

УДК 620.91, 628.17, 546.11

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ВІТРУ ТА СОНЦЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПОТРЕБ В ЕЛЕКТРИЧНІЙ ЕНЕРГІЇ АНТАРКТИЧНОЇ СТАНЦІЇ «АКАДЕМІК ВЕРНАДСЬКИЙ»

Отримано 10 лют. 2022; рекомендовано до публікації 21 бер. 2022

Доступно онлайн 29 черв. 2022

О. О. Кармазін¹, К. В. Петренко², І. В. Іванченко³Автор для кореспонденції: Олексій Кармазін,
e-mail: alexey.karmazin@gmail.com

Використання викопного палива для енергозабезпечення Української антарктичної станції "Академік Вернадський" (УАС) не відповідає зобов'язанням України щодо мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище та вимагає значних витрат на його транспортування на станцію. Вирішити дану проблему можна за рахунок використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Ефективність використання ВДЕ для забезпечення електричною енергією дослідницьких станцій в даному регіоні підтверджено досвідом інших країн. Сучасні алгоритми керування роботою дизельних генераторів дозволяють створювати гібридні систем електропостачання з використанням вітрової та сонячної енергії, що характеризуються високою надійністю електропостачання об'єкту та низькими витратами дизельного палива.

Для оцінки можливості використання вітроелектричної (ВЕС) і фотоелектричної станції (ФЕС) було виконано аналіз багаторічних даних зі швидкості вітру та сонячної радіації. В результаті дослідження було встановлено можливість використання ВДЕ для забезпечення УАС електричною енергією. Надходження енергії вітру має більш рівномірний характер впродовж року, в той час як для сонячної енергії характерне істотне зниження з травня по червень (до нуля в липні). Аналіз погодинних синхронних графіків генерації ВЕС та ФЕС, отриманих на підставі супутникових даних, дозволив виявити від'ємний слабкий кореляційний зв'язок на рівні від -0,14 (квітень) до -0,5 (вересень). Значна нерівномірність генерації ФЕС впродовж року та від'ємний кореляційний зв'язок свідчать про доцільність одночасного використання ФЕС та ВЕС, що дозволить отримати більш рівномірне надходження електричної енергії від ВДЕ.

Відсутність обліку спожитої електричної енергії не дозволяє на даному етапі визначити оптимальну потужність ВДЕ для забезпечення максимальної компенсації потреб УАС. Під час аналізу режимів роботи основного обладнання станції встановлено наявність базового навантаження в обсязі 25 кВт, що може бути компенсоване за рахунок ВДЕ. Використання ВДЕ встановленою потужністю 30 кВт дасть змогу забезпечити від 8,6 % (ФЕС) до 14,8 % (ВЕС) річної потреби УАС в електроенергії. Це дозволить уникнути від 25 т (ФЕС) до 44 т (ВЕС) викидів CO₂ на рік. Бібл. 18, табл. 6, рис. 5.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, вітроелектрична установка, дизельгенератор, УАС «Академік Вернадський», фотоелектрична станція.

THE USE OF WIND AND SOLAR ENERGY RESOURCES TO PROVIDE ELECTRICITY NEEDS PROVIDE AT THE AKADEMIK VERNADSKY STATION (ANTARCTICA)

Received 10 Feb. 2022; accepted 21 March 2022.

Available online 29 June 2022

O. Karmazin¹, K. Petrenko², I. Ivanchenko³Author for correspondence: O. Karmazin
e-mail: alexey.karmazin@gmail.com

The use of fossil fuels for power supply of the Ukrainian Akademik Vernadsky station (UAC) in Antarctica does not meet Ukraine's commitment to minimize the negative im-

¹ канд. техн. наук, старший науковий співробітник відділу комплексних енергосистем Інституту відновлюваної енергетики НАН України
<https://orcid.org/0000-0002-7628-6880>

² головний технолог відділу вітроенергетики Інституту відновлюваної енергетики НАН України
<https://orcid.org/0000-0002-2322-9030>

³ головний технолог відділу вітроенергетики Інституту відновлюваної енергетики НАН України
<https://orcid.org/0000-0002-5083-4180>

¹ CScTech, Institute of renewable energy, NAS Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-7628-6880>

² chief technologist of Wind Energy Department, Institute of Renewable Energy of NAS of Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-2322-9030>

pact on the environment and requires significant costs for its transportation to the station. Renewable energy sources (RES) can be used to solve this problem. The experience of other countries in this region confirms the efficiency of RES using to provide electricity to research stations. Modern algorithms for controlling the diesel generators operation allow the construction of hybrid power supply systems using wind and solar energy, which are characterized by high reliability of power supply and low consumption of diesel fuel.

To assess the feasibility of using a wind power plant (WPP) and a photovoltaic power plant (PPS), long-term wind speed and solar radiation data were analyzed. As a result of the study, the possibility of using RES to provide UAC with electricity was established. The distribution of wind energy is smoother throughout the year, while solar energy is characterized by a significant decrease from May to June (to zero in July). The analysis of hourly synchronous graphs of WPP and PPS generation based on satellite data revealed a negative weak correlation between -0.14 (April) and -0.5 (September). Significant uneven generation of PPS during the year and a negative correlation indicate the feasibility of simultaneous use of PPS and WPP, which will provide a more uniform supply of electricity from RES.

