акумулятори Micro Art 2.960GEL. Загальна характеристика обраних акумуляторних батарей наведено в додатку Б.



Рисунок 2.4 – Загальний вигляд Micro Art 2.960GEL

Акумуляторні батареї збираються в блоки та відповідно формують загальний блок акумуляторних батарей (рис. 2.4). Даний блок розміщується в приміщенні, що не промерзає. В даному приміщенні також розміщують і інше обладнання для забезпечення роботи ВДЕ.

Фактично одним з завершальних кроків вибору обладнання для джерела ВДЕ є підбір контролера та інвертора. Оскільки обрані акумулятори не мають необхідного контролера заряду то для виконання даної операції необхідно обрати контролер. Відповідно до цього контролер повинен здійснювати контроль за зарядом акумуляторних батарей.

Пропонується обрати найбільш простий контролер заряду акумуляторів MPPT JUTA 100A. Його технічні характеристики наведено в додатку Б до дипломної роботи.



Рисунок 2.5 – Загальний вигляд контролера MPPT JUTA 100A

Дещо інший підхід необхідно застосувати при виборі інвертора. Загалом інвертор виконує роль перетворювача постійного струму на змінний з необхідними параметрами для живлення приватного домогосподарства.

Інвертори бувають фактично трьох видів: автономні, мережеві та гібридні. Автономні працюють лише на живлення домогосподарства. Мережеві в свою чергу направлені на продаж електричної енергії за зеленим тарифом.

Найбільш цікавими з точки зору використання в приватних домогосподарствах на наш погляд є гібридні інвертори. Особливістю їх роботи є те, що вони дозволяють виконувати живлення об'єкта від джерела ВДЕ та від мережі. Переключення джерела (вибір джерела) живлення відбувається автоматично, а отже даний інвертор не потребує участі людини при переключенні.

Даний інвертор дозволяє здійснювати заряджання акумуляторів за умови відсутності сонячної радіації з електричної мережі, а отже він дає доволі гарні переваги в порівнянні з іншими інверторами. При цьому виникає можливість за відсутності енергії від сонячних панелей та від електричної мережі здійснювати заряджання акумуляторів за допомогою дизель-генератора. Відповідно до цього маємо доволі гарний ряд перспектив.

При виборі інвертора необхідно враховувати особливість, що пов'язана з тим, що необхідно його обирати з 30 % запасом. Цей запас обирається від сумарного значення навантаження всіх електроприладів приватного домогосподарства. Даний запас потужності необхідний для врахування особливостей запуску електродвигунів чи насосів (холодильник, морозильна камера та ін.).

Іншим параметром для вибору інвертора є тип мережі для його підключення. Як було вказано в попередніх розділах живлення приватних домогосподарств є в основному однофазне, а отже і інвертор необхідно обрати даного типу. Відповідно до цього також існує дві схеми підключення інвертора:

- з одним центральним інвертором;
- з декількома паралельними інверторами.

Декілька паралельно підключених інверторів використовуються в основному на великих (промислових) СЕ. Відповідно вони дозволяють групувати СЕ на певні групи сонячних панелей, що зменшує втрати постійного струму при транспортуванні по території СЕ.

Відповідно до цього для приватного домогосподарства обираємо один гібридний інвертор більшої потужності, що дозволить керувати СЕ в повній мірі та забезпечувати необхідне функціонування всієї системи.

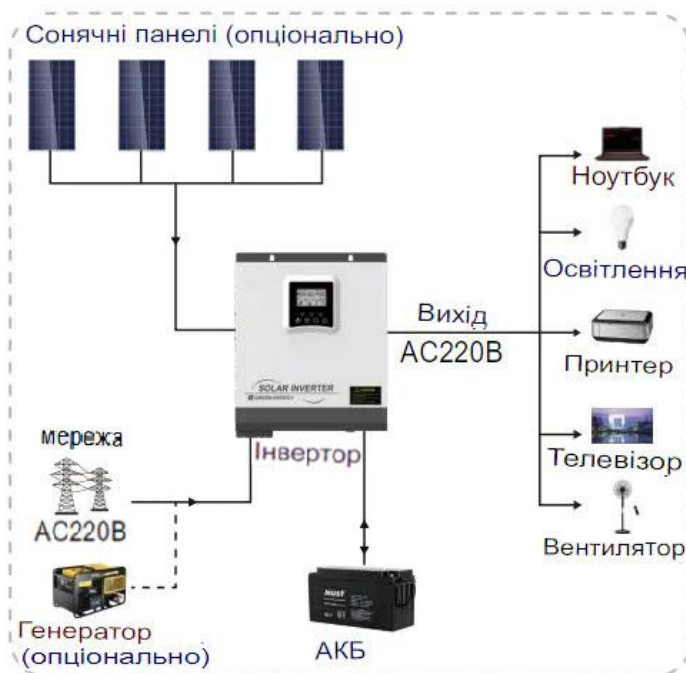


Рисунок 2.6 – Загальна схема організації живлення приватного будинку з одним інвертором від ВДЕ

Відповідно до всіх особливостей пропонується обрати інвертор від фірми Deye потужністю 16 кВт типу SUN-16K-SG01LP1-EU. Вибраний інвертор є гібридним та дозволяє забезпечувати працездатність резервного живлення за всіх можливих умов використання електроприладів в приватному домогосподарстві. Загальний вигляд інвертора наведено на рисунку 2.7, а його технічні характеристики наведено в додатку Б.



Рисунок 2.7 – Загальний вигляд інвертора SUN-16K-SG01LP1-EU

Обране обладнання дозволяє провести загальні розрахунки необхідної кількості панелей, акумуляторів та іншого обладнання, а також виконати аналіз його працездатності в подальшому.

Висновки до розділу

Відповідно до отриманих даних можна сказати, що найбільш перспективним в плані використання ВДЕ для приватного домогосподарства залишається СЕ, що має менший вплив на людину. При цьому можливість економії площі досягається за рахунок встановлення панелей на дахах будівель (за умови наявності необхідної площі та орієнтування). Використання ВЕ має ряд обмежень у використанні приватного домогосподарства, а отже спостерігаємо доволі невелике їх використання на території Сумської області. Додатково необхідно врахувати, що використання ВЕ обмежено невеликою кількістю вітряних потоків та їх нестабільністю протягом року, що також робить їх малоефективними.

3 ЗАГАЛЬНА КОМПОНОВКА ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ ВДЕ ТА АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЇЇ РОБОТИ

Відповідно до проведеного загального вибору обладнання та його типів пропонується провести більш детальний розрахунок основного обладнання та перевірку правильності вибору. Підтвердження правильності вибору обладнання ВДЕ, необхідної його кількості.

