

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий Інститут Електроенергетики

(інститут)

Електротехнічний

(факультет)

Кафедра ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ

(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню магістра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Переходи Микити Олександровича

(ПІБ)

академічної групи 141М-19-1

(шифр)

спеціальності 141 – ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

(код і назва спеціальності)

спеціалізації¹

за освітньо-професійною програмою ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

(офіційна назва)

на тему «Обґрунтування системи електропостачання приватного будинку на
базі альтернативних джерел енергії»

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Рухлова Н.Ю.			
розділів:				
Вступна частина	Рухлова Н.Ю.			
Основна частина	Рухлова Н.Ю.			
Економічний	Тимошенко Л. В.			
Рецензент				
Нормоконтролер				

Дніпро
2020

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ

(повна назва)

Папаїка Ю.А.

(підпис) (прізвище, ініціали)

«_____» грудня 2020 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеню магістра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

Студенту Переході М.О. академічної групи 141м-19-1
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 141 – ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

спеціалізації¹ _____

за освітньо-професійною програмою ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

(офіційна назва)

на тему «Обґрунтування системи електропостачання приватного будинку на
базі альтернативних джерел енергії»

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
<i>Вступна частина</i>	Перспективи розвідку систем генерації електричної енергії з відновлювальних джерел в Україні і світі.	15.10.20 – 01.11.20
<i>Основна частина</i>	Вибір найбільш ефективного шляху електрифікації приватного домогосподарства з використанням ВДЕ	01.11.20-30.11.20
<i>Економічний</i>	Визначення показників економічної ефективності	01.12.20-10.12.20

Завдання видано _____ Рухловою Н.Ю.
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі 15.10.2020 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії _____ 18.12.2020 р.

Прийнято до виконання _____ Перехода М.О.
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

Реферат

Пояснювальна записка: 74 стор., рис. - 17, таблиць - 13, додатків - 1.

Об'єктом дослідження в роботі виступає приватне домоволодіння, розташоване в Харківській області м. Красноград.

Основна мета роботи – провести аналіз можливих систем електропостачання приватного будинку з використанням відновлюваних джерел енергії та визначити найбільш перспективні з точки зору економічних показників.

У першому розділі представлено аналіз відновлюваних джерел енергії, виділені найбільш розповсюджені й перспективні для конкретної місцевості. Як показує досвід розвинених Європейських країн найбільш перспективними джерелами відновлюваної енергії є сонце і вітер. Для умов Центральної Європи ці джерела являються найбільш стабільними і поширеними.

Реалізація проектів по впровадженню відновлюваних джерел енергії в Україні є привабливою не тільки з точки зору екологічних параметрів, а й економічно. Тому для розглянутого приватного будинку були виділені наступні джерела зниження рівня електроспоживання:

- впровадження ВДЕ на основі сонячної енергії, що дозволить частково або навіть повністю покрити потребу домогосподарства в електричній енергії;
- впровадження ВДЕ на основі вітрової енергії;
- впровадження гібридної вітро-сонячної системи генерації електроенергії.

У другому розділі проведено аналіз рівня електроспоживання будинку. Використовуючи дані мешканців будинку про тривалість роботи електроприладів був виконан розрахунок споживаної потужності.

За виконаним розрахунками було розглянуто три варіанта забезпечення потреб приватного будинку в електричній енергії за допомогою ВДЕ – використання СЕС, використання вітрової електростанції і використання гібридної вітро-сонячної електростанції. Однак перші два з розглянутих

варіантів мають суттєві недоліки.

Так використання для вироблення електроенергії тільки сонячних батарей вимагає збільшення їх кількості для роботи в зимовий час, коли рівень сонячної інсоляції мінімальний.

Використання для генерації електроенергії тільки вітрової установки також вимагає її підвищеної потужності в літній час, коли інтенсивність вітру значно знижується.

Найбільш раціональним є третій варіант - використання комбінованої вітро-сонячної електростанції, коли в літню пору, при високому рівні інсоляції, основними генеруючими потужностями є сонячні батареї, а взимку, коли інтенсивність вітру висока основну частину генерації бере на себе вітрова станція.

Для визначення економічної ефективності в магістерській роботі було визначено капітальні витрати на придбання, доставку, монтаж і налагодження відповідного обладнання, експлуатаційні витрати, показники ефективності капітальних витрат і термін окупності для кожного з трьох варіантів електрифікації приватного будинку.

СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ, СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, СОНЯЧНІ БАТАРЕЇ, МЕРЕЖЕВИЙ ІНВЕРТОР, ШВИДКІСТЬ ВІТРУ, ВІТРОГЕНЕРАТОР

Abstract

Explanatory note: 74 pages, fig. - 17, tables - 13, applications - 1.

The object of research in this work is a private household located in the Kharkiv region of Krasnograd.

The main purpose of the work is to analyze the possible power supply systems of a private house using renewable energy sources and to determine the most promising in terms of economic indicators.

The first section presents an analysis of renewable energy sources, highlights the most common and promising for a particular area. As the experience of developed European countries shows, the most promising sources of renewable energy are the sun and wind. For the conditions of Central Europe, these sources are the most stable and widespread.

Implementation of projects for the introduction of renewable energy sources in Ukraine is attractive not only in terms of environmental parameters, but also economically. Therefore for the considered private house the following sources of decrease in level of power consumption have been allocated:

- introduction of RES based on solar energy, which will partially or even fully cover the household's need for electricity;
- introduction of RES based on wind energy;
- introduction of a hybrid wind-solar electricity generation system.

The second section analyzes the level of electricity consumption of the house. Using the data of the residents of the house on the duration of operation of electrical appliances, the calculation of power consumption was performed.

According to the calculations, three options were considered to meet the needs of a private house in electricity with the help of RES - the use of SES, the use of wind power and the use of hybrid wind-solar power. However, the first two of these options have significant drawbacks.

Thus, the use of solar panels only to generate electricity requires an increase in their number for operation in winter, when the level of solar insolation is minimal.

Using only a wind turbine to generate electricity also requires increased power in the summer, when the wind intensity is significantly reduced.

The most rational is the third option - the use of a combined wind-solar power plant, when in summer, with high insolation, the main generating capacity is solar panels, and in winter, when wind intensity is high, the main part of generation is assumed by the wind farm.

To determine the cost-effectiveness of the master's thesis, the capital costs for the purchase, delivery, installation and commissioning of relevant equipment, operating costs, capital cost efficiency indicators and payback period for each of the three options for electrification of a private home were determined.

SOLAR ENERGY, ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM, SOLAR BATTERIES, NETWORK INVERTER, VIRTUAL SPEED, WIND GENERATOR,

Зміст

	Стор.
Вступ	9
1 Перспективи розвідку систем генерації електричної енергії з відновлювальних джерел в Україні і світі.	10
1.1 Світовий досвід використання відновлюваних джерел енергії	11
1.2 Розвиток систем генерації електричної енергії з відновлювальними джерелами енергії в Україні	13
1.3 Перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні та світі	14
1.3.1 Основні види сонячних елементів	14
1.3.2 Тенденції розвитку сонячної енергетики	15
1.4 Перспективи розвитку вітроенергетики в Україні та світі	20
1.4.1 Вітроенергетичні установки і їх види	20
1.4.2 Вітроенергетика України	23
1.5 Шляхи зниження електроспоживання в умовах приватного домогосподарства м. Красноград	26
1.6 Постановка задачі. Висновки	27
2 Вибір найбільш ефективного шляху електрифікації приватного домогосподарства з використанням ВДЕ	28
2.1 Характеристика приватного будинку в умовах міста Красноград	29
2.2 Розрахунок фотоелектричної системи для приватного будинку	31
2.2.1 Вибір інвертора	31
2.2.2 Визначення значення необхідної ємності акумуляторних батарей і їх кількості	34
2.2.3 Визначення необхідної кількості сонячних батарей	36
2.2.4 Генерація електричної енергії від СЕС	38
2.3 Вибір обладнання вітрової електричної станції для приватного будинку	41
2.3.1 Оцінка вітроенергетичного потенціалу	41
2.3.2 Вибір вітрогенератора	43
2.4 Розрахунок гібридної вітро-сонячної електростанції	48
2.4.1 Вибір інвертора	48

2.4.2 Визначення значення необхідної ємності акумуляторних батарей і їх кількості	49
2.4.3 Визначення необхідної кількості сонячних батарей	51
2.4.4 Генерація електричної енергії від СЕС в складі гібридної системи	52
2.4.5 Вибір обладнання вітрової електричної станції	55
3 Техніко-економічне обґрунтування	60
3.1 Вступ	61
3.2. Розрахунок капітальних витрат	61
3.3. Розрахунок експлуатаційних витрат	64
3.4 Визначення річної економії	67
3.5 Визначення та аналіз показників економічної ефективності	68
Висновок	71
Перелік посилань	72
Додаток	74

Вступ

Сонячна енергія, яка потрапляє на поверхню нашої планети, має колосальну потужність - сонячне випромінювання за тиждень за потужністю перевершує всі нині відомі світові запаси нафти, урану і вугілля разом узяті. Крім того, сонячна енергетика - екологічно чиста, при її виробленні не утворюється вуглекислий газ (як теплові станції), вона повністю радіаційно безпечна (на відміну від атомних станцій) і не утворює вимагають подальшої утилізації відходів (шлак і радіоактивні відходи).