The lack of electricity consumption data does not allow to determine the optimal RES capacity to ensure maximum compensation for the needs of UAC at this stage. When analyzing the operating modes of the station main equipment, it was established that there is a base load of 25 kW, which can be compensated by the RES. The use of RES with an installed capacity of 30 kW will provide from 8.6% (PPS) to 14.8% (WPP) of the UAC's annual electricity demand. This will avoid between 25 t (PPS) and 44 t (WPP) of CO₂ emissions per year. Ref. 18, tab. 6, fig. 5.

Keywords: renewable energy sources, wind turbine, diesel generator, photovoltaic power station, Akademik Vernadsky station.

Перелік використаних скорочень та позначень:

ВДЕ – відновлювані джерела енергії
ВЕС – вітрова електростанція
ВЕУ – вітроелектрична установка

ДГ – дизельний генератор
УАС – Українська антарктична станція
ФЕМ – фотоелектричний модуль
ФЕС – фотоелектрична станція

Вступ. Україна одна з небагатьох країн світу, що може здійснювати дослідження на власній антарктичній станції. Забезпечення енергією (тепловою та електричною) Української антарктичної станції "Академік Вернадський" (УАС) здійснюється за рахунок привозного палива – дизельного пального [1]. З огляду на віддаленість УАС та кліматичні особливості регіону розташування [2] доставка палива для систем життєзабезпечення складає істотну статтю витрат в бюджеті станції. Окрім цього, необхідно постійно підтримувати в належному технічному стані системи зберігання та транспортування палива, бо навіть незначне його протікання може призвести до значних екологічних наслідків. Також слід зауважити, що саме собою використання дизельного пального спричиняє викиди в навколишнє середовище.

Одним із шляхів зменшення використання викопного пального, а за певних умов навіть повної відмови від нього, є перехід на відновлювані джерела енергії (ВДЕ) – енергії вітру та сонця.

До основних переваг систем електропостачання на базі вітрової та сонячної енергії можна віднести:

- розповсюдженість практично по всій планеті;
- відсутність паливної складової та викидів забру-

днювальних речовин під час роботи;

- легкість масштабування (збільшення потужності) та модернізації;
- можливість інтеграції до вже існуючих систем на основі традиційних технологій.

Перешкодою на шляху реалізації подібних систем може стати відсутність достатніх площ для розміщення обладнання.

Використання ВДЕ вже давно довело свою ефективність для забезпечення енергією об'єктів розташованих в місцевості, де відсутні електричні мережі загального користування. Їх ефективність не викликає жодних сумнівів навіть в арктичних умовах. Як приклад можна навести дослідницькі станції Принцеса Елізабет" (Бельгія), "Палмер" та "Мак-Мердо" (Сполучені Штати Америки) [3–6]. На цих станціях вже тривалий час для забезпечення енергією використовують сонячні та вітрові електростанції.

Відповідно до ряду міжнародних директив [7], країни-члени Антарктичного договору для забезпечення життєдіяльності своїх науково-дослідних станцій мають здійснювати заходи для мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище

(впроваджувати механізми зберігання та економного поводження з паливом, використання систем енергопостачання на базі джерел відновлюваної енергії та інших засобів мінімізації викидів в атмосферу тощо).

З огляду на це необхідно дослідити можливість використання ВДЕ для забезпечення енергією Української антарктичної станції "Академік Вернадський".

Огляд можливих схем використання ВДЕ для енергозабезпечення. В залежності від встановленої потужності та конфігурації системи ВДЕ можуть використовуватися як додаткове джерело енергії для зменшення витрат викопного палива або як основне.

В першому випадку за рахунок ВДЕ покривається лише певна частина споживання та за наявності в системі акумуляторної батареї можливе забезпечення резервного живлення електроенергією основних споживачів упродовж певного часу. Така схема є більш дешевою, простою для реалізації та дозволяє підвищити надійність електропостачання споживачів.

Використання ВДЕ як основного джерела енергії має свої особливості, пов'язані з нерівномірністю надходження первинної енергії (вітру або сонця) впродовж року та відсутністю можливості її довготривалого зберігання.

Зазвичай в автономних системах для зберігання електричної енергії використовують електрохімічні акумулятори. Ці технології ефективно можуть забезпечувати зберігання на незначних проміжках часу – до кількох діб [8], тоді як час надходження енергії від ВДЕ має істотну нерівномірність як в добовому розрізі, так і впродовж року (рис. 1). Тому для надійного забезпечення споживачів електричною енергією такі системи зазвичай містять генератори з двигуном внутрішнього згоряння.

На рис. 2 наведено приклад схеми гібридної автономної системи електропостачання [10].

Використання дизельних генераторів (ДГ) має певні технічні особливості які насамперед полягають у відсутності можливості швидкого старту з холодного стану та в обов'язковому мінімальному робочому навантаженні.

Водночас слід зауважити, що вже розроблені та серійно виготовляються ДГ, що позбавлені цих недоліків та дозволяють максимально ефективно використовувати енергію ВДЕ.