3.1 Визначення необхідної кількості сонячних панелей

Попередньо для організації електропостачання від СЕ нами обрано сонячні панелі Bluesun Solar Topcon Bifacial Half Cell з потужністю 610 Вт. Відповідно першочергово необхідно визначити площу сонячної панелі:

$$S_{\text{пан}} = \frac{P_{\text{нав}}}{P_{\text{фем.ср}}} \quad (3.1)$$

де $P_{\text{нав}}$ – розрахункове загальне навантаження для приватного домогосподарства, кВт;

$P_{\text{фем.ср}}$ – середнє значення питомої потужності від фотоелементів панелі при умові номінального освітлення, Вт/м².

При проведенні розрахунку необхідною умовою є збільшення розрахункового значення навантаження мінімум на 20%, для покриття дефіциту. Відповідно до отриманих даних додатку з додатку А, та необхідним збільшенням потужності отримуємо значення 14,784 кВт для приватного будинку.

$$P_{\text{фем.ср}} = P_{\text{фем}} \cdot \eta \quad (3.2)$$

де $P_{\text{фем}}$ – максимальне значення питомої потужності фотоелементів, Вт/м²;

η – величина ККД для обраної монокристалічної панелі.

Максимальне значення $P_{\text{фем}}$ для регіону становить 610 Вт/м^2 . Відповідно до цього:

$$P_{\text{фем.ср}} = 610 \cdot 0,2361 = 144,02 \text{ Вт}$$

$$S_{\text{пан}} = \frac{14784}{144,02} = 103 \text{ м}^2$$

Відповідно до технічних даних обраної сонячної панелі маємо площу одного фотоелементу.

$$S_{\text{фот}} = 0,7 \cdot 1,4 = 0,98 \text{ м}^2$$

Необхідна кількість панелей СЕ для забезпечення приватного домогосподарства визначається з рівняння:

$$n = \frac{S_{\text{пан}}}{S_{\text{фот}}} \quad (3.3)$$

$$n = \frac{103}{0,98} = 105,1 \text{ шт}$$

Виходячи з цього дане значення необхідно округлити до найбільшого цілого числа, що становить 105 сонячну панель.

Виходячи з обраної кількості сонячних панелей маємо загальну потужність СЕ, з рівняння:

$$P_{\text{СЕ}} = n \cdot P_{\text{фем.ср}} \quad (3.4)$$

$$P_{\text{СЕ}} = 105,1 \cdot 144,02 \approx 15,14 \text{ кВт}$$

Виходячи з отриманих даних бачимо, що потужність СЕ за умови використання її в найбільш сонячний період може покривати фактично всю потужність, що споживається приватним домогосподарством. При цьому навіть

виникає незначне перевищення виробленої електроенергії, що можна використовувати в якості додаткового заряджання акумуляторів джерела ВДЕ.

Необхідно також провести розрахунок кількості електроенергії, яку виробить СЕ протягом всього періоду роботи помісячно:

$$W_i = k_i \cdot E_{\text{пит.і}} \cdot P_{\text{СЕ}} \quad (3.5)$$

де k_i – коефіцієнт, що враховує період року (для літнього періоду – 0,5; для зимового періоду – 0,7).

Для розрахунку обираються данні таблиці 2.1. Відповідно до рівняння (3.5) проводимо розрахунок реальної кількості виробленої електроенергії сонячними панелями, що зумовлене неправильним падінням сонячних променів, враховує нагрівання та ін. Результати розрахунків зводимо в таблицю 3.1. Для більшої наочності отриманих результаті пропонується визначити дефіцит виробітку електроенергії, а також профіцит її виробітку.

Таблиця 3.1 – Особливості виробітку електроенергії СЕ приватного домогосподарства

Показник	Місяць року											
	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Кількість виробленої електроенергії за місяць, кВт·год	286,4	474,3	835,5	1039,5	1241,2	1293,6	1289,0	1145,8	785,4	525,1	300,3	214,8
Дефіцит (-) / профіцит (+) виробітку електроенергії від СЕ, кВт·год	20,4	270,3	636,5	878,5	1107,2	1152,6	1164	1010,8	648,4	350,1	85,3	-35,2

Відповідно до отриманих даних за умови використання обраної СЕ отримуємо доволі гарні результати (табл. 3.1). Оскільки в розрахунок закладена

можливість автономії приватного домогосподарства протягом 3 днів, то відповідно розрахунок був направлений на перекриття саме зимового періоду. Як бачимо запропонована СЕ в повній мірі забезпечує електроенергією приватне домогосподарство. При цьому фактично один зимовий місяць залишається з дефіцитом виробленої електроенергії, а всі інші місяці мають надлишок. Літні місяці мають навіть значних профіцит виробленої електроенергії. Відповідно до цього можливо використати меншу кількість панелей або виконувати продаж електроенергії в електричну мережу населеного пункту для її підтримання. Додатково можна враховувати, що надлишок виробленої електроенергії в літні періоди можна направити на реалізацію системи кондиціонування повітря в будинку та інших приміщеннях приватного домогосподарства.

3.2 Аналіз особливостей використання ВЕ

Підбір ВЕ необхідно проводити з початкового розрахунку номінальної потужності. При цьому необхідно враховувати, що величина номінальної потужності повинна забезпечувати заряджання акумуляторів. Виходячи з цього отримуємо вираз:

$$P_{\text{ВЕ}} = \frac{V_{\text{с.ак}}}{\xi \cdot \eta_{\text{ген}}} \quad (3.6)$$

де ξ – коефіцієнт врахування особливостей використання вітрової енергії;

$\eta_{\text{ген}}$ – ККД генераторної установки ВЕ;

$V_{\text{с.ак}}$ – швидкість операції заряджання акумулятора, Вт·год.

$$V_{\text{с.ак}} = \frac{Z_{\text{ак}}}{T_{\text{р}}} \quad (3.7)$$

де $T_{\text{р}}$ – кількість годин за добу, год.

$$V_{c,ак} = \frac{5863,3}{24} = 244,3 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

$$P_{ВЕ} = \frac{244,3}{0,4 \cdot 0,8} = 489 \text{ Вт} \cdot \text{год}$$

Виходячи з отриманих розрахунків, для заряду обраних нами акумуляторів достатня потужність ВЕ фактично менше за 0,5 кВт. Але при виборі ВЕ орієнтуватись необхідно на загальне навантаження приватного будинку адже розряд акумулятора буде більшим за величину його заряджання. В результаті дана установка може бути неефективною.

При виборі ВЕ необхідно також користуватись двома основними критеріями її вибору. В першу чергу величина напруги ВЕ повинна дорівнювати напрузі мережі, а по-друге потужність ВЕ повинна бути рівною або більшою за потужність мережі.