Також Україна володіє значними ресурсами вітрової енергії і завдяки своїм природно-кліматичним характеристикам може вийти на одне з провідних місць в світі по використанню енергії вітру. Основний вплив на клімат і, як наслідок, на вітровий режим території України надають Атлантичний і Північний Льодовитий океани. Істотно впливають на формування клімату окремих регіонів країни також висота і напрямок розташування карпатських і кримських гір, Подільської, Волинської та Придніпровської височин, Донецького кряжу, близькість інших регіонів до Чорного і Азовського морів і цілий ряд інших факторів.

Таким чином задача по розробці і реалізації проектів по впровадженню відновлюваних джерел енергії в Україні є перспективними, актуальними і привабливими не тільки з точки зору екологічних параметрів, а й економічно. Використання «зеленого тарифу» дозволяє значно скоротити терміни окупності проектів по впровадженню ВДЕ, як для великих інвесторів, так і для дрібних індивідуальних господарств.

В роботі показана можливість впровадження системи електрогенеруючих установок, на основі відновлюваних джерел енергії, що забезпечують всі потреби в електроенергії приватного будинку, розташованого в м. Красноград.

1 Перспективи розвідку систем генерації електричної енергії з відновлювальних джерел в Україні і світі.

1.1 Світовий досвід використання відновлюваних джерел енергії

Покладатися тільки на викопні джерела енергії вже нераціонально: добувати їх все важче, їх використання завдає шкоди навколишньому середовищу, а відновлення вимагає дуже багато часу або неможливо в принципі.

Наприкінці 2015 року в Парижі відбулася Конференція з питань клімату, результатом якої стало підписання «Паризької угоди про зміну клімату». Воно, по суті, є «дорожньою картою» кроків, що дозволяють скоротити викиди і зміцнити стійкість до зміни клімату. Країни-учасниці кліматичної угоди зобов'язуються вжити заходів, що сприятимуть обмеженню зростання загальносвітової температури на рівні 1,5-2 градуси [1].

Згідно ряду експертних прогнозів, потреби людства в енергії, що становлять нині близько 13 ТВт, зростуть до середини нинішнього століття до 30, а до його кінця - до 46 ТВт. Такі потреби в енергії можуть бути задоволені тільки за рахунок переважного розвитку відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) і, перш за все, за рахунок набагато більш масштабного виробництва сонячної і вітрової енергії, яке особливо прискорилося за останні роки.

Прискорений приріст генеруючих потужностей на основі ВДЕ, який був забезпечений, в першу чергу, за рахунок введення в експлуатацію нових сонячних і вітрових потужностей, характерний в даний час також і для країн Євросоюзу. Європарламент в грудні 2008 р зобов'язав всі країни ЄС довести до 2020 року рівень використання ВДЕ до 20% в загальній генерації електроенергії, а до 2040 р - до 40%. Оптимістично налаштовані експерти стверджують, що країни Євросоюзу вже до 2050 р повністю перейдуть на виробництво електроенергії з ВДЕ.

Введення в експлуатацію нових генеруючих потужностей на основі використання ВДЕ обходиться набагато дорожче в порівнянні з введенням потужностей, що працюють на традиційних енергоресурсах. У зв'язку з цим відновлювальна енергетика не в змозі успішно розвиватися без потужної

державної підтримки. Тому в країнах Євросоюзу з держбюджету субсидується все, що веде до скорочення споживання викопних енергоресурсів, а не те, що веде до збільшення їх споживання.

Для стимулювання використання відновлюваних джерел енергії в країнах Євросоюзу вживаються такі механізми:

1. Ринкові і часто навіть адміністративні (тобто завищені за рахунок додаткового податку, що підвищує вартість викопних енергоресурсів) механізми стимулювання використання відновлюваних джерел енергії.

2. «Зелені» (тобто спеціальні, підвищені) тарифи на виробництво електроенергії з ВДЕ, що стимулюють введення нових генеруючих потужностей на основі використання ВДЕ за рахунок:

- гарантування підключення нововведених генеруючих потужностей до розподільної електромережі;

- укладення довгострокового контракту на покупку всієї електроенергії, що виробляється введеними в експлуатацію генеруючими потужностями;

- надбавки до вартості виробленої електроенергії, яка виплачується протягом 10...25 років і, тим самим, гарантує повернення вкладених в проект інвестицій і отримання прибутку.

3. Субсидування з метою залучення інвестицій у відновлювану енергетику та стимулювання енергозбереження кінцевого споживача (а не виробника електронного пристрою) від 20 до 40% загальної вартості покупки енергозберігаючого обладнання і устаткування для вироблення електроенергії з ВДЕ.

4. Обов'язкові до виконання всіма країнами Євросоюзу державні програми з прискореного освоєння ВДЕ.

1.2 Розвиток систем генерації електричної енергії з відновлювальними джерелами в Україні

Статистична служба Європейського союзу (Eurostat) вважає, що Україна потенційно здатна виробляти з відновлюваних джерел не менше 74% від вироблюваної в країні енергії, тоді як зараз цей рівень становить близько 6%.

У своєму прогнозі організація покладає основні надії на вітроенергетику (49%) і біоенергетику (22%), далі йде велика (17%) і мала (7%) гідроенергетика, а замикає список сонячна енергетика з часткою (5%). Сукупно всі перераховані галузі «зеленої» енергетики потенційно здатні виробляти близько 120 млрд кВт годин енергії (рисунок 1.1).



AEQUO



Рисунок 1.1 Потенційне виробництво електроенергії з відновлювальних джерел.

В цілому частка поновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в загальному виробництві електроенергії в Україні значно менше, ніж в країнах ЄС. Так, в

середньому європейські країни виробляють близько 29% зеленої енергії, лідирують в цьому рейтингу Норвегія (106%) і Швеція (66%), причому «зайві» 6% Норвегія експортує, що і пояснює перевищення 100% позначки. Відзначимо, що навіть сусідня Польща і Литва можуть похвалитися рівнем ВДЕ вище 10% (13% і 16% відповідно), а найбільш близьким у Україні показником відрізняється Угорщина (7%).

Відповідно до схваленої урядом «Енергетичною стратегією України до 2035 року» метою країни є досягнення позначки в 25% енергії з відновлюваних джерел в загальних первинних поставках енергії до 2035 року. До прийняття даної стратегії України мала на меті отримати в 2020 році не менше 11% «зеленої» енергії в кінцевому енергоспоживанні.

1.3 Перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні та світі

1.3.1 Основні види сонячних елементів.

Пристрої для прямого перетворення світлової або сонячної енергії в електроенергію називаються фотоелементами (по-англійськи Photovoltaics, від грецького photos - світло і назви одиниці електрорушійної сили - вольт). Перетворення сонячного світла в електрику відбувається в фотоелементах, виготовлених з напівпровідникового матеріалу, наприклад, кремнію, які під впливом сонячного світла виробляють електричний струм. Поєднуючи фотоелементи в модулі, а ті, в свою чергу, один з одним, можна будувати великі фотоелектричні станції. ККД фотоелектричних установок в даний час складає близько 16...22%, проте окремі фотоелементи можуть досягати ефективності 46%.

Сонячні елементи може бути наступних типів: монокристалічний, полікристалічний і аморфний (тонкоплівковий). Різниця між цими формами в тому, як організовані атоми кремнію в кристалі. Різні СЕ мають різний ККД перетворення енергії світла. моно- і полікристалічні елементи мають майже

однаковий ККД, який вище, ніж у сонячних елементів, виготовлених з аморфного кремнію.