Як приклад можна навести генератори, розроблені Данською компанією «Danvest» [11]. Головна особливість цих генераторів полягає в тому, що вони мо-

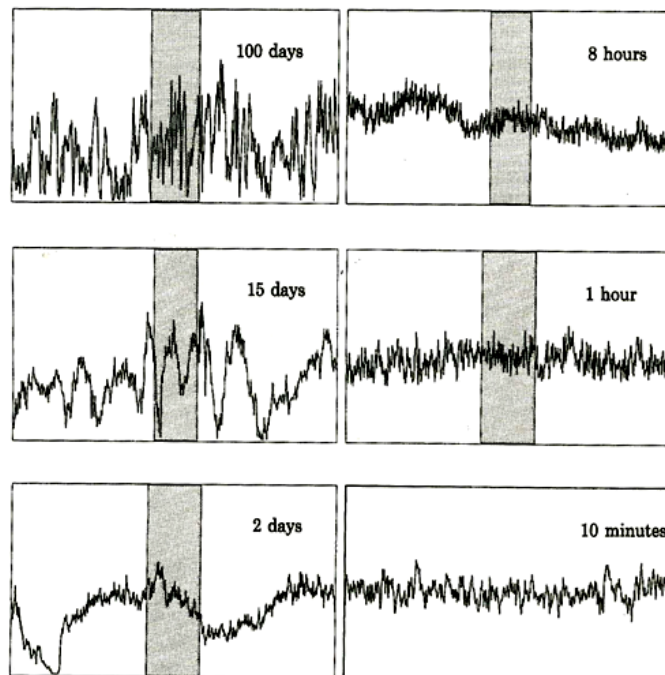


Рис. 1. Зміна швидкості вітру на різних часових інтервалах [9]

Fig. 1. Wind speed changes on different time intervals [9]

жуть працювати при наднизькому навантаженні (менше 30 %) з мінімальними витратами палива. На рис. 3 проілюстровано роботу такого генератора в парі з вітроелектричною установкою. Можливість роботи генератора з низькою потужністю дозволяє максимально ефективно використовувати енергію від ВДЕ та досягнути максимальної річної економії викопного палива.

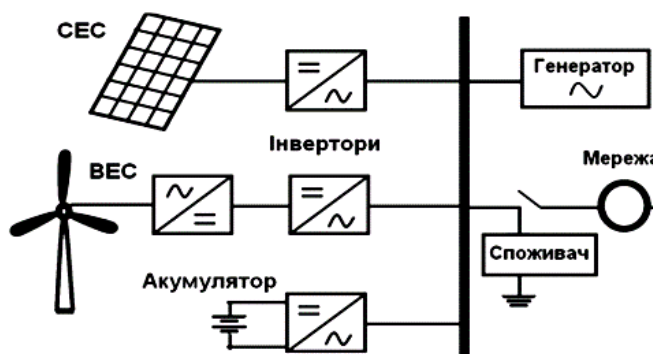


Рис. 2. Схема гібридної автономної системи електропостачання на базі ВДЕ [10]

Fig. 2. Hybrid autonomous power supply system scheme based on RES [10]

Для досягнення даної мети потужність ВДЕ в цій системі приймається з надлишком (до 150% встановленої потужності ДГ). Як наслідок генератор переважну частину часу працює в діапазоні низького навантаження (права частина графіка рис. 3).

У наведеному прикладі дизельний двигун працює в

режимі низького навантаження при швидкості вітру від 9 до 11 м/с або при зниженні споживання електроенергії. При швидкості вітру вище 11 м/с або при подальшому зниженні навантаження системи, генератор переходить в обертовий резерв (режим неробочого ходу) і працює з нульовим навантаженням. При швидкості вітру понад 12 м/с або при подальшому зниженні попиту двигун внутрішнього згоряння відключається магнітним зчепленням від генератора і зупиняється повністю. Контролер потужності, що працює за алгоритмом розробленим компанією «Danvest» забезпечує динамічний баланс між нава-

нтаженням та генерацією під час різких змін енергії, генерованої ВДЕ, та навантаження споживача в режимах неробочого ходу генератора або коли двигун зупинений. При виникненні надлишкової генерації ВДЕ генератор «Danvest» працює у зворотному режимі й обертає двигун внутрішнього згоряння. Генератор змінного струму залишається підключеним до шини для забезпечення системи реактивною потужністю, контролю напруги та частоти і використовується як маховик для згладжування стрибків генерації ВДЕ та навантаження системи.