Після вибору особливостей ВЕ та вибору генераторної установки необхідно здійснити вибір типу ВЕ (рис. 2.3), а також обрати вітряне колесо. Особливим кроком при організації ефективної роботи ВЕ є вибір висоти щогли для її розміщення. Висота щогли повинна бути більшою за основні будівлі приватного домогосподарства, а також бути вищим за дерева на території району його встановлення. Це необхідно для забезпечення необхідними потоками вітру.

Для подальшого розрахунку необхідно визначити кількість електроенергії, що буде вироблена ВЕ. При цьому можна скористатись наступною методикою. Розрахунок проведемо для більш поширеного типу ВЕ – з горизонтальною віссю обертання, тобто для ВЕ Winder W5.

Першочергово необхідно визначити загальну площу кола лопате ВЕ з виразу:

$$A = \pi \cdot R^2 \quad (3.8)$$

де R – довжина лопаті ВЕ, м.

Необхідно зауважити, що в більшості приватних домогосподарств є певні обмеження по довжині лопатей ВЕ. При цьому збільшення довжини лопаті потребує значного підйому його на висоту, що значно збільшує конструкцію вітряка та вносить значні обмеження в розміщення об'єктів та будівель на площі приватного господарства. Відповідно до цього отримуємо:

$$A = 3,14 \cdot 2,0^2 = 12,56 \text{ м}^2$$

На практиці для визначення місячного значення виробітку електроенергії користуються формулою:

$$E_{\text{міс}} = P_{\text{пит}} \cdot A \cdot K_{\text{квп}} \quad (3.9)$$

де $K_{\text{квп}}$ – коефіцієнт, що враховує загальний показник використання потужності, $K_{\text{квп}} = 0,35$;

Відповідно до наведеної методики виконуємо розрахунок та зводимо данні в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Виріток електроенергії ВЕ приватного домогосподарства

Показник	Місяць року											
	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Кількість виробленої електроенергії за місяць, кВт·год	220,7	202,2	168,4	184,6	138,9	101,1	80,4	101,1	138,9	202,2	240,0	240,0
Дефіцит (-) / профіцит (+) виробітку електроенергії від СЕ, кВт·год	-45,3	-1,8	-30,6	23,6	4,9	-39,9	-44,6	-33,9	1,9	27,2	25,0	-10,0

Відповідно до отриманих даних бачимо, що ВЕ є менш потужною в порівнянні з СЕ, а отже відповідно і менш ефективною. Хоча слід зауважити, що

в зимові місяці виробіток є більшим, а отже можливість комбінування установок може підвищити їх ефективність для приватних домогосподарств Сумської області.

3.3 Обґрунтуванням вибору іншого обладнання ВДЕ

Іншим обладнанням ВДЕ фактично є акумуляторні батареї, контролер та інвертор. Необхідно зазначити, що дане обладнання фактично є основним для здійснення контролю за роботою всієї системи.

Відповідно до цього першочергово проведемо аналіз особливостей використання обраних акумуляторів. Необхідно зазначити, що першочергово в розрахунках потрібно врахувати можливість забезпечення приватного домогосподарства електроенергією протягом 3 діб для подолання «блекаутів».

Розрахунок проводиться відповідно до обраних акумуляторів та методики, що наведена нижче. Першочергово необхідно визначити величину втрати ємності акумулятора при навантаженні від електроприладів домогосподарства:

$$\Delta Z = \left(\frac{P_H}{U_H} \right) \Delta t_{\text{НВ}} = \left(\frac{P_H}{U_H} \right) (24 - T_{\text{ДВ}}) \quad (3.10)$$

де $\Delta t_{\text{НВ}}$ – інтервал часу доби за нічний час;

$T_{\text{ДВ}}$ – інтервал часу доби за денний час.

$$\Delta Z = \left(\frac{12313}{48} \right) 16 = 4104,3 \text{ А}$$

За умови експлуатації акумуляторів необхідною умовою є недопущення «глибокого» розряду. У випадку виникнення такої ситуації необхідно проводити заряджання акумуляторів. Контроль розряду акумуляторів необхідно здійснювати постійно та не допускати розряджання їх більше ніж на 70...80 %.

Розряджання акумуляторів характеризується ступенем розряджання, що описується рівнянням:

$$S_p = \frac{z_H - z_{min}}{C_H} \cdot 100\% = \frac{\Delta C}{C_H} 100\% \quad (3.11)$$

Даний вираз (3.11) з врахуванням виразу (3.10) можна переписати для знаходження потрібної ємності акумуляторів:

$$Z_{аб.н} = \left(\frac{100}{S_p}\right) \cdot \left(\frac{P_H}{U_H}\right) \cdot \Delta t_{нав} \quad (3.12)$$

Для проведення розрахунків приймаємо режим експлуатації акумулятора 16 годин, а ступінь розряджання обирається на рівні 70 %. Відповідно до обраних даних можемо визначити ємність акумулятора:

$$Z_{аб.н} = \left(\frac{100}{70}\right) \cdot \left(\frac{12313}{48}\right) \cdot 16 = 5863 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Загалом енергоємність акумулятора знаходимо з виразу:

$$W = Z_H \cdot U_H \quad (3.13)$$

Оскільки акумулятори з'єднуються між собою паралельно то їх кількість розраховують з виразу:

$$n = \frac{U_H}{U_{аб}} \quad (3.14)$$

де $U_{аб}$ – величина напруги одного акумулятора, В.

Наступним кроком є визначення необхідної кількості гілок акумуляторів в загальній системі:

$$m = \frac{C_H}{C_{аб}} \quad (3.15)$$

де $C_{аб}$ – величина ємності одного акумулятора.

Виходячи з отриманих даних необхідно визначити загальну кількість акумуляторів з рівняння:

$$N = n \cdot m \quad (3.16)$$
$$n = \frac{48}{2} = 24 \text{ шт}$$
$$m = \frac{5863}{960} = 6,1$$

Значення кількості гілок необхідно округлити до цілого числа. Приймаємо 6 гілок.

$$N = 24 \cdot 6 = 144 \text{ шт}$$

Відповідно до цього необхідна кількість попередньо обраних акумуляторів становить 144 шт. При використанні даного типу акумуляторів необхідно також враховувати особливості їх експлуатації, а саме характеристику заряду їх та розряду, кількість відповідних циклів та особливості саморозряду.