Найбільше ККД перетворення сонячної енергії мають монокристалічні елементи. Термін їх служби близько 25 років. Основний недолік монокристалічних фотоелементів - це висока вартість, більше 50% якої становить ціна самого кремнію та зниження потужності при затіненні або хмарності.

Модулі з полікристалічного кремнію володіють меншою ефективністю в порівнянні з монокристалічними і мають менший ресурс - 20 років, а й вартість їх менше за рахунок меншої витрати енергії при виготовленні. До того ж, потужність полікристалічних фотоелементів залежить від затінення в меншій ступені, ніж монокристалічних.

Модулі з аморфного кремнію ще менш ефективні, ніж з кристалічного кремнію - ККД їх всього 8...14%, до того ж вони менш довговічні. Однак низьке енергоспоживання, простота виробництва і невисока його вартість, можливість виробництва великих за розмірами елементів робить модулі з аморфного кремнію затребуваними в найширших сферах людської діяльності.

В даний час найпоширенішими видами тонкоплівкових фотоелементів є фотоелементи з аморфного кремнію, CIS (CIGS) і CdTe технології, а також нові впровадження технологій дозволяють домогтися ККД від цих видів аж до 14%.

1.3.2 Тенденції розвитку сонячної енергетики

Глобальне зростання фотоелектричних потужностей було близьким до експоненціального в період між 1992 і 2018 роками. В даний час сонячні електростанції вже вийшли з нішевого ринку дрібних додатків і стали вагомим джерелом енергії в багатьох країнах. Варто відзначити, що Україна є одним з лідерів за темпами зростання в цьому секторі.

Перспективи розвідку світової сонячної енергетики наведені на рисунку 1.2.

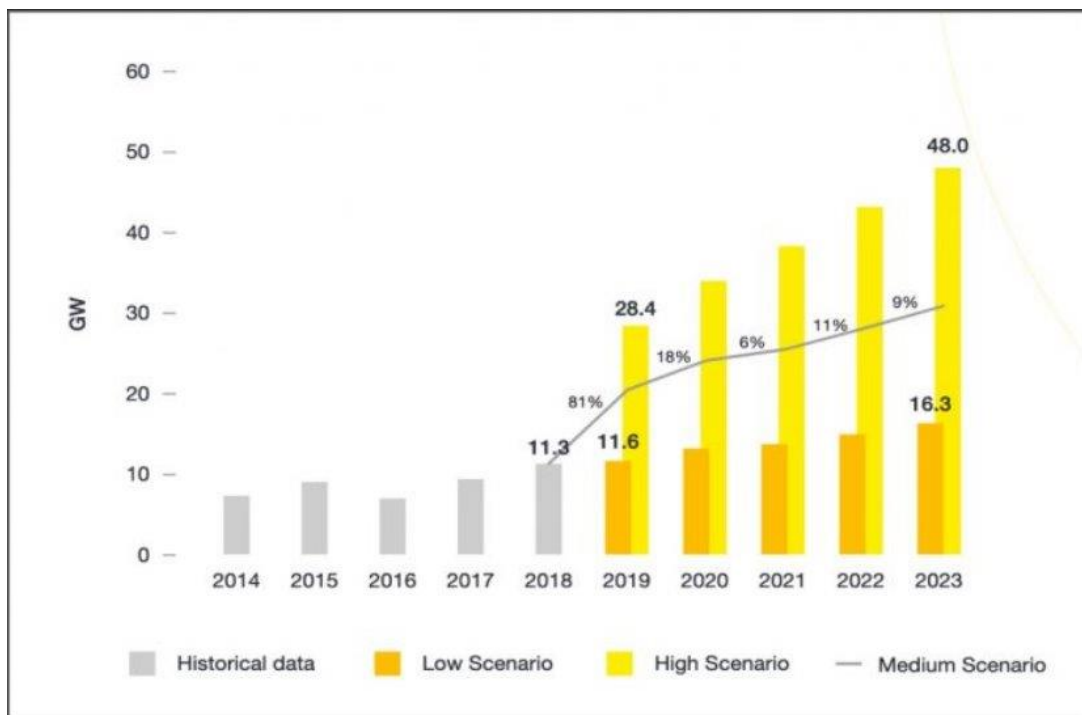


Рисунок 1.2. Перспективи розвідку світової сонячної енергетики

На сьогоднішній день загальна потужність встановлених домашніх СЕС в Україні становить майже 350 МВт. Такі проекти СЕС реалізуються по всій країні.



Рисунок 1.3. Динаміка росту кількості сонячних електроустановок приватних домогосподарств.

Статистика по областям, за даними Держенергоефективності представлена на рисунку 1.4.

ТОП-3 області з найбільшою кількістю домогосподарств з СЕС:

Дніпропетровська - майже 2000 (≈ 50 МВт);

Тернопільська - близько 1370 (≈ 37 МВт);

Київська - близько 1350 (≈ 27 МВт).

Таким чином, попит на сонячні панелі для електростанцій серед домогосподарств продовжує зростати, адже перехід на «чисту» електроенергію, крім вигод «зеленого тарифу»:

- дозволяє економити кошти на рахунках за електроенергію;
- стимулює використовувати енергоефективну побутову техніку;
- змінює мислення людей на "енергозберігаюче".



Рисунок 1.4. Потужність СЕС приватних домогосподарств по областях України.

Сонячна енергетика України розвивається настільки високими темпами завдяки привабливому тарифом з продажу зеленої енергії. Поточна ставка «зеленого тарифу» для фотоелектричних комерційних станцій становить приблизно 0,15 євро за 1 кВт·г електроенергії. Цей тариф діє для станцій, які будуть запуснені в 2017...2019 роках. В подальшому тариф знижується, однак все одно залишиться привабливим для інвесторів. Ставки зеленого тарифу при введенні в експлуатацію СЕС наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Ставки зеленого тарифу при введенні в експлуатацію СЕС

Тип станції	Протягом 2016 року	з 01.01.2017 по 31.12.2019	з 01.01.2020 по 31.12.2024	з 01.01.2025 по 31.12.2029
Дахова СЕС	0,172 Євро/кВт·г	0,163 Євро/кВт·г	0,15 Євро/кВт·г	0,13 Євро/кВт·г
Наземна СЕС	0,16 Євро/кВт·г	0,15 Євро/кВт·г	0,14 Євро/кВт·г	0,12 Євро/кВт·г

Сонячні електростанції, що впроваджуються в Україні можна розділити на 3 основні типи:

1) Мережева СЕС (рисунок 1.5).

Використовується для зменшення споживання електроенергії з мережі, а також для продажу надлишків виробленої електроенергії за «зеленим тарифом».

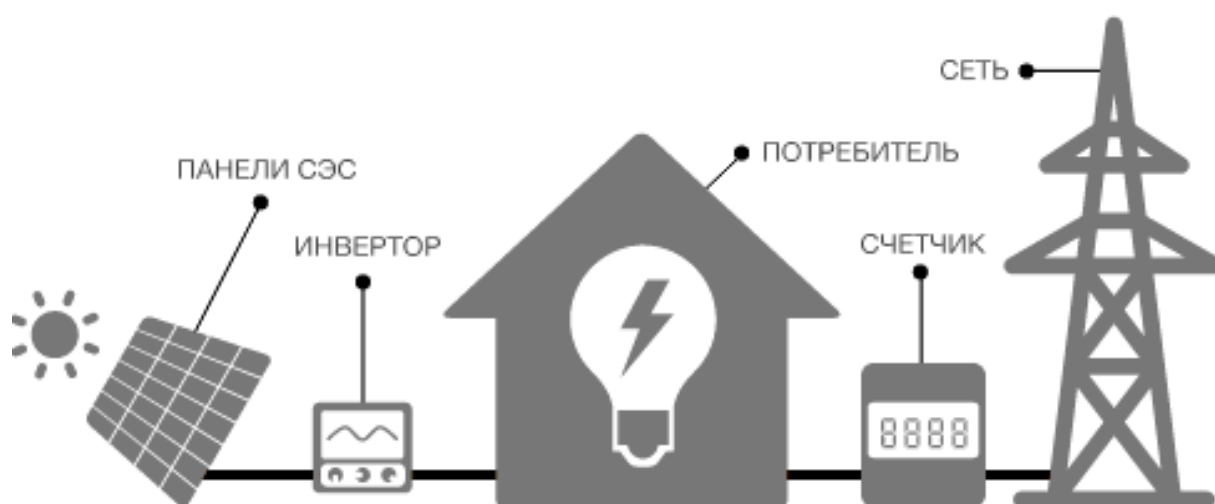


Рисунок 1.5. Приклад мережевий СЕС.