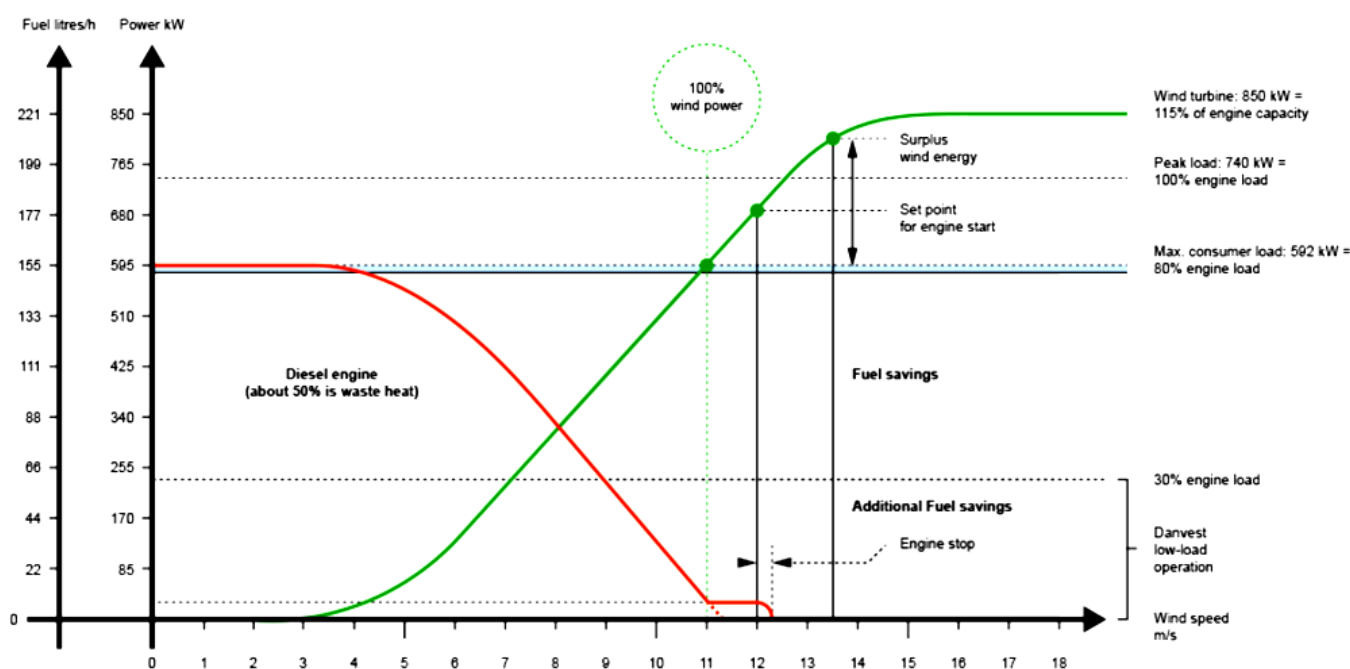


Рис. 3. Приклад роботи дизельгенератора «Danvest» в парі з вітроелектричною установкою [11]

Fig. 3. An example of a diesel generator operation "Danvest" paired with a wind turbine [11]

При зниженні потужності генерованої ВДЕ або зростанні навантаження системи дизельний двигун автоматично під'єднується до генератора і запускається протягом 1–3 с. Вихід генератора на номінальну потужність можливий за 2–5 с. Для швидкого запуску двигун тримається прогрітим і під тиском.

При роботі з низьким навантаженням ДГ також функціонує як додаткове "гнучке" навантаження для підтримки збалансованої роботи мережі. Це дозволяє тримати частоту мережі на рівні 50/60 Гц $\pm$ 0,5 Гц).

Використання синхронного генератора в поєднанні з автоматичним регулятором напруги (AVR) дозволяє підтримувати напругу мережі та виробляти реактивну потужність для живлення асинхронних генераторів, якими може бути обладнано ВЕУ або інших споживачів.

Оцінка можливості використання відновлюваних джерел енергії. Доцільність використання того чи іншого джерела залежить від наявного потенціалу та технічної можливості встановлення генерувального обладнання в безпосередній близькості від споживача. Впровадження відновлюваних джерел енергії на території о. Галіндез потребує детального аналізу багаторічної динаміки надходження сонячної радіації та швидкості вітру (як річного, так і добового ходу).

Для визначення можливості використання вітроелектростанції (ВЕС) та фотоелектростанції (ФЕС) на УАС "Академік Вернадський" виконано аналіз потенціалу сонячної та вітрової енергії, а також динаміки їх надходження впродовж року.

Потенціал сонячної енергії. Оцінку технічно досяжного потенціалу сонячної енергії виконано за допо-

могою програмного забезпечення PVsyst [12].

На сьогоднішній день PVsyst – один з найпоширеніших інструментів для моделювання сонячних електростанцій серед фахівців, що займаються реалізацією промислових сонячних електростанцій.

Це програмне забезпечення має велику бібліотеку даних, що містить характеристики різних типів фотоелектричних модулів і дозволяє отримати метеодані для будь-якої точки світу [12].

З огляду на особливості кліматичних умов у місці розташування УАС розрахунок виконано для різних джерел даних:

Метеостанція УАС (період спостереження з 1994 р. по 2006 р.);

База метеоданих Meteonorm (період спостереження з 1994 р. по 2018 р.) [13];

метеостанція "Палмер" (період спостереження з 2001 р. по 2017 р.) [14].

Розрахункове значення помісячного надходження сонячної радіації для кожного з джерел даних наведено в табл. 1 та проілюстровано на рис. 1.

Згідно з отриманими результатами максимальна сонячна активність припадає на період з жовтня по січень, мінімальна – з травня по червень.

Різниця між розрахунковими значеннями річного надходження сонячної радіації для різних джерел даних складає близько 5 %, що підтверджує достовірність наявних джерел даних та свідчить про можливість подальшого їх використання для розрахунку генерації електричної енергії ФЕС на УАС.

Потенціал енергії вітру. Попередню оцінку технічно досяжного потенціалу енергії вітру для потреб УАС виконано в [15].

Оцінку потенціалу енергії вітру виконано за строкowymi даними швидкості та напрямку вітру за період з 2011 р. по 2020 р. та середньодобовими даними з таблиць метеорологічних спостережень (ТМС) за 2014 р. по 2018 р. Основні параметри швидкості вітру наведено в табл. 2.

Згідно даних ТМС середня швидкість вітру на УАС «Академік Вернадський» за 2014-2018 рр. становить 3,9 м/с, а максимальна середньодобова швидкість вітру дорівнює 18,5 м/с (5 серпня 2018 р.). Максимальні значення в річному ході швидкості вітру припадають на антарктичну зиму (липень–вересень) та осінь (лютий–квітень).

Отримані результати свідчать про наявність достатнього потенціалу енергії вітру для вироблення електричної енергії.