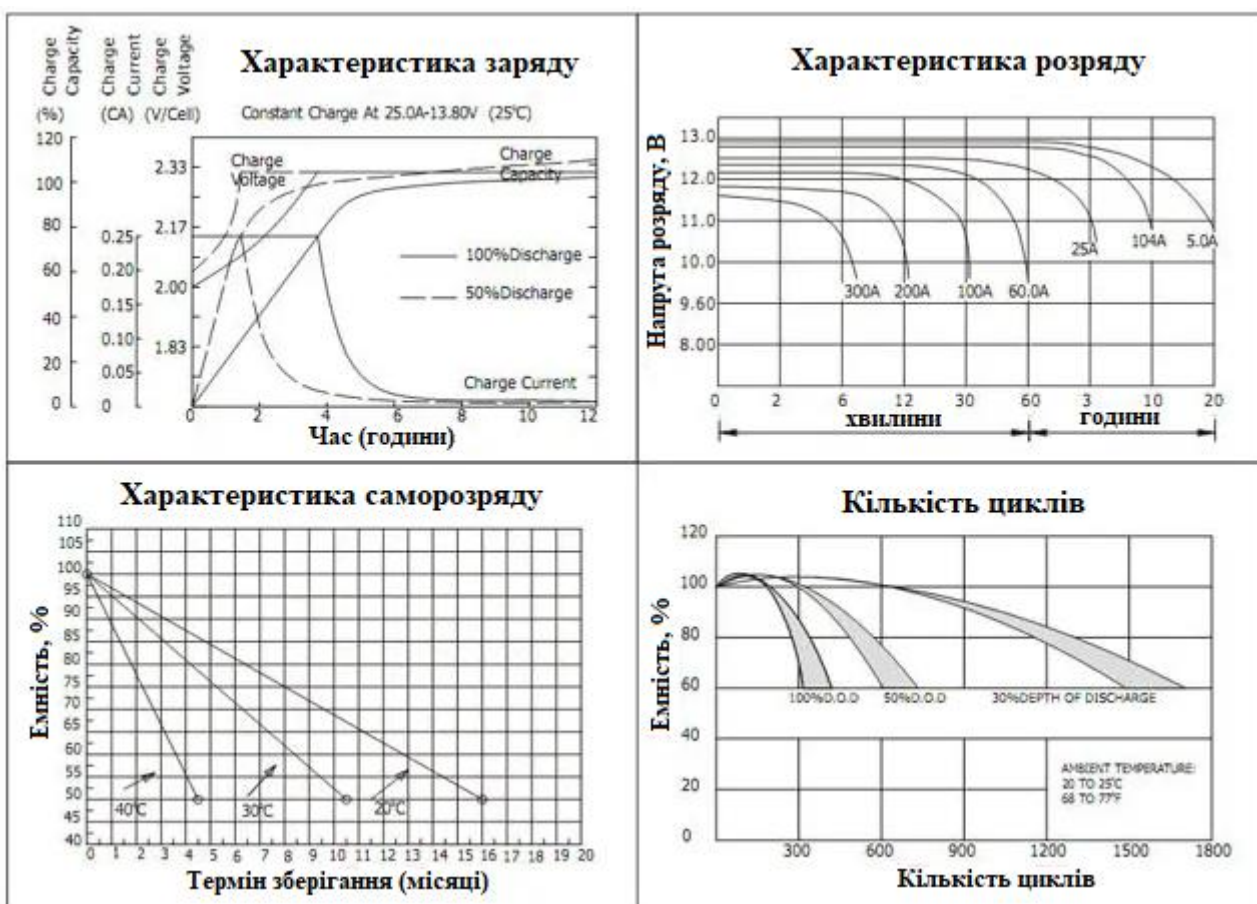


Рисунок 3.1 – Особливості використання обраних акумуляторів

Для контролю розряду акумуляторів нами обрано контролер, відповідно до цього необхідно розрахувати його основні параметри. Першочергово необхідно визначити величину максимального зарядного струму з виразу:

$$I_{з.аб} = 0,1 \cdot Z_{аб} \quad (3.17)$$

$$I_{з.аб} = 0,1 \cdot 960 = 96 \text{ A}$$

Кількість контролерів пропонується обрати 1 оскільки його струм становить 100 А. Виходячи з цього контролери пропонується встановити на гілках акумуляторів.

Подібний розрахунок пропонується виконати і для підтвердження вибору інвертора. При цьому обов'язково врахуємо збільшення його потужності на 30%. Відповідно до цього загальна потужність визначається з виразу:

$$P_{\text{інв}} = P_{\text{роз.нав}} \cdot 1,3 \quad (3.18)$$

$$P_{\text{інв}} = 12313 \cdot 1,3 = 16 \text{ кВт}$$

Відповідно до здійсненого розрахунку вибір інвертора виконано вірно та загалом його потужності достатньо для забезпечення роботи ВДЕ. Необхідно також зазначити, що загальна система електропостачання від ВДЕ є доволі потужною але здатна забезпечити загальну працездатність майже всіх приладів,, що використовуються в приватному господарстві. З отриманих розрахунків та проведеного аналізу можна сказати, що найбільш ефективним джерелом для забезпечення резервного живлення приватного будинку від ВДЕ є саме СЕ. Встановлення ВЕ на сьогодні є малоефективним в умовах Сумської області.

Проведення комбінування ВЕ та СЕ фактично не є перспективним напрямком, адже потребує значних затрат коштів на компонування подібної установки та супроводжується значними складнощами в технічних рішеннях. Виходячи з цього розгляд подібної системи не планується. Найбільш ефективним рішенням залишається використання СЕ для здійснення живлення приватного домогосподарства та інших об'єктів господарювання.

Висновки до розділу

Використання ВДЕ для живлення приватних домогосподарств на сьогодні є доволі перспективним, особливо перспективним є напрям сонячної енергетики. Вітроенергетика є доволі проблемною при використанні в Сумській області. Вирішення даного питання можливе з використанням комбінованих систем, але проблемним питанням стає вартість подібної системи. Відповідно до проведених розрахунків обране обладнання СЕ є максимально можливо ефективне для використання в наведених умовах.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Відновлювальна енергетика має доволі великий ряд небезпек. Першочергово це небезпеки пов'язані з запуском в експлуатацію подібних електростанцій та подальшою їх експлуатацією.

Для проведення аналізу з охорони праці необхідно визначити основні небезпечні фактори, що мають вплив людину та навколишнє середовище. Від СЕ це високий рівень затінення, електромагнітне випромінювання і т.д. Від ВЕ додається також високий рівень шуму та вібрації.

Відповідно до цього на початковому етапі будівництва ВДЕ необхідною умовою є зниження всіх можливих ризиків, що пов'язані з проведенням робіт на висоті, роботою в електроустановках, роботою з великими та габаритними частинами та механізмами. При цьому обов'язковою умовою є врахування погодних умов при проведенні робіт.

Забезпечення охорони праці при виконанні робіт є першочергове проведення інструктажів. При цьому всі задіяні працівники і в тому числі монтажники повинні пройти інструктаж та обов'язкове навчання з електробезпеки та безпеки проведення робіт.

Відповідно до цього всі задіяні в проведенні робіт працівники повинні мати необхідні допуски та дозволи, оскільки при проведенні робіт є підвищені небезпеки, наведені вище.