Мережеві сонячні електростанції складаються з фотомодулів, а також інвертора і підключаються до загальної енергомережі. Вони не комплектуються акумуляторами і тому не можуть використовуватися в якості єдиного джерела електрики.

За рахунок застосування «зеленого тарифу» мережева сонячна електростанція є високоприбутковим інвестиційним вкладенням з прибутковістю 15-25% річних в євро. Максимальна потужність приватної мережевої електростанції (для фізичних осіб), з підключенням до «зеленого тарифа», становить 30 кВт.

2) Гібридна СЕС (рисунок 1.6).

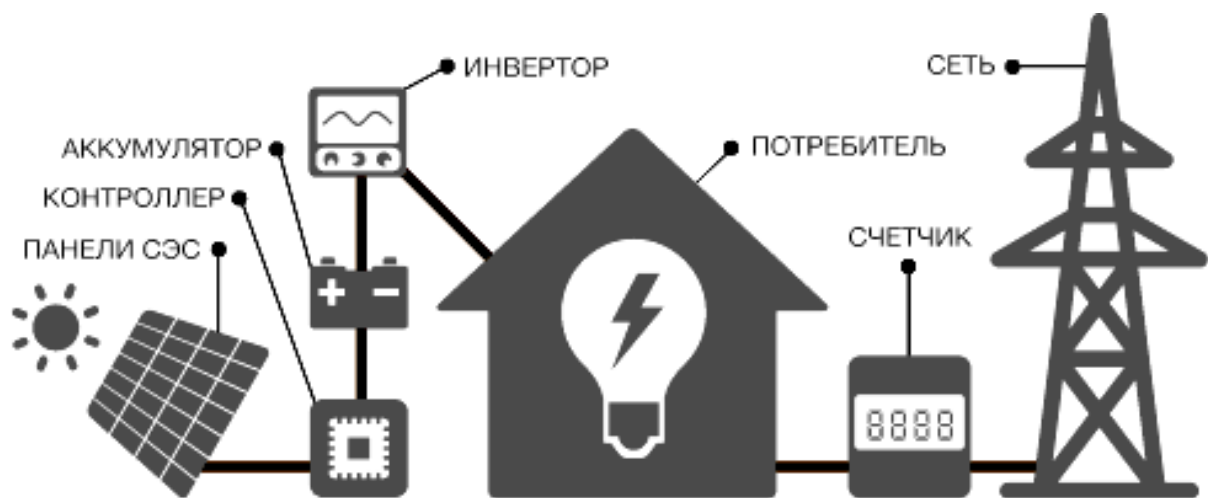


Рисунок 1.6. Приклад гібридної СЕС.

Поєднує в собі переваги мережевої та автономної електростанції. Комплектується фотомодулем, контролером заряду, батареями акумуляторів і гібридним інвертором. Це дозволяє накопичувати електроенергію для використання її в темний час доби або як резервне джерело живлення, а також продавати надлишки в мережу за «зеленим тарифом».

Так само як і мережева, гібридна СЕС може розглядатися як інвестиційне вкладення з прибутковістю 12-20% річних в євро. Максимальна потужність приватної гібридної електростанції під «зелений тариф» не повинна перевищувати 30 кВт.

3) Автономна СЕС (рисунок 1.7).

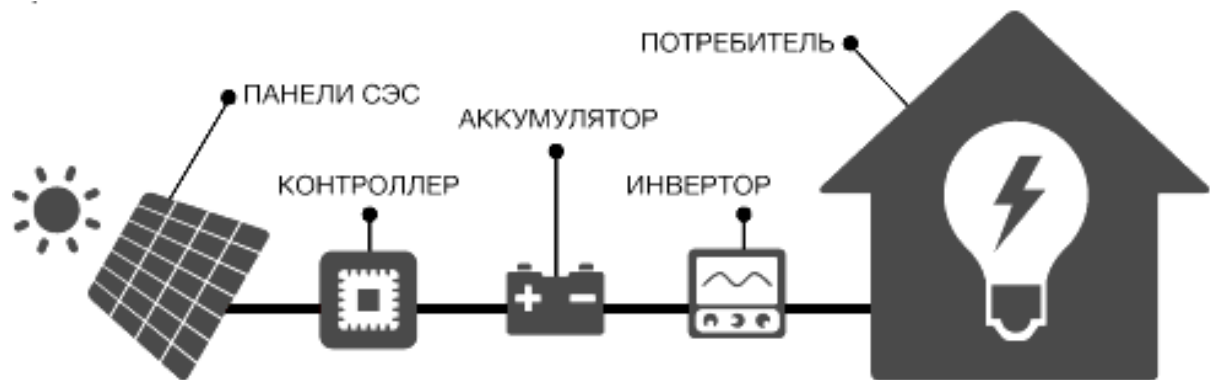


Рисунок 1.7. Приклад автономної СЕС.

Призначена для енергопостачання і забезпечення резервного живлення об'єктів. Автономні сонячні електростанції можуть використовуватися в якості єдиного джерела електричної енергії. Така станція комплектується фотомодулем, контролером заряду, батареями акумуляторів і автономним інвертором. До автономної СЕС не можна підключити «зелений тариф», бо вона не включена в загальну електромережу.

1.4 Перспективи розвитку вітроенергетики в Україні та світі.

1.4.1 Вітроенергетичні установки і їх види

Вітроенергетика - галузь енергетики, що спеціалізується на перетворенні кінетичної енергії повітряних мас в атмосфері в електричну, механічну, теплову або в будь-яку іншу форму енергії, зручну для використання в народному господарстві. Таке перетворення може здійснюватися такими агрегатами, як вітрогенератор (для отримання електричної енергії), вітряк (для перетворення в механічну енергію), вітрило (для використання в транспорті) та іншими. Енергію вітру відносять до відновлюваних видів енергії, так як вона є наслідком діяльності сонця і встигає відновитися за час життя одного

покоління. Великі вітряні електростанції підключаються до загальної мережі, більш дрібні використовуються для постачання електрикою віддалених районів і окремих споживачів. На відміну від викопного палива, енергія вітру практично невичерпна, повсюдно доступна і більш екологічна. Однак, спорудження вітряних електростанцій пов'язане з деякими труднощами технічного і економічного характеру, що уповільнюють поширення вітроенергетики.

Вітрогенератор - це вітроелектрична установка, скорочено позначається як ВЕУ, представляє собою пристрій, основне завдання якого полягає в перетворенні кінетичної енергії вітру в електричну. Основні конструктивні елементи будь-якого вітрогенератора наступні:

- щогла;
- вітротурбіна (ветроколесо);
- генератора.

Вітротурбіни, які використовуються в якості приводу генератора ВЕУ, поділяють на два основних типи - з вертикальною та горизонтальною віссю обертання.

Ортогональні вертикально-осьові двигуни в порівнянні з пропелерними горизонтально-осьовими мають такими перевагами:

- відсутність необхідності орієнтування вітродвигуна на напрямок вітру;
- вертикальний вал, який дає можливість встановити електромеханічне обладнання в підставі ВЕУ, що дозволяє знизити вимоги до міцності опори і спрощує технічне обслуговування і ремонт;
- можливість кріплення лопатей до ротора в декількох місцях, що знижує вимоги по міцності і жорсткості лопаті;
- меншим значенням окружної швидкості лопаті при менших значеннях коефіцієнта швидкохідності;
- відносною простотою виготовлення лопатей.

До числа недоліків вертикально-осьових вітродвигунів слід віднести - менший коефіцієнт використання енергії вітру та меншу швидкохідність.

Горизонтально-осьові вітродвигуни в порівнянні з вертикальноосьовими мають наступні переваги:

- можливість самостійного пуску без допоміжного приводу;
- більшого значення коефіцієнта використання енергії вітру;
- більшого значення коефіцієнта швидкохідності і, як наслідок цього, велику частоту обертання вітродвигуна, що дозволяє зменшити масогабаритні показники електромеханічного обладнання.

До основного недоліку пропелерних горизонтально-осьових двигунів слід віднести необхідність в пристрої орієнтації на напрямок вітру.