Таблиця 1. Помісячне надходження сонячної радіації на УАС «Академік Вернадський»

Table 1. Monthly solar radiation receipt at the Akademik Vernadsky station

Місяць	Метеостанція УАС, кВт·год/м ²	База метеоданих Meteonorm, кВт·год/м ²	Метеостанція "Палмер", кВт·год/м ²
Січень	122,9	122,6	130,3
Лютий	89,0	98,2	80,5
Березень	67,0	81,5	55,9
Квітень	31,2	41,7	26,3
Травень	18,5	14,3	7,2
Липень	0,0	0,0	0
Червень	17,5	6,5	8,7
Серпень	47,8	36,7	26,3
Вересень	89,8	81,0	131,5
Жовтень	127,4	116,3	189,9
Листопад	152,0	139,2	118,8
Грудень	164,0	142,8	154,1
Всього за рік	927,3	880,9	929,5

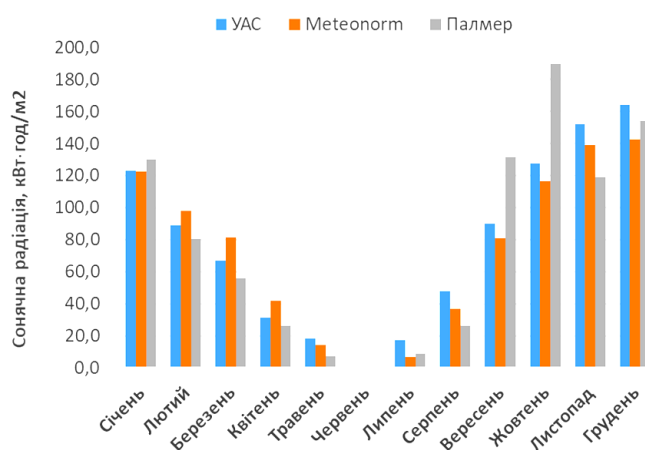


Рис. 4. Помісячне надходження сонячної радіації на УАС «Академік Вернадський»

Fig. 4. Monthly solar radiation receipt at the Akademik Vernadsky station

Характеристика місцевості УАС. Територія розташування УАС характеризується складними геологічними умовами (скельні породи вулканічного походження) [16] та обмеженим вільним простором, що висуває певні вимоги до конструктивних особливостей фундаментів для встановлення об'єктів ВДЕ. Окрім цього, слід враховувати відсутність на острові спеціального пересувного устаткування, здатного піднімати великогабаритні вантажі. Тому при виборі вітроелектричних установок доцільно орієнтуватися на машини невеликої потужності з можливістю влаштування фундаменту без котловану.

Таблиця 2. Основні параметри швидкості вітру на УАС «Академік Вернадський»

Table 2. The wind speed main parameters at the Akademik Vernadsky station

Показник	Значення
Обсяг вимірів	
Період	01.01.2011–31.12.2020
Кількість вимірів	28662
Тривалість вимірів, год	85986
Швидкість вітру на висоті давача	
Середня швидкість вітру, м/с	3,980
Середньоквадратичне відхилення	4,179
Коефіцієнт варіації	105,036
Середня енергетична швидкість, м/с	6,308

При встановленні ФЕС доцільно розглянути можливість монтажу опорних конструкцій для фотоелектричних модулів (ФЕМ) на існуючих будівлях. У разі встановлення ФЕМ на землі доцільно використовувати

баластні системи кріплення. Для ФЕС, на відміну від ВЕУ, відсутні жорсткі вимоги щодо відстаней до інших споруд, а отже, столи ФЕМ можливо розташовувати безпосередньо біля башт ВЕУ. З огляду на обмеженість вільного місця на УАС доцільно розглянути можливість одночасного використання ФЕС та ВЕУ.

Оцінка доцільності одночасного використання вітрової та сонячної енергії. Істотна нерівномірність надходження сонячної радіації впродовж року (рис. 4) не дозволяє розглядати фотоелектричну станцію як основне джерело енергії, тому ФЕС доцільно використовувати в поєднанні з іншими джерелами генерації електроенергії – ВЕУ та ДГ. За таких умов максимальний ефект від ФЕС буде спостерігатися, якщо генерація ФЕС перебуватиме в протифазі до генерації ВЕУ, тобто за наявності від'ємного кореляційного зв'язку.

В табл. 3 наведено результати розрахунку кореляційної залежності між добовою генерацією ВЕУ та ФЕС за період з 2016 року по 2020 рік.

При виконанні розрахунків використано погодинні дані генерації ВЕУ та ФЕС, отримані на основі супутникових даних методом реаналізу [17].

Таблиця 3. Оцінка кореляційного зв'язку між погодинними значеннями генерації ВЕУ та ФЕС за період з 2016 року по 2020 рік

Table 3. Correlation link assessment between hourly values of WT and PPS generation (2016-2020)

Місяць	Рік					Середнє значення
	2020	2019	2018	2017	2016	
Січень	-0,297	-0,055	-0,389	-0,503	-0,626	-0,374
Лютий	-0,284	-0,106	-0,244	-0,303	-0,301	-0,248
Березень	-0,364	-0,266	-0,140	-0,316	-0,562	-0,330
Квітень	-0,359	-0,280	0,416	-0,162	-0,293	-0,136
Травень	-0,255	-0,262	-0,098	-0,189	0,063	-0,148
Червень	-0,099	-0,332	-0,003	-0,447	-0,273	-0,231
Липень	0,092	-0,214	-0,022	-0,543	-0,413	-0,220
Серпень	-0,264	-0,381	-0,476	-0,261	-0,460	-0,369
Вересень	-0,172	-0,509	-0,796	-0,414	-0,416	-0,461
Жовтень	-0,273	-0,637	-0,344	-0,326	-0,381	-0,392
Листопад	-0,492	-0,405	-0,559	-0,197	-0,538	-0,438
Грудень	-0,643	-0,567	-0,624	-0,104	-0,211	-0,430

Результати розрахунку свідчать про наявність від'ємного слабкого кореляційного зв'язку на рівні від -0,14 (квітень) до -0,5 (вересень). Місяці з віщою генерацією ФЕС мають сильніший від'ємний зв'язок (до -0,643). Це дозволяє зробити висновок, що одночасне використання енергії вітру та сонця дозволить отримати більш рівномірне надходження електричної енергії від ВДЕ впродовж року.