Регламент проведення робіт потребує щоб обов'язково всі працівники мали засоби індивідуального захисту. При цьому кожен працівник повинен мати спецодяг, захисне взуття, каски.

Перед початком проведення робіт виконують оцінку місця проведення робіт та здійснюють огороження будівельного майданчику. Відповідно до проектної документації обирають необхідні для проведення робіт інструменти та різного роду засоби для проведення робіт.

Під час проведення робіт обов'язкове використання кожним працівником різноманітних страхувальних систем, захисних огорожень. При використанні

спеціальних підіймальних механізмів обов'язково потрібно призначити відповідального працівника, який має відповідні допуски до роботи з даними засобами.

Іншим небезпечним фактором є можливість отримання електричного шоку, особливо при проведенні підключення. Фотомодулі панелей, особливо на сонці завжди знаходяться під напругою. Виходячи з цього при виконанні робіт потрібно обов'язково використовувати ізольовані інструменти та діелектричні ЗІЗ.

Іншою небезпекою при виконанні робіт з різними типами ВДЕ є падіння інструментів з висоти. Для зниження подібних ризиків необхідною умовою є огороження робочої зони, використання фіксацій інструментів на поясі. При цьому піднімання різноманітних панелей чи важких предметів обов'язково повинно виконуватись за допомогою спеціального підйомного обладнання.

ВЕ також мають подібні небезпеки та потреби. Хоча ВЕ, що використовуються не з щоглами невеликої висоти в порівнянні з промисловими установками, а отже для підйому на них потрібне додаткове обладнання. При проведенні робіт на ВЕ потребує обережного поводження з лопатями. На час проведення робіт здійснюють їх фіксацію, щоб не виникало додаткових небезпек при проведенні робіт.

Особливої уваги потребує безпека праці при проведенні технічного обслуговування джерел ВДЕ. Першочергово необхідно виконати знеструмлення обладнання та проведення випробування на відсутність напруги.

Проводити роботи дозволяється лише з використанням сертифікованого інструменту. Весь інструмент повинен бути перевірений та знаходитись в справному стані. Особливої уваги потребує інструмент, що використовується в роботах під напругою.

При підніманні різноманітних важких компонентів, таких як акумулятори, інвертори необхідною умовою є використання спеціального підйомного обладнання, що дозволить уникнути травмування спини працівників.

Необхідно також використовувати захист клем акумуляторів та використовувати при їх транспортуванні захищені металеві частини для уникнення замикання. При проведенні монтажу необхідно надійно закріплювати на стелажах, що розраховані для їх монтажу.

Висновок до розділу

При виконанні наведених заходів з охорони праці можна забезпечити всіх працівників та відповідно користувачів ВДЕ. Наведені заходи дозволяють знизити показники травматизму на виробництві.

5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Для проведення економічної оцінки пропонується виконати аналіз вартості обладнання для створення ВДЕ. При цьому пропонується виконати окремий підрахунок вартості СЕ та ВЕ.

Вартість обладнання обираємо відповідно до прийнятого переліку та розрахованої кількості, загальна вартість ВДЕ буде складатись з вартості обладнання та проведення монтажних-налагоджувальних робіт. Вартість обладнання для СЕ наведена в таблиці 5.1, а для ВЕ наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.1 – Вартість обладнання СЕ

Обладнання	Кількість, шт.	Вартість одиниці обладнання, грн	Загальна вартість, грн
Сонячна панель Bluesun Solar Topcon Bifacial Half Cell потужністю 610 Вт	105	3 277	344 085
Акумулятор Micro Art 2.960GEL	144	150	21 600
Контролер MPPT JUTA 100A	1	2 990	2 990
Інвертор Deye SUN-16K-SG01LP1-EU	1	154 448	154 448
Додаткове обладнання			50 000
ВСЬОГО			573 123

Для розрахунку вартості обладнання ВЕ враховуємо використання такого ж контролера та інвертора для працездатності системи.

Таблиця 5.2 – Вартість обладнання ВЕ

Обладнання	Кількість, шт.	Вартість одиниці обладнання, грн	Загальна вартість, грн
Вітрогенератор Winder W5	1	34 935	34 935
Щогла	1	18 240	18 240
Контролер MPPT JUTA 100A	1	2 990	2 990
Інвертор Deye SUN-16K-SG01LP1-EU	1	154 448	154 448
Додаткове обладнання (провід, кріплення та ін.)			50 000
ВСЬОГО			260 613

З отриманих даних бачимо, що першочергово вартості різних джерел значно відрізняються. При цьому вартість СЕ є доволі значною але основний виробіток електроенергії лягає саме на неї.

Вартість монтажних та налагоджувальних робіт станом на сьогодні варіюється в залежності від складності, об'єму робіт та ін. При цьому цінова політики на території Сумської області становить від 42 000 грн до 71 000 грн. В розрахунках неможливо визначити точну вартість монтажних-налагоджувальних робіт через відсутність проектно-кошторисної документації, а отже пропонується взяти середнє значення. Приймаємо вартість монтажних-налагоджувальних робіт рівною 56 500 грн. Відповідно загальна вартість різних типів ВДЕ під «ключ» для приватного домогосподарства становить:

- сонячна електростанція – 629 623 грн;
- вітроелектрогенераторної установки – 317 113 грн;
- комбінованої установки – 890 236 грн.

Також необхідно визначити річне значення електроенергії, що зможуть згенерувати дані установки:

- сонячна електростанція – 9430,9 кВт·год;
- вітроелектроустановки – 2018,5 кВт·год;
- комбінованої установки – 11449,4 кВт·год.

Необхідно зауважити, що в розрахунки вкладалась необхідність автономії приватного домогосподарства протягом 3 днів в зимовий період. Відповідно до цього значний виробіток електроенергії СЕ в літній період можна компенсувати за рахунок її продажу в електричну мережу.

Термін окупності запропонованих варіантів ВДЕ можна розрахувати з виразу:

$$T_o = \frac{K_{np}}{(E_r - E_n) C_{зт}} \quad (5.1)$$

де E_r – енергія, що згенерована відповідним джерелом ВДЕ за рік, кВт·год;

E_n – енергія спожита приватним домогосподарством за рік, кВт·год;

C_{3T} – ціна продажу електроенергії по зеленому тарифу станом на 2025 р.

Ціна продажу електроенергії по зеленому тарифу різна для СЕ та ВЕ. Відповідно до цього при будівництві подібної електростанції в період 2025-2029 років ціна продажу електроенергії складає:

- для сонячних електростанцій – 7,06 грн/кВт·год;
- для вітроелектроустановок – 6,38 грн/кВт·год;
- для комбінованої ВДЕ – 5,03 грн/кВт·год.