Для обмеження частоти обертання вітроколеса при великій швидкості вітру використовується ряд методів. Одним з цих методів є установка лопатей у флюгерне положення - це означає, що площа лопаті вітроколеса встановлюється паралельно з напрямком вітру. Даний метод, в основному, використовується в вітроелектричних установках великих потужностей, так як для його виконання необхідна система регулювання кута атаки лопаті. Для захисту від сильного вітру малих вітроелектричних установок використовується метод виведення вітроколеса з-під вітру або механічне гальмування.

Загальний вітроенергетичний потенціал Землі величезний: по ряду авторитетних експертних оцінок він становить близько 1200 ТВт. Однак реальне використання цього потенціалу нашкоджується на ряд труднощів, обумовлених як нерівномірністю його розподілу в різних районах Землі, так і великими втратами при його перетворенні в інші види енергії. Так, в сучасних вітроагрегатах коефіцієнт корисного використання енергії повітряного потоку на 10% менше теоретично можливого, рівного 59,3%, і зазвичай не перевищує 50% і то тільки при оптимальній, передбаченій для даного вітрогенератора швидкості вітру. Крім того, оскільки частина енергії вітру втрачається при перетворенні механічної енергії в електричну, питома електрична потужність на виході вітроагрегатів становить лише 30...40% потужності повітряного потоку за умови стійкої його роботи в діапазоні швидкостей, передбачених для

вітрогенератора. З урахуванням необхідності вимушених відключень вітроагрегатів в разі перевищення розрахункових швидкостей вітру і зупинок при його відсутності, питома вироблення електроенергії протягом року зазвичай не перевищує 15...30 % енергії вітру, в залежності від місця розташування і параметрів вітроагрегатів.

1.4.2 Вітроенергетика України

Україна володіє значними ресурсами вітрової енергії і завдяки своїм природно-кліматичним характеристикам може вийти на одне з провідних місць в світі по використанню енергії вітру. Основний вплив на клімат і, як наслідок, на вітровий режим території України надають Атлантичний і Північний Льодовитий океани. Істотно впливають на формування клімату окремих регіонів країни також висота і напрямок розташування карпатських і кримських гір, Подільської, Волинської та Придніпровської височин, Донецького кряжу, близькість інших регіонів до Чорного і Азовського морів і цілий ряд інших факторів.

Енергія вітру розподілена по території України вкрай нерівномірно, причому вітропотенціал на півдні країни значно вище, ніж на півночі. З точки зору використання енергії вітру на суші, найбільш сприятливими регіонами є Крим, Карпати (Львівська, Івано-Франківська, Закарпатська, західна частина Чернівецької області), узбережжя Чорного та Азовського морів (Одеська, Миколаївська, Херсонська, Запорізька і Донецька області), а також Луганська область. Площі територій, придатних для спорудження ВЕС, оцінюються приблизно в 9 тис.км². На цих територіях можна побудувати ВЕС загальною потужністю до 24 тис.МВт і генерувати від 16 до 48 млрд.КВт·г електроенергії на рік.

Правда, при цьому велика частина території України стане непридатною для проживання, і в прямому сенсі цього слова перетвориться на мертву землю. Справа в тому, що ВЕС становлять небезпеку не тільки для птахів, які масово

розбиваються об лопаті їх генераторів, а й для всього живого. При роботі ВЕС виробляються інфразвукові коливання великої інтенсивності. Тому з місць, де знаходяться ВЕС, йде все живе і навіть щури. З прибережних вод, де встановлено ВЕС, йде риба. Тому розміщення ВЕС поблизу населених пунктів категорично забороняється.

Набагато більші площі для будівництва потужних ВЕС є на прибережних і внутрішніх акваторіях України. Хороший вітропотенціал мають також акваторії на Азовському морі (площа - 60 тис.км²), на Чорному морі (Одеська банка, площа якої 10 тис.км²; Каркинитська затока, площею 25 тис.км²), на приморських лиманах і на ряді інших водоймищ. В цілому по площах мілководних акваторій, придатних для будівництва ВЕС водного базування, Україна знаходиться на другому місці в світі (після Норвегії).

З урахуванням можливих обсягів інвестицій сумарну потужність ВЕС, які можуть бути побудовані протягом найближчих 10 років в перспективних регіонах України, за даними Інституту відновлюваної енергетики НАН України, можна оцінити в 16 ТВт з можливим річним обсягом виробництва енергії близько 32 млрд.КВт·г/рік.

За останні сім років в Україні надзвичайно актуальним стало розвиток альтернативної енергетики. Це зумовило збільшення встановленої потужності виробників енергії з відновлюваних джерел до 1375 МВт (станом на кінець 2017 року). Одним з видів альтернативної енергетики, який активно розвивається в Україні, є вітроенергетика. В її основу покладено принцип застосування енергії вітру. Одним з факторів, що сприяють розвитку вітроенергетики в Україні, є «зелений» тариф, за яким держава купує електроенергію у виробників енергії з ВДЕ.

За даними Української вітроенергетичної асоціації (УВЕА), загальна встановлена потужність вітроенергетики на кінець 2017 року становить 594 МВт (з урахуванням Криму) і 506 МВт (без нього). З них 138 МВт потужності доводиться на окуповані частини Донецької і Луганської областей. Однак з 2014 року ні в цих областях, ні в Криму нових ВЕС побудовано не було.

Слід зазначити, що на кінець 2009 року загальна встановлена потужність вітроенергетики була в 6,78 рази менше, ніж зараз. Запуск великих промислово-комерційних ВЕС почався з 2011 року. Траплялися й несприятливі для розвитку вітроенергетики періоди. У 2015-2016 роках було введено в експлуатацію ВЕС тільки на 28,3 МВт. У 2016 році до Об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України було підключено об'єктів вітроенергетики на 68,1 МВт.

Згідно з даними УВЕА, в 2017 році сектор вітроенергетики вийшов зі стану стагнації. Тоді ВЕС виробили 970,5 млн кВт·ч, що дозволило скоротити викиди вуглекислого газу в атмосферу більш ніж на 736,5 тис. тонн і заощадити 454,4 тис. тонн вугілля.

Найбільшою в Україні є Ботієвська вітрова електростанція (загальна потужність - 200 МВт, що складає майже половину загальної потужності вітроенергетики в країні). Вона розташована в Запорізькій області. Її будівництво почалося в 2012 році, а закінчилося в 2014-му. Станція складається з 65 ВЕУ з одиничною потужністю 3,075 МВт. Проектна середньорічна генерація становить 686 млн. кВт·год. Станом на час введення в експлуатацію Ботієвська вітрова електростанція входила в п'ятірку найбільших вітроелектростанцій Центральної та Східної Європи.

Другою за потужністю в Україні є Новоазовська ВЕС. Станція розташована на тимчасово окупованій частині Донецької області. Перша черга станції була введена в експлуатацію в 2011 році. Зараз загальна потужність цієї ВЕС становить 57,5 МВт, а проектна - 107,5 МВт. На ВЕС встановлено 23 ВЕУ з одиничною потужністю 2,5 МВт.

Третій за потужністю - вітряний парк «Очаківський», розташований в Миколаївській області. Він складається з Дмитрівській і Тузловській ВЕС. Будівництво парку почалося в 2011 році і завершилося в 2015-му. Загальну встановлену потужність в 47,5 МВт забезпечують 19 ВЕУ з одиничною потужністю 2,5 МВт.

За даними УВЕА, очікується стабільне зростання потужності ВЕС на рівні 200 МВт на рік. Нові ВЕС будуть побудовані перш за все в Запорізькій,

Херсонській, Миколаївській, Одеській, Львівській та Івано-Франківській областях.

Серед споруджуваних ВЕС окремої згадки заслуговують Приморська ВЕС-1 і Приморська ВЕС-2 в Запорізькій області. Встановлена потужність кожної з них - 100 МВт. У Херсонській області будують Овер'янівську ВЕС, яка буде мати потужність 69 МВт і буде складатися з 20 ВЕУ з одиничною потужністю 3,45 МВт. Слід також відзначити будівництво ВЕС «Овід вінд» в Одеській області. Проектна потужність цієї станції становить 32,4 МВт.

1.5 Шляхи зниження електроспоживання в умовах приватного домогосподарства м. Красноград

Як показує досвід розвинених Європейських країн найбільш перспективними джерелами відновлюваної енергії є сонце і вітер. Для умов Центральної Європи ці джерела являються найбільш стабільними і поширеними. У той час, як такі джерела енергії як мала гідроенергетика, геотермальна енергія, енергія хвиль та припливів, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів, вимагають специфічних умов і значних грошових коштів.