Оцінка можливої економії викопного палива при використанні відновлюваних джерел енергії. Забезпечення УАС електричною енергією здійснюється від трьох дизельних генераторів по 100 кВт [1]. В роботі постійно перебуває один з генераторів, другий в цей час перебуває в резерві, третій – на плановому обслуговуванні.

Для коректного вибору потужності джерел генерації електроенергії комбінованої системи електропостачання та оцінки ефективності її роботи необхідно володіти інформацією щодо обсягів помісячного або погодинного споживання електричної енергії. В разі відсутності таких даних попередній розрахунок

можна виконати за встановленою потужністю споживачів та графіком їх роботи.

Аналіз споживання електричної енергії. Прилади обліку спожитої електричної енергії на УАС «Академік Вернадський» відсутні, тому оцінку обсягів споживання електричної енергії виконано за інформацією, наданою обслуговуючим персоналом УАС, встановленою потужністю основних споживачів, графіком їх роботи та витратами палива дизельними генераторами.

Перелік основних споживачів електричної енергії, встановлених на УАС та їх режим роботи наведено в табл. 4.

Розрахунок споживання електричної енергії впродовж року за даними табл. 4 наведено в табл. 5.

Якщо поглянути на табл. 4, то можна відзначити наявність базового навантаження величиною 25 кВт, що працює 24 години на добу. Таке навантаження можна розглядати як мінімально гарантоване для даної системи.

Таблиця 4. Основні групи споживачів електричної енергії УАС «Академік Вернадський»

Table 4. The main groups of electricity consumers at the Akademik Vernadsky station

Група споживачів	Потужність, кВт	Режим роботи
Освітлення, офісна техніка, електроопалення	25	24 год/добу, весь рік
Кухонне обладнання	6	4 год/добу, весь рік
Опріснювач води	8	3 год/добу, весь рік
Електрообігрів столярної майстерні	5	24 год/добу, сезонно
Кран-маніпулятор	10	3 год/добу, сезонно
Встановлена потужність	54	

За даними обслуговуючого персоналу УАС «Академік Вернадський», середнє споживання дизельного пального становить близько 13 л/год. Згідно з паспортними даними дизельного генератора це значення відповідає величині потужності в 34 кВт. А отже, річний виробіток електричної енергії

дизельним генератором становить 297,840 МВт·год на рік. Різниця між отриманим значенням річного споживання електричної енергії за витратами пального та значенням, розрахованим за встановленою потужністю споживачів, становить близько 10 %, що свідчить про достатню точність розрахунків.

Таблиця 4. Розрахунок потреби в електричній енергії споживачів УАС «Академік Вернадський»

Table 4. Calculation of consumers' needs for electricity at the Akademik Vernadsky station

Параметр	Одиниці виміру	Значення
Встановлена потужність	кВт	54
Максимальна потужність навантаження	кВт	54
Мінімальна потужність	кВт	25
Середньомісячне споживання*	МВт·год	19,440
Річне споживання ел. енергії за даними обслуговуючого персоналу	кВт·год	269,280
Річне споживання ел. енергії за витратами дизельного палива	МВт·год/рік	297,840

* - без урахування сезонних споживачів

З огляду на відсутність інструментально виміряних даних зі споживання електричної енергії та наявність базового навантаження 25 кВт на першому етапі впровадження ВДЕ пропонується розглянути систему потужністю 30 кВт (15 кВт ФЕС та 15 кВт ВЕС).

Розрахунок генерації електричної енергії ВДЕ. Розрахунок генерації ФЕС виконано за допомогою програмного забезпечення PVsyst [12]. Розрахунок генерації ВЕС електричної енергії виконано за методикою прогнозування показників виробітку електроенергії вітровими електроустановками, що було розроблено Інститутом відновлюваної енергетики НАН України [17]. Як ВЕУ обрано машину, що серійно виготовляється та вже експлуатується в кліматичних умовах, подібних до умов на УАС. Результати розрахунку генерації наведено в табл. 5. та проілюстровано на рис. 5.

В табл. 6 наведено порівняння параметрів надхо-

Таблиця 5. Розрахунок генерації електричної енергії ВДЕ на УАС

Table 5. Calculation of RES electricity generation at the Akademik Vernadsky station

Місяць	Генерація електричної енергії, МВт/год		
	ФЕС	ВЕС	Сумарна
Січень	1,65	2,56	2,56
Лютий	1,20	2,73	2,73
Березень	0,92	3,05	3,05
Квітень	0,42	2,63	2,63
Травень	0,26	2,17	2,17
Липень	0,00	2,19	2,19
Червень	0,25	2,02	2,02
Серпень	0,69	2,79	2,79
Вересень	1,28	3,80	3,80
Жовтень	1,78	3,89	3,89
Листопад	2,10	4,05	4,05
Грудень	2,24	3,00	3,00
Всього за рік	12,77	22,11	34,88

дження електричної енергії на УАС «Академік Вернадський» для різних співвідношень ВДЕ: 1) ВЕС 30 кВт, 2) ФЕС 30 кВт, 3) ВЕС 15 кВт та ФЕС 15 кВт.