Пропонується також розглянути особливості отримання коштів за зеленим тарифом від побудови подібних ВДЕ за місяцями, з врахуванням продажу різниці між виробленою та спожитою електроенергією (таблиця 5.3).

Таблиця 5.3 – Отримання можливих коштів за продаж електроенергії від ВДЕ по місяцях року

Показник	Місяць року											
	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Кількість електроенергії отриманої від СЕ для продажу по зеленому тарифу, кВт·год	20,4	270,3	636,5	878,5	1107,2	1152,6	1164	1010,8	648,4	350,1	85,3	-
Кількість електроенергії отриманої від ВЕ для продажу по зеленому тарифу, кВт·год	-	-	-	23,6	4,9	-	-	-	1,9	27,2	25	-
Загальна вартість електроенергії від СЕ проданої в мережу по зеленому тарифу, грн	144	1908	4494	6202	7817	8137	8218	7136	4578	2472	602	-
Загальна вартість електроенергії від ВЕ проданої в мережу по зеленому тарифу, грн	-	-	-	151	31	-	-	-	12	174	160	-

Відповідно до отриманих даних проведемо розрахунок термінів окупності запропонованих типів ВДЕ.

$$T_0^{CE} = \frac{573123 + 56500}{(9430,9 - 2142) \cdot 7,06} = 12,2 \text{ років}$$

$$T_0^{CE+BE} = \frac{833736 + 71000}{(11449,4 - 2142) \cdot 5,03} = 19,3 \text{ років}$$

Як видно SE при таких параметрах окупиться фактично за період більше 12 років. При цьому окупність BE прорахувати неможливо, адже вона виробляє менше електроенергії за рік ніж споживає. А отже можна зробити висновок про повну неефективність встановлення вітряків для подібних цілей в Сумському регіоні. При цьому в якості дешевого варіанту підтримання заряду акумуляторів без окупності системи варіант встановлення BE можливий.

При цьому комбінована система є доволі дорогою для її будівництва і відповідно терміни її окупності є доволі значними – більше 15 років. А отже ефективного використання комбінованих систем спостерігати не можливо.

Висновок до розділу

Проведений економічний аналіз фактично підтверджує ефективність використання SE для приватних домогосподарств. При цьому BE використовувати недоцільно, адже виробіток електроенергії не покриває споживання приватним домогосподарством. Комбіновані системи також не мають значної ефективності через доволі високу вартість обладнання та доволі високі терміни окупності.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. Виходячи з проведеного аналізу бачимо певні особливості у споживанні електроенергії різними електроприладами приватного домогосподарства. При цьому протягом року спостерігається значне коливання основних показників по споживанню електричної енергії. З більшості літературних джерел відомо, що спостерігається і нерівномірність використання ВДЕ. Основною проблемою використання ВДЕ для приватного домогосподарства є те, що в момент максимального виробітку електричної енергії приватне домогосподарство буде споживати незначну кількість електроенергії. І навпаки, при низькому виробництві електроенергії ВДЕ споживання значно зростає. Виходячи з цього необхідно виконати коригування споживання електроенергії протягом року. Подібне коригування може бути виконано з використанням електроенергії з мережі.

За умови виникнення «блекаутів» в Сумській області пропонується виконати розрахунки та вибір обладнання ВДЕ, в розрахунку відсутності електропостачання протягом 3 діб.

2. Відповідно до отриманих даних можна сказати, що найбільш перспективним в плані використання ВДЕ для приватного домогосподарства залишається СЕ, що має менший вплив на людину. При цьому можливість економії площі досягається за рахунок встановлення панелей на дахах будівель (за умови наявності необхідної площі та орієнтування). Використання ВЕ має ряд обмежень у використанні приватного домогосподарства, а отже спостерігаємо доволі невелике їх використання на території Сумської області. Додатково необхідно врахувати, що використання ВЕ обмежено невеликою кількістю вітряних потоків та їх нестабільністю протягом року, що також робить їх малоефективними.

3. Використання ВДЕ для живлення приватних домогосподарств на сьогодні є доволі перспективним, особливо перспективним є напрям сонячної енергетики. Вітроенергетика є доволі проблемною при використанні в Сумській

області. Вирішення даного питання можливе з використанням комбінованих систем, але проблемним питанням стає вартість подібної системи. Відповідно до проведених розрахунків обране обладнання СЕ є максимально можливо ефективно для використання в наведених умовах.

4. При виконанні наведених заходів з охорони праці можна забезпечити всіх працівників та відповідно користувачів ВДЕ. Наведені заходи дозволяють знизити показники травматизму на виробництві.

5. Проведений економічний аналіз фактично підтверджує ефективність використання СЕ для приватних домогосподарств. При цьому ВЕ використовувати недоцільно, адже виробіток електроенергії не покриває споживання приватним домогосподарством. Комбіновані системи також не мають значної ефективності через доволі високу вартість обладнання та доволі високі терміни окупності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. N. Shakhovska, M. Medykovskyy, R. Melnyk та N. Kryvinska, «Optimization of the Active Composition of the Wind Farm Using Genetic Algorithms,» Tech Science Press (TSP), т. 69, № 3, pp. 3065-3078, 2021.
2. M. Medykovskyy та R. Melnyk, «Modeling of the energy-dynamic modes of the wind farm with the battery energy storage system (BESS),» Journal of Computational Problems of Electrical Engineering, т. 11, № 1, 2021.
3. М. Медиковський, Р. Мельник та М. Дубчак, «Нейромережевий метод визначення активного складу вітрової електричної станції,» Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Інформаційні системи та мережі», т. 8, р. 55 – 64, 2020.
4. M. Medykovskyy та R. Melnyk, «Processing of data on the intensity of solar radiation for solar power plant management systems,» Econtechmod. An international quarterly journal, т. 7, № 3, pp. 33 - 38, 2019.
5. V. Kravchyshyn, M. Medykovskyy, R. Melnyk та M. Dilai, «Optimization of wind farm structure control,» Advances in Intelligent Systems and Computing CSIT, т. 689, pp. 320-333, 2018.
6. V. Kravchyshyn, M. Medykovskyy та R. Melnyk, «Modification of Dynamic Programming Method in Determining Active Composition of Wind Power Stations,» Computational problems of electrical engineering, № Vol. 6, pp. 83-90, 2019.
7. Р. Мельник, «Аналіз алгоритмів оцінювання ефективності сонячних електростанцій,» в 10 Міжнародна науково практична конференція «Нетрадиційні і поновлювальні джерела енергії як альтернатива первинним джерелам енергії в регіоні», м. Львів, Україна, 2019.
8. Г. Шмідт, А. Конеченков, М. Ільчук та М. Гріцишина, «Вітроенергетичний сектор України 2018. Огляд ринку,» Українська вітроенергетична асоціація, 2019.