Аналіз шляхів зниження електроспоживання будемо проводити на прикладі приватного будинку, що знаходиться на території м. Красноград в Харківській області, за адресою вул. Березова, буд. 15.

В даний час електропостачання будинку здійснюється від мережі Красноградського РЕМ однофазною напругою 220 В змінного струму.

Будинок має систему водяного опалення - це замкнутий ланцюжок котел-трубопровід-батарея-трубопровід-котел. Газовий котел нагріває воду, яка потім по трубах надходить в батареї, і знову повертається в котел.

Система гарячого водопостачання передбачає електричний нагрівач – бойлер у літню пору року та другий контур опалювального котла під час опалювального періоду.

Для розглянутого будинку найбільш перспективними джерелами електропостачання є сонячна електростанція та вітрогенератор. Інші перераховані джерела відновлювальної енергії в даному випадку незначні і в роботі враховані не будуть.

1.6 Постановка задачі. Висновки

Проаналізувавши матеріал, викладений в §§ 1.1...1.4 можна зробити висновок про те, що реалізація проектів по впровадженню відновлюваних джерел енергії в Україні є привабливою не тільки з точки зору екологічних параметрів, а й економічно. Використання «зеленого тарифу» дозволяє значно скоротити терміни окупності проектів по впровадженню ВДЕ, як для великих інвесторів, так і для дрібних індивідуальних господарств.

Проаналізувавши викладений матеріал можна зробити висновок про те, що для розглянутого приватного будинку є два джерела зниження рівня електроспоживання:

- впровадження ВДЕ на основі сонячної енергії, що дозволить частково або навіть повністю покрити потребу домогосподарства в електричній енергії;
- впровадження ВДЕ на основі вітрової енергії. Даний захід може стати ще більш привабливим при переході до «зеленого тарифу» та реалізації надлишків виробленої електроенергії в міську мережу електропостачання.

**2 Вибір найбільш ефективного шляху
електрифікації приватного
домогосподарства з використанням ВДЕ**

2.1 Характеристика приватного будинку в умовах міста Красноград

Даний будинок знаходиться в місті районного підпорядкування, центрі однойменного району Харківської області, за адресою м. Красноград, вул. Березова буд. 15. Місцезнаходження будинку представлено на рисунку 2.1 і отриманий за допомогою сервісу «Google map».



Рисунок 2.1 – Вид будинку зі супутника «Google»

Згідно з даними, отриманими за ескізом дому, представлених на рисунку 2.2, загальна площа будинку становить 57 м². Площа кухні-вітальні складає 31м², тамбура - 6м², спальні - 7,425 м², а санвузли - 12,6 м².

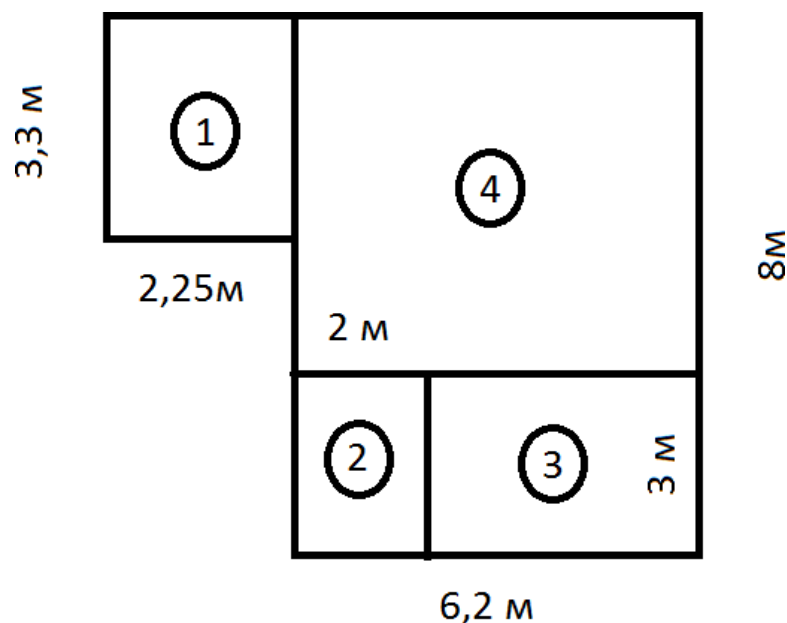


Рисунок 2.2 – План-схема будинку

1 – спальня; 2– тамбур; 3 – с/в; 4 – кухня-вітальня.

Харківська область має помірно-континентальний клімат, який забезпечує спекотне, посушливе літо і помірно холодну зиму з відлигами і нестабільним сніжним покривом. Харків і Харківська область мають нестабільне зволоження. В середньому, кількість опадів коливається від 475 до 565 мм/рік, але були випадки, коли фіксувалося до 750-898 мм/рік, або 279 мм/рік. Такі показники говорять про те, що ця територія періодично піддається як повеням, так і засухой.

Опади випадають нерівномірно протягом усього року: деякі місяці можуть бути значно вологіше норми, інші - навпаки, засушливими. Найбільш дощовими місяцями є червень і липень. Найбільш сухими місяцями в році є лютий, березень і квітень, коли кількість опадів, що випадають може досягати всього 27 мм. Погода влітку в Харківській області досить спекотна: середня температура липня становить +21,3 градуса. Взимку морози нестійкі, середня температура січня становить -4,6 градуса. Зазвичай, літо триває до 140 днів, зима - до 130. Часто в Харкові і області спостерігається вітряна погода: в літньо-осінній період переважають західні вітри, в зимово-весняний - східні і

південно-східні. Іноді трапляються пилові бурі. Якщо в зимовий період переважають північно-східні вітри, то встановлюється ясна морозна погода, при якій стовпчик термометра може опуститися до позначки в -30 градусів. Західні вітри в цей період несуть атлантичне тепло і вологу, завдяки чому трапляються відлиги, а якщо їх напрямок залишається незмінним, то зима проходить з дощами, без стійкого снігового покриву. У першій половині літа (травень-червень) переважає волога і тепла погода, на протязі якої випадають опади, принесені з Атлантики. З липня по серпень триває посушливий період, під час якого зволоження відбувається переважно грозами. З огляду на всі вищеописані фактори, можна зробити висновок про те, що погода в Харкові і Харківській області не відрізняється стабільністю. Як ми бачимо, для даної області можлива установка як і вітрогенератора, так і сонячні панелі і сонячні колектори.

2.2 Розрахунок фотоелектричної системи для приватного будинку

2.2.1 Вибір інвертора

Інвертор в сонячній енергосистемі - це одна з найважливіших і невід'ємних складових частин системи сонячної батареї. Інвертор призначений для трансформування постійного струму в змінний.

Розглянемо основні параметри інверторів, на які варто звернути увагу при виборі:

1. Вхідна напруга.

Вибір вхідної напруги необхідно погоджувати з потужністю інвертора, оскільки зі збільшенням вихідної потужності ростуть вхідні струми, що призводить до більш важких умов роботи транзисторів вихідного каскаду і до великих втрат на сполучних проводах. Знизити вхідні струми і відповідно зменшити втрати дозволяє вибір більш високої вхідної напруги, яке буває одним з наступних: 12, 24, 48 В.

2. Номінальна і пікова вихідна потужність.

В ідеалі, номінальна вихідна потужність інвертора повинна дорівнювати сумі потужностей всіх навантажень. Однак, в реальності частіше роблять вибір по навантаженню з максимальною потужністю. При цьому необхідно враховувати і пускові струми всіх навантажень, які можуть бути в 10 разів більше робочих (наприклад, у холодильників або насосів). Помноживши пусковий струм на напругу (220 В) ми отримаємо пускову потужність, яка повинна бути менше пікової.

Варто відзначити, що якщо виробник не вказує окремо пікову вихідну потужність, то швидше за все зазначена в якості номінальної насправді є піковою.

3. Потужність без навантаження і в режимі очікування.

Одним з важливих параметрів також є споживана потужність без навантаження. Цей параметр повинен бути в районі 1% від номінальної потужності. Тобто, наприклад, якщо номінальна потужність дорівнює 600 Вт, то споживання без навантаження має бути близько 6 Вт.