Розрахунок використано за даними реаналізу [18].

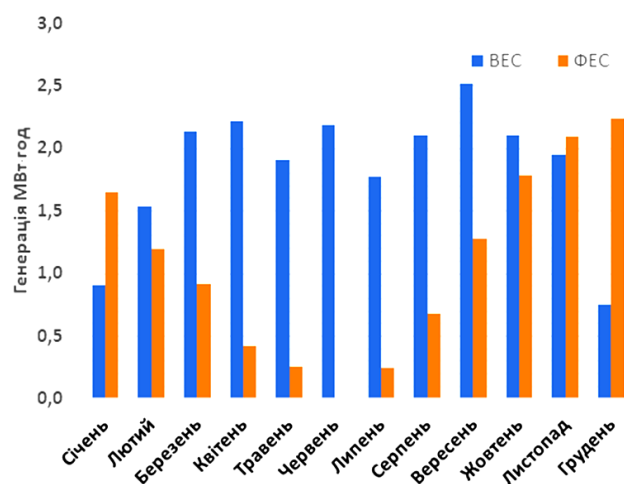


Рис. 5. Генерація електричної енергії ВЕС та ФЕС на УАС

Fig. 5. WPP and PPS electricity generation at the Akademik Vernadsky station

Таблиця 6. Оцінка параметрів надходження електроенергії на УАС «Академік Вернадський»

Table 6. Evaluation of electricity supply parameters at the Akademik Vernadsky station

Параметр	ВЕС 30 кВт	ФЕС 30 кВт	ВЕС 15 кВт + ФЕС 15 кВт
Річна генерація МВт/год	44,22	25,45	34,88
Відсоток від загального споживання ел. енергії, %	14,8	8,6	11,7
Максимальна потужність, кВт	29,91	28,50	22,82
КВВП	0,168	0,097	0,133
Коефіцієнт варіації	1,974	1,440	1,095

За результатами розрахунку можна відзначити, що використання двох різнотипних видів генерації дозволяє отримати більш рівномірний графік генерації та максимальне значення генерованої потужності (22,82 кВт) в межах базового навантаження (25 кВт).

Використання ВДЕ встановленою потужністю 30 кВт на Українській антарктичній станції "Академік Вернадський" дозволить знизити викиди CO₂ до 35 т/рік.

Висновки. В результаті проведеного огляду основних схем побудови систем автономного електрозабезпечення на базі ВДЕ встановлено можливість створення подібної системи з використанням вітрової та сонячної енергії для Української антарктичної

станції "Академік Вернадський", що забезпечить зниження витрат пального без погіршення надійності електропостачання станції в цілому.

Відсутність достовірних погодинних та помісячних даних зі споживання електричної енергії на УАС «Академік Вернадський» не дозволяє визначити оптимальну встановлену потужність ВДЕ.

Істотна нерівномірність надходження сонячної радіації впродовж року (в липні нульова генерація) не дозволяє розглядати фотоелектричну станцію як основне джерело електропостачання станції.

Впровадження ВДЕ потужністю 30 кВт, що відповідає рівню базового навантаження Української антарктичної станції "Академік Вернадський", та може забезпечити компенсацію споживання електричної енергії на рівні від 8,6 % (ФЕС) до 14,8 % (ВЕС). Найкращий результат демонструє варіант одночасного використання сонячної та вітрової енергії. Це дозволить отримати більш рівномірне надходження електричної енергії від ВДЕ. Коефіцієнт варіації для даного варіанту становить 1,095 проти 1,440 ФЕС та 1,974 ВЕУ. Очікуване зниження викидів CO₂ від впровадження ВДЕ становить від 25 т/рік для ФЕС до 44 т/рік для ВЕС.

ПОСИЛАННЯ

1. Станція Академік Вернадський. Паспорт. 186 с.
2. Станція "Академік Вернадський". Природні умови [Online]. Available: <http://uac.gov.ua/vernadsky-station/nature/> (дата звернення: 23.10.2021).
3. Princess Elisabeth Antarctica. [Online]. Available: <http://www.antarcticstation.org/> (дата звернення: 25.01.2022).
4. Wind and Solar Energy Power Polar Research. July 15, 2010, [Online]. Available: <https://www.nrel.gov/news/features/2010/1528.html> (дата звернення: 25.01.2022).
5. Photovoltaic Energy at South Pole Station J. S. B. Mason, February 2007, [Online]. Available: <https://ir.canterbury.ac.nz/bitstream/handle/10092/14220/James%20Mason%20project.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата звернення: 25.01.2022).
6. I. Baring-Gould, and R. Robichaud, "Analysis of the Use of Wind Energy to Supplement the Power Needs at McMurdo Station and Amundsen-Scott South Pole Station", Antarctica. National Renewable Energy Laboratory. Technical Report NREL/TP-500-37504. May 2005 [Online]. Available: <https://www.nrel.gov/docs/fy05osti/37504.pdf> (дата звернення: 25.01.2022).
7. Guidelines for Environmental Impact Assessment in Antarctica, 2016. Retrieved September 5, 2021, from [Online]. Available: https://documents.ats.aq/recatt/Att605_e.pdf (дата звернення: 25.01.2022)
8. Technology Roadmap – Energy Storage – Analysis – International Energy Agency [Online]. Available: <http://www.iea.org> (дата звернення: 25.01.2022)
9. The Wind Atlas Analysis and Application Program. – [Online]. Available: <https://www.wasp.dk/> (дата звернення: 25.01.2022)
10. М. П. Кузнецов, "Моделювання балансу потужностей в комбінованій енергосистемі з відновлюваною генерацією", *Відновлювана енергетика*, № 2, с. 6–18, 2021. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.2\(65\).6-18](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.2(65).6-18)
11. Danvest hybrid power [Online]. Available: <http://www.danvest.com/how-does-it-work.pp> (дата звернення: 25.01.2022).
12. PVSyst photovoltaic software [Online]. Available: <https://www.pvsyst.com/> (дата звернення: 25.01.2022)
13. Meteonorm data and program. – [Online]. Available: https://www.pvsyst.com/help/meteo_source_meteonorm.htm (дата звернення: 25.01.2022)
14. Palmer Station Antarctica LTER [Online]. Available: <https://oceaninformatics.ucsd.edu/datazoo/catalogs/pallter/form> (дата звернення: 25.01.2022)
15. K. Petrenko, I. Ivanchenko, O. Karmazin, "Prospects for the use of wind energy resources at the «Akademik Vernadsky station»", *Ukrainian Antarctic journal*, vol. 2, pp. 117–126, 2021.
16. О. В. Митрохин, В. Г. Бахмутов, "Петрографічне різноманіття та умови залягання гірських порід в районі української антарктичної станції «Академік Вернадський» в матеріалах VIII International Antarctic Conference, Kyiv – 16–18.05.2017, с. 132–134.
17. Renewables.ninja [Online]. Available: <https://www.renewables.ninja/> (дата звернення: 25.01.2022)
18. S. Kudria, I. Ivanchenko, B. Tuchynskiy, K. Petrenko, O. Karmazin, O. Riepin, "Resource potential for wind-hydrogen power in Ukraine. International Journal of Hydrogen Energy", vol. 46, 1, pp. 157–168. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.09.211>