9. С. Кудря, Л. Яценко та Г. Душина, Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України, Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2018.

10. О. Кармазін, Балансова надійність електроенергетичних систем в умовах зростання частки відновлюваної енергетики. Автореферат, Київ: Національної академії наук України, 2019.

11. В. Павловський, Л. Лук'яненко, І. Гончаренко та А. Захаров, «Обмеження потужності відновлюваних джерел енергії за умови приєднання до електричної мережі,» Праці ІЕД НАНУ, № 43, pp. 18-23, 2016.

12. П. Лежнюк, В. Комар та С. Кравчук, Балансова надійність електричної мережі з фотоелектричними станціями: монографія, Вінниця: ВНТУ, 2018.

13. І. Щур та В. Климко, «Техніко-економічне обґрунтування параметрів гібридної вітро-сонячної системи для електропостачання окремого об'єкта. Електромеханічні і енергозберігаючі системи,» Електромеханічні і енергозберігаючі системи, № 2, pp. 92-100, 2018.

14. М. Кузнєцов, О. Лисенко та О. Мельник, «Особливості стохастичної оптимізації гібридних енергосистем на базі ВДЕ,» Відновлювана енергетика, № 2, pp. 6-15, 2018.

15. М. Кузнєцов та О. Лисенко, «Оцінка балансу потужності комбінованих енергосистем,» Відновлювана енергетика, № 4, pp. 6-14, 2018.

16. М. Стаднік, Д. Проценко та С. Бабій, «Гібридне електропостачання з 161 використанням відновлюваних джерел енергії,» Вісник Вінницького політехнічного інституту, № 4, pp. 32-41, 2020.

17. О. Болдирєв, А. Квицинський, М. Редін, М. Клопот та М. Головатюк, «Вимоги до вітрових та сонячних електростанцій при їх роботі паралельно з об'єднаною енергетичною системою України,» 2019. [Онлайновий]. Available: https://ua.energy/wp-content/uploads/2019/06/SOU-NEK-341.001_2019.pdf. [Дата звернення: 06.06.2021].

18. М. Кулик та О. Згуровець, «Можливості використання великих накопичувачів електроенергії для стабілізації частоти в об'єднаних енергосистемах з потужними сонячними електростанціями,» Відновлювана енергетика, № 3, р. 6–14, 2018.
19. А. Барило, М. Бенменні, В. Бурдюк, М. Бурдюк та П. Васько, Відроджувальні джерела енергії. Монографія, Київ, 2020.
20. В. Кравчишин, Інтелектуалізація управління комплексною системою генерації електричної енергії, Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2019.
21. О. Ємець та Л. Колечкіна, Ємець О.О. Задачі комбінаторної оптимізації з дробово-лінійними цільовими функціями: Монографія, Київ: Наук. думка., 2005.
22. М. Медиковский та О. Шуневич, «Виконання цілочисельного програмування для визначення складу вітрової електростанції,» Збірник 164 наукових праць Ін-ту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, т. 57, рр. 230-233, 2017.
23. О. Шуневич, Інформаційна технологія формування динамічного складу вітрової електростанції, Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2019.
24. М. О. Medykovskyy, V. M. Teslyuk та О. В. Shunevych, «Optimization of wind power stations structure by the dynamic programming method,» Актуальні проблеми економіки, № 2, рр. 508-515, 2018.
25. А. Кожухівський та О. Намофілова, «Застосування генетичних алгоритмів у задачі про укладання ранця,» АСУ и приборы автоматики, № 173, рр. 43-47, 2015. 165
26. М. Кузнецов та О. Лисенко, «Можливості короткотермінового прогнозування сонячної енергії,» Відновлювана енергетика, № 1, рр. 25- 32, 2017.
27. Енергетична стратегія України до 2035 року. Затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 № 605-р.

ДОДАТКИ

Додаток А

Визначення особливостей електроспоживання приватним домогосподарством

Таблиця А.1 – Розрахунки навантаження приватного домогосподарства

Характеристика електроприймачів				Розрахункові коефіцієнти		Коефіцієнти потужності		Розрахункова потужність			Розрахунковий струм I , А
Електроприймач	К-ть, шт.	Номінальна потужність одного споживача, Вт	Загальна потужність групи електроприймачів P_{Σ} , Вт	Коефіцієнт попиту K_c	Коефіцієнт K_u	$\cos\varphi$	$\operatorname{tg}\varphi$	P_p , кВт	Q_p , кВар	S_p , кВА	
Світильники з енергозберігаючими лампами	3	85	255	1	0,8	0,850	0,329	0,204	0,057	0,211	0,959
Прожектор	1	500	500	0,8	0,6	0,850	0,329	0,240	0,067	0,249	1,131
Вуличне освітлення світлодіодним світильником	2	30	60	1	0,8	0,850	0,329	0,048	0,013	0,049	0,226
Освітлення господарських будівель	10	20	200	1	0,8	0,850	0,329	0,160	0,044	0,164	0,745
Насос подачі води зі свердловини	1	250	250	0,7	0,2	0,900	0,484	0,035	0,015	0,038	0,172
Світильники з ЛН	15	20	300	1	0,8	0,850	0,620	0,240	0,126	0,270	1,227
Світильники з ЛН	10	20	200	1	0,8	0,850	1,169	0,160	0,158	0,223	1,013
Конвектор електричний	5	2000	10000	1	0,2	0,650	1,169	2,000	1,159	2,31	10,500
Конвектор електричний	4	1500	6000	1	0,2	0,650	1,169	1,200	0,911	1,506	6,845
Конвектор електричний	1	1000	1000	1	0,2	0,650	1,169	0,200	0,151	0,250	1,136
Конвектор електричний	2	750	1500	1	0,2	0,650	1,169	0,300	0,227	0,376	1,709
Насос водяний	1	780	780	0,7	0,2	0,85	0,620	0,109	0,057	0,305	1,386
Бойлер електричний	2	3000	6000	1	0,2	1,00	0,000	1,200	0,000	1,200	5,454
Холодильник	1	200	200	1	0,8	0,65	1,169	0,160	0,121	0,200	0,909
Плита на 4 конфорки	1	5500	5500	0,5	0,4	1,00	0,000	1,100	0,000	1,100	5,000
Чайник	1	1200	1200	1	0,6	1,00	0,00	0,720	0,000	0,720	3,272
ЖК телевізор	1	150	150	0,7	0,2	0,9	0,484	0,021	0,009	0,023	0,104
СВЧ піч	1	2500	2500	1	0,4	0,85	0,62	1,000	0,527	1,130	5,136
Витяжка	1	150	150	1	0,4	0,65	1,169	0,060	0,045	0,075	0,340
Світильник з ЛН Е27	8	20	160	1	0,8	0,95	0,329	0,128	0,040	0,133	0,604
Система відеоспостереження	1	500	500	1	1	0,9	0,484	0,500	0,217	0,545	2,477
Холодильник	1	200	200	1	0,8	0,65	1,169	0,160	0,121	0,200	0,909
Морозильна камера	1	100	100	1	0,8	0,65	1,169	0,080	0,060	0,100	0,454
Чайник	1	1200	1200	1	0,6	1,00	0,00	0,720	0,000	0,720	3,272
СВЧ піч	1	2000	2000	1	0,4	0,85	0,62	0,800	0,421	0,903	4,104
Плита 2-ох конфорочна	1	3500	3500	0,5	0,4	1,00	0,00	0,700	0,000	0,700	3,181
Світильник люмінесцентний 2 лампи	1	84	84	1	0,8	0,7	1,02	0,067	0,047	0,081	0,368
РАЗОМ			44489					12,312	4,593	13,781	