Для вибору інвертора необхідно визначити навантаження постійного і змінного струму для нашого проекту. Значення навантаження для будинку наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Навантаження електричних споживачів для будинку

№	Навантаження змінного струму	Потужність, Вт	Тривалість роботи за тиждень, год.	Електроспоживання, Вт·год/тиждень
1	Бойлер	2000	21	42000
2	Мікрохвильова піч	800	7	7000
3	Холодильник	150	60	9000
4	Пилосос	500	5	2500
5	Телевізор	200	20	4000
6	Кавоварка	500	10	5000
7	Чайник	1500	6	9000
8	Фен	1300	2	2600
9	Принтер	500	6	3000
10	Бритва	150	3	3000
11	Комп'ютер	500	6	6000
12	Освітлення	90	30	2700
Разом		8190		88850

Визначимо потужність інвертора з урахуванням запасу, при одночасному включення всього обладнання:

$$P_{inv} = P_{зм} \cdot k = 8190 \cdot 1,2 = 9828 \text{ Вт}$$

Приймаємо інвертор 10 кВт, з запасом, з урахуванням надалі збільшення потужності - інвертор Victron Energy. Зовнішній вигляд інвертора представлений на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3. Зовнішній вигляд інвертора Victron Energy

Число ампер-годин на тиждень, необхідне для покриття навантаження змінного струму, визначається по формулі:

$$q_{\text{тиж}}^{\text{зм}} = \frac{W_{\text{тр}}}{U_{\text{інв}}} = \frac{88850}{24} = 3702 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Добове значення споживаних А·год визначається діленням $q_{\text{тиж}}$ на 7 днів:

$$q_{\text{доб}} = \frac{q_{\text{тиж}}^{\text{зм}}}{7} = \frac{3702}{7} = 528,8 \text{ А} \cdot \text{год}$$

2.2.2 Визначення значення необхідної ємності акумуляторних батарей і їх кількості

Для визначення необхідної кількості батарей і їх ємності необхідно визначити максимальне число послідовних "днів без сонця" $N_{\text{бс}}$ (тобто коли сонячної енергії недостатньо для заряду акумуляторної батареї і відповідно для роботи навантаження через негоду або хмарність), і орієнтуючись на режим експлуатації. Приймаємо $N_{\text{бс}} = 6$, згідно з таблицею 2.2.

Таблиця 2.2 – Кількість днів без сонця, обумовлені погодними умовами

Широта місцевості	Період		
	Літні місяці	Осінні та весняні місяці	Зимові місяці
30	2-4	3-4	4-6
40	2-4	4-6	6-10
50	2-4	6-8	10-15
60	3-5	8-12	15-25
70	3-5	12-14	20-35

Сумарна ємність акумуляторів, що враховує кількість днів без сонця $N_{\text{бс}}$:

$$q_N = q_{\text{доб}} \cdot N_{\text{бс}} = 528,8 \cdot 6 = 3172,8 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Задаємося величиною глибини допустимого розряду акумуляторної батареї. При цьому необхідно врахувати, що чим більше глибина розряду, тим швидше батареї вийдуть з ладу. Рекомендується значення глибини розряду 20...50 % (мається на увазі 20...50 % від значення номінальної ємності). Відповідно коефіцієнт використання γ складе від 0,2 до 0,5. Ні в якому разі розряд батареї не повинен перевищувати 80 %. Задаємося величиною глибини допустимого розряду акумуляторної батареї – 50 %. Відповідно коефіцієнт використання $\gamma=0,5$.

Заряд акумуляторної батареї з урахуванням глибини розряду:

$$q_{\gamma} = \frac{q_N}{\gamma} = \frac{3172,8}{0,5} = 6345,6 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Таблиця 2.3 – Значення коефіцієнта, який враховує зменшення ємності при зниженні температури.

Температура в градусах		Коефіцієнт
Цельсія	Фаренгейта	
26,7	80	1,00
21,2	70	1,04
15,6	60	1,11
10,0	50	1,19
4,4	40	1,30
-1,1	30	1,40
-6,7	20	1,59

Вибираємо з таблиці 2.3 коефіцієнт, що враховує температуру навколишнього середовища в приміщенні, де встановлені акумуляторні батареї. Акумуляторні батареї планується розташовувати в підсобному приміщенні, де температура в зимовий час не опускається нижче +10 °С. При цій температурі коефіцієнт $\alpha=1,19$.

Загальна необхідна ємність акумуляторних батарей:

$$q_{\text{оби}} = q_{\gamma} \cdot \alpha = 6345,6 \cdot 1,19 = 7551 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Приймаємо 12 В акумулятор Leoch DJM 12250 (250Аг 12В, AGM- GEL).

Характеристики АКБ:

$$U_{\text{ном}} = 12 \text{ В};$$

$$q_{\text{ном}} = 250 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

Кількість батарей, з'єднаних паралельно:

$$N_{\text{пар}}^{\text{АКБ}} = \frac{q_{\text{обц}}}{q_{\text{ном}}} = \frac{7551}{250} = 31 \text{ шт}$$

Кількість батарей, з'єднаних послідовно:

$$N_{\text{посл}}^{\text{АКБ}} = \frac{U_{\text{инв}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{24}{12} = 2 \text{ шт}$$

Загальна кількість необхідних акумуляторних батарей:

$$N^{\text{АКБ}} = N_{\text{пар}}^{\text{АКБ}} \cdot N_{\text{посл}}^{\text{АКБ}} = 31 \cdot 2 = 62 \text{ шт}$$

2.2.3 Визначення необхідної кількості сонячних батарей

Під час виконання диплома бакалавра проводились розрахунки кількості середньомісячного надходження сонячної радіації на похилу поверхню для розглянутого будинку в м. Красноград.

Згідно даних розрахунків в найхолодніший місяць грудень, припадає 3,13 кВт·год/м²/день на похилу поверхню. Тоді можна зробити висновок, що взимку, під встановленим кутом 45 градусів, на 1 м² буде припадати достатня кількість сонячної інсоляції для нормальної роботи сонячної панелі.

Приймаються до установки сонячні батареї JA Solar JAP72S01 330 Вт з полікристалічного кремнію.

Характеристики панелі представлені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 - Характеристики сонячної панелі

Найменування параметрів	Потужність, Вт	Струм КЗ, А	Напруга під навантаженням, В	Номінальна напруга, В	Робочий струм, А	Довжина, мм	Ширина, мм
	330	9,28	37,65	24	8,77	1960	991

Необхідна ємність з урахуванням втрат на заряд-розряд акумуляторної батареї:

$$q_{з-р} = q_{доб} \cdot \zeta = 528,8 \cdot 1,2 = 634,6 \text{ А} \cdot \text{год}$$

де ζ – поправочний коефіцієнт на заряд – розряд АКБ, $\zeta = 1,2$

Значення струму, який повинні генерувати сонячні батареї:

$$I^{CB} = \frac{q_{з-р}}{i} = \frac{634,6}{3,13} = 178,7 \text{ А} \cdot \text{год}$$

де i –число пікових сонце-годин для заданої місцевості, $i = 3,13$ (дані з сайту Nasa).

Число модулів, з'єднаних паралельно:

$$N_{\text{пар}}^{CB} = \frac{I^{CB}}{I_{TP}} = \frac{178,7}{8,77} = 20,4 \text{ шт}$$

де I_{TP} – струм максимальної точки трекера, А,

Числа модулів, з'єднаних послідовно:

$$N_{\text{посл}}^{\text{СБ}} = \frac{U_{\text{інв}}}{U_{\text{ном}}^{\text{СБ}}} = \frac{24}{24} = 1$$

де $U_{\text{ном}}^{\text{СБ}}$ – номінальна напруга панелі, В.