REFERENCES

1. Stantsiia Akademik Vernadskyi. Pasport. [Academician Vernadsky Station. Passport.] 186 p. [in Ukrainian].
2. Stantsiia "Akademik Vernadskyi". Pryrodni umovy [Academician Vernadsky Station. Natural conditions.] [Online]. Available: <http://uac.gov.ua/vernadsky-station/nature/> (Applying date: 23.10.2021). [in Ukrainian].
3. Princess Elisabeth Antarctica. [Online]. Available: <http://www.antarcticstation.org/> (Applying date: 25.01.2022).
4. Wind and Solar Energy Power Polar Research. July 15, 2010 [Online]. Available: <https://www.nrel.gov/news/features/2010/1528.html> (Applying date: 25.01.2022).
5. Photovoltaic Energy at South Pole Station J. S. B. Mason February 2007 [Online]. Available: <https://ir.canterbury.ac.nz/bitstream/handle/10092/14220/James%20Mason%20project.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Applying date: 25.01.2022).
6. I. Baring-Gould, and R. Robichaud, "Analysis of the Use of Wind Energy to Supplement the Power Needs at McMurdo Station and Amundsen-Scott South Pole Station", Antarctica. National Renewable Energy Laboratory. Technical Report NREL/TP-500-37504. May 2005 [Online]. Available: <https://www.nrel.gov/docs/fy05osti/37504.pdf> (Applying date: 25.01.2022).
7. Guidelines for Environmental Impact Assessment in Antarctica, 2016. Retrieved September 5, 2021, from [Online]. Available: https://documents.ats.aq/recatt/Att605_e.pdf (Applying date: 23.10.2021).
8. Technology Roadmap - Energy Storage – Analysis - International Energy Agency. [Online]. Available: <http://www.iea.org> (Applying date: 23.10.2021).
9. The Wind Atlas Analysis and Application Program. – [Online]. Available: <https://www.wasp.dk/> (Applying date: 23.10.2021).
10. M. Kuznietsov, "Modeling of power balance in the combined system with renewable energy", (in Ukrainian) *Vidnovlyvana energetika*, № 2, c. 6–18, 2021. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.2\(65\).6-18](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.2(65).6-18)
11. Danvest hybrid power. [Online]. Available: <http://www.danvest.com/how-does-it-work.pp> (Applying date: 23.10.2021).
12. PVSyst photovoltaic software. [Online]. Available: <https://www.pvsyst.com/> (Applying date: 23.10.2021).
13. Meteonorm data and program. – [Online]. Available: https://www.pvsyst.com/help/meteo_source_meteonorm.htm (Applying date: 23.10.2021).
14. Palmer Station Antarctica LTER. – [Online]. Available: <https://oceaninformatics.ucsd.edu/datazoo/catalogs/pallter/form> (Applying date: 23.10.2021).
15. K. Petrenko, I. Ivanchenko, O. Karmazin, "Prospects for the use of wind energy resources at the «Akademik Vernadsky station»", *Ukrainian Antarctic journal*, vol. 2, pp. 117–126, 2021.
16. O. Mytrokhyn, V. Bakhmutov, "Petrographic diversity and conditions of rocks in the area of the Ukrainian Antarctic station "Academician Vernadsky""", in *Proc. VIII International Antarctic Conference*, Kyiv 16-18.05.2017, c. 132–134.
17. Renewables.ninja [Online]. Available: <https://www.renewables.ninja/> (Applying date: 23.10.2021).
18. S. Kudria, I. Ivanchenko, B. Tuchynskyi, K. Petrenko, O. Karmazin, O. Riepinkin. "Resource potential for wind-hydrogen power in Ukraine. International Journal of Hydrogen Energy", vol. 46, (1) 1 January 2021, pp 157–168. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.09.211>.