Таблиця А.2 – Дані по електроспоживачам приватного домогосподарства

Місце установки електроспоживача	Електроспоживач	Кількість, шт.	Потужність одного ЕП, Вт	Загальна потужність, Вт
Освітлення вуличне	Вуличний світильник з енергозберігаючою лампою (Е40)	3	85	255
	Прожектор	1	500	500
	Вуличне освітлення (світлодіодний світильник)	2	30	60
	Вуличне освітлення та освітлення господарських будівель з ЛН Е27	10	20	200
	Насос	1	250	250
Загальна				1265
Будинок проживання	Світильник з ЛН Е27	15	20	300
	Світильник з ЛН Е27	10	20	200
	Конвектор електричний Thermor EVIDENCE 2 ELEC 2000	5	2000	10000
	Конвектор електричний Thermor EVIDENCE 2 ELEC 1500	4	1500	6000
	Конвектор електричний Thermor EVIDENCE 2 ELEC 1000	1	1000	1000
	Конвектор електричний Thermor EVIDENCE 2 ELEC 750	2	750	1500
	Насос водяний	1	780	780
	Бойлер електричний	2	3000	6000
	Холодильник	1	200	200
	Плита 4-х конфорочна	1	5500	5500
	Чайник	1	1200	1200
	ЖК телевізор	1	150	150
	СВЧ піч	1	2500	2500
	Витяжка	1	150	150
Загальна				35480
Будиночки господарські, літня та інше	Світильник з ЛН Е27	8	20	160
	Система відеоспостереження	1	500	500
	Холодильник	1	200	200
	Морозильна камера	1	200	200
	Чайник	1	1200	1200
	СВЧ піч	1	2000	2000
	Плита 2-х конфорочна	1	3500	3500
Світильник люмінесцентний, 2 лампи	1	84	84	
Разом				7744
Загальна				44489

Додаток Б

Особливості вибраного обладнання

Таблиця Б.1 – Технічна характеристика сонячної панелі Bluesun Solar
Topcon Bifacial Half Cell 610W

Категорія товару	Сонячні панелі
Виробник	Bluesun Solar
Потужність, Вт	610
Конструкція	Цільний модуль
Вид	Портативні (Переносна)
Призначення	Для дому та дачі Для котеджу На дах
Тип фотомодуля	Монокристалічна
Особливості моделі	Двостороння панель (Bifacial)
Клас	Побутовий
Країна бренду	Китай
Країна збірки	Китай
Сонячні елементи	Topcon Bifacial
Кількість комірок	132
Сертифікат	IEC 61215 / IEC 61730 / CE / TUV
Максимальна потужність STC	610 Вт
Робоча напруга STC	50,34 В
Робочий струм STC	15,47 А
Напруга відкритого ланцюга STC	41,58 В
Струм короткого замикання STC	14,66 А
Ефективність модуля STC	23,61
Розмір	2278×1134×30 мм
Вага	32,5 кг

Таблиця Б.2 – Технічні дані Winder W5

Найменування	Значення
Діаметр вітроколеса	2,5 м
Номінальна швидкість вітру	8 м/с
Номінальна напруга	48
Номінальна/максимальна потужність	500/700 Вт
Генератор	трифазний, постійні магніти
Номінальна швидкість обертання	400 об/хв
Стартова швидкість вітру	2 м/с
Рекомендована висота щогли	від 6.0 м
Передача	пряма
Термін експлуатації	20 років

Таблиця Б.3 – Технічна характеристика вітрогенератора RX-SV5000 5 кВт

Найменування	Значення
Номінальна потужність, кВт	5
Максимальна потужність, кВт	5,2
Довжина лопаті, м	1,7
Діаметр вітрового колеса, м	0,6
Кількість лопатей, шт	2
Стартова швидкість вітру, м/с	2
Оптимальна швидкість вітру, м/с	12
Робоча швидкість вітру, м/с	4
Максимальна швидкість вітру, що витримує обладнання, м/с	45
Матеріал лопатей	скловолокно
Тип вітрогенератора	генератор з постійним магнітом та типом диску без сердечника
Вологість робочого середовища	≤90%
Висота наді рівнем моря, м	≤4500
Рекомендована висота встановлення, м	6-12
Захист від перевантаження	електромагнітне гальмо
Ступінь захисту	IP54
Рівень шуму, дБ	30
Номінальна напруга, В	48В, 96В, 120В, 220 В
Серія	Spiral Type
Робоча температура	-40°C +80°C

Таблиця Б.4 – Характеристики АКБ MicroArt 2-960

Найменування	Значення
Ємність АКБ	960 ампер
Вихідна напруга	2 вольта
Енергоємність	1 920 Вт
Кількість електроліту для заповнення АКБ	13 літрів
Кількість циклів	від 1 500
Строк служби АКБ	15 років
Гарантія	2 роки
Габарити	66×16×20см
Вага (у сухозаряженом стані)	50 кг
Тип	Обслуговується

Таблиця Б.5 – Технічна характеристика EYE SUN-16K-SG01LP1-EU (SUN-16K-SG02LP1-EU)

Найменування	Значення
Призначення	Сонячні інвертори, Дома, Дачі
Тип архітектури	Гібридні
Номінальна потужність, кВт	16
Номінальна потужність, кВт (фільтр)	16
Максимальна короткочасна потужність, кВт	17,6
Кількість фаз / Вихідна напруга	Однофазний (220 В)
Форма вихідної напруги	Чиста синусоїда
Наявність зарядного пристрою	Із зарядним пристроєм
Час перемикання, мс	8
Напруга акумулятора, В	48
ККД, %	97,6
Кількість MRRT	3
Діапазон роботи MRRT, В	150-425
Індикація	LCD дисплей
Ступінь захисту	IP65
Висота, мм	798
Ширина, мм	464
Глибина, мм	300
Маса, кг	48,5
Гарантія, міс	60
Максимальний струм, А	290