Загальна кількість необхідних фотоелектричних модулів:

$$N_{\text{СБ}} = N_{\text{пар}}^{\text{СБ}} \cdot N_{\text{посл}}^{\text{СБ}} = 21 \cdot 1 = 21 \text{ шт}$$

Площа сонячних батарей:

$$S^{\text{СБ}} = N^{\text{СБ}} \cdot S_1^{\text{СБ}} = 21 \cdot 1,94 = 40,74 \text{ м}^2$$

де $S_1^{\text{СБ}} = 1,94$ – площа однієї сонячної батареї, м²

2.2.4 Генерація електричної енергії від СЕС

Методика розрахунку середнього фактичного значення енергії, що виробляється обраними панелями, наведена нижче. Згідно з базою даних NASA розраховано середнє значення температури для грудня місяця, яке становить:

$$t_{\text{ср}} = -4,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Визначимо відхилення значення температури даного дня від значення температури при нормальних умовах (н.у.):

$$t_{\text{роз}} = t_{\text{o}} + t_{\text{ср}} = 25 - 4,2 = 20,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Згідно з даними бази даних NASA знаходимо середнє значення радіації для грудня місяця:

$$E_{cp} = 3,13 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$$

Значення енергії, що надходить при даному відхиленні температури:

$$E_{пад} = t_{роз} \cdot K_t = 20,8 \cdot (-0,34) = -7,07 \text{ \%}$$

У відсотковому відношенні від номінального ККД значення $E_{пад}=7,07 \text{ \%}$

$$\eta_{част} = \frac{\eta_{ном} \cdot E_{пад}}{100} = \frac{16 \cdot 7,07}{100} = 1,13 \text{ \%}$$

Знайдемо ККД панелі при середній температурі мінус 4,2 градуса:

$$\eta_{панелі} = \eta_{ном} + \eta_{част} = 16 - 1,13 = 14,87 \text{ \%}$$

Згідно з даними NASA середній виробіток енергії на 1 м^2 за грудень місяць становить $E_{cp}=3,13 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$, знайдемо середню кількість енергії, що виробляється на 1 м^2 сонячної панелі:

$$W_{панелі/\text{м}^2} = E_{cp} \cdot \eta_{панелі} = 3,13 \cdot 0,148 = 0,46 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$$

Визначимо вироблення енергії обраною панеллю з корисною площею $1,6 \text{ м}^2$:

$$W_{пан} = W_{панелі/\text{м}^2} \cdot S = 0,46 \cdot 1,6 = 0,74 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Таким чином в грудні місяці обрані сонячні панелі зможуть виробити наступну кількість електричної енергії:

$$W_{груд} = W_{пан} \cdot N^{CB} \cdot 31 = 0,74 \cdot 21 \cdot 31 = 481 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

У відповідності з наведеною методикою розрахунку визначаємо кількість електроенергії, яка буде вироблятися СЕС протягом року. Результати розрахунку наведені в таблиці 2.5 та на рисунку 2.4.

Таблиця 2.5. Електроенергія, що виробляється СЕС протягом року

Місяць	Споживання, кВт·год	Генерація СЕС, кВт·год
Січень	445,2	540,6
Лютий	381,6	558,8
Березень	329,9	693,7
Квітень	318,0	715,2
Травень	286,2	856,2
Червень	270,3	839,2
Липень	202,7	878,1
Серпень	206,7	849,9
Вересень	258,4	734,8
Жовтень	306,1	615,6
Листопад	357,8	553,4
Грудень	397,5	481,0

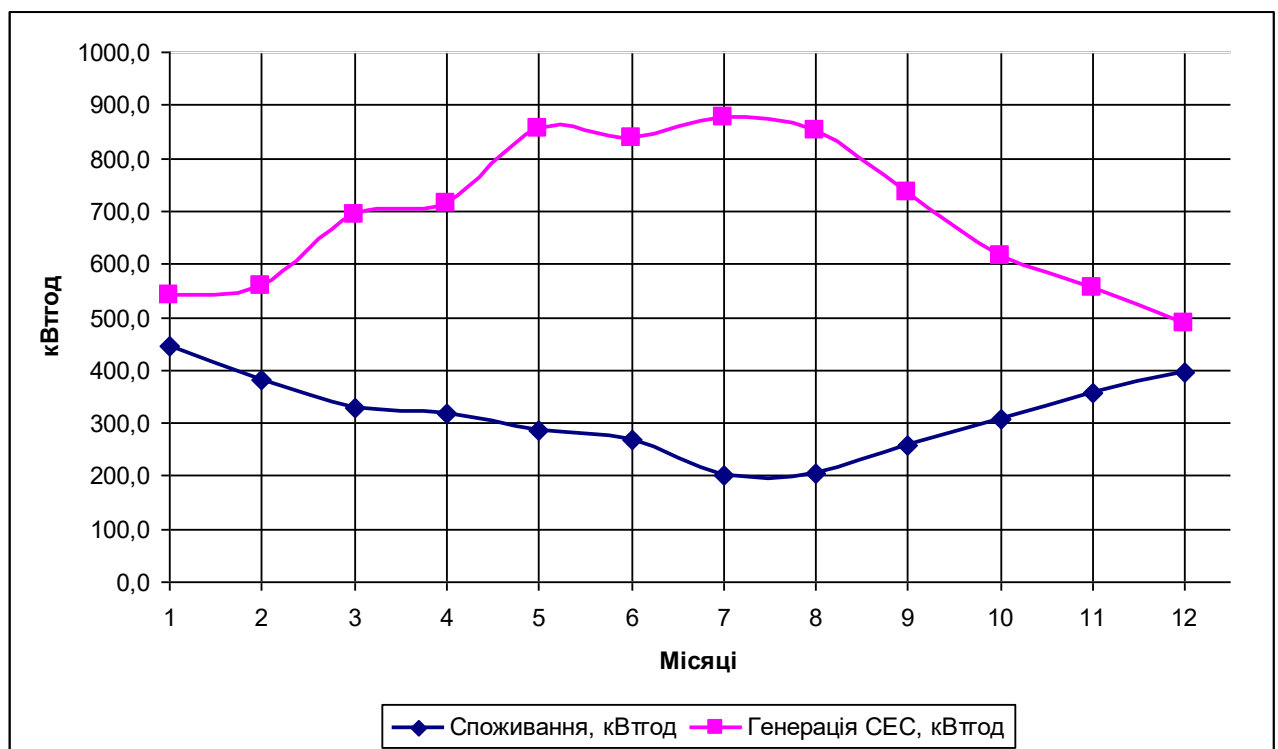


Рисунок 2.4. Електроенергія, що виробляється СЕС протягом року

Як показують проведені розрахунки і наочно демонструє графік, наведений на рисунку 2.4, використання для електрифікації приватного будинку тільки сонячні батареї є вкрай не раціональним. Це пов'язано перш за все з необхідністю розрахунку параметрів СЕС по зимовим місяцям, коли

рівень сонячної інсоляції мінімальний. В результаті в літню пору спостерігається високий рівень перевиробництва електроенергії, що говорить про не виправдано високий рівень матеріальних витрат на такий захід.

2.3 Вибір обладнання вітрової електричної станції для приватного будинку

Рівень вітрової генерації для покриття електричних навантажень розглянутого будинку визначається встановленою потужністю вітрогенератора, енергетичним потенціалом вітру і середнім електроспоживання на даному часовому інтервалі.

В результаті порівняння можливих варіантів побудови вітрових енергетичних комплексів і приймаючи до уваги виконані раніше в § 2.2 розрахунки обсягів електроспоживання обираємо вітрогенератор з акумуляторами, що дозволяють виключити перерви в електропостачанні під час перемикання генеруючого обладнання.

2.3.1 Оцінка вітроенергетичного потенціалу

Вітроенергетичний потенціал визначається як повна енергія вітрового потоку будь-якої місцевості на певній висоті над поверхнею землі. Енергія вітру характеризується швидкістю, яка є випадково змінною в просторі і часі. Тому, енергетичні характеристики вітру представляються імовірнісним описом випадкового процесу зміни вітроенергетичного потенціалу. Основою імовірнісного підходу є дискретизація тимчасового процесу, що дозволяє вважати незалежними і постійними всі обумовлені параметри на інтервалі дискретизації. В якості тимчасових інтервалів стаціонарності зазвичай використовується місяць.

Сукупність аерологічних і енергетичних характеристик вітру об'єднується в вітроенергетичний кадастр регіону. Основними

характеристиками вітроенергетичного кадастру є:

- середньорічна швидкість вітру, річний і добовий хід вітру;
- повторюваність швидкостей, типи і параметри функцій розподілу швидкостей вітру;
- вертикальний профіль середньої швидкості вітру;
- питома потужність і питома енергія вітру;
- вітроенергетичні ресурси регіону.

Середньорічна швидкість вітру визначається як середньоарифметичне значення, отримане в результаті вимірів швидкості через рівні проміжки часу протягом певного періоду: доба, місяць, рік.

$$V_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i$$

де: V_i - швидкість вітру в інтервалі вимірювання i ;

n - кількість інтервалів вимірювань.

Дані спостережень представлені на рисунку 2.5. Отримані вітроенергетичні характеристики дозволяють оптимізувати вибір вітроенергетичного обладнання і, далі, інтегрувати його в систему електропостачання будинку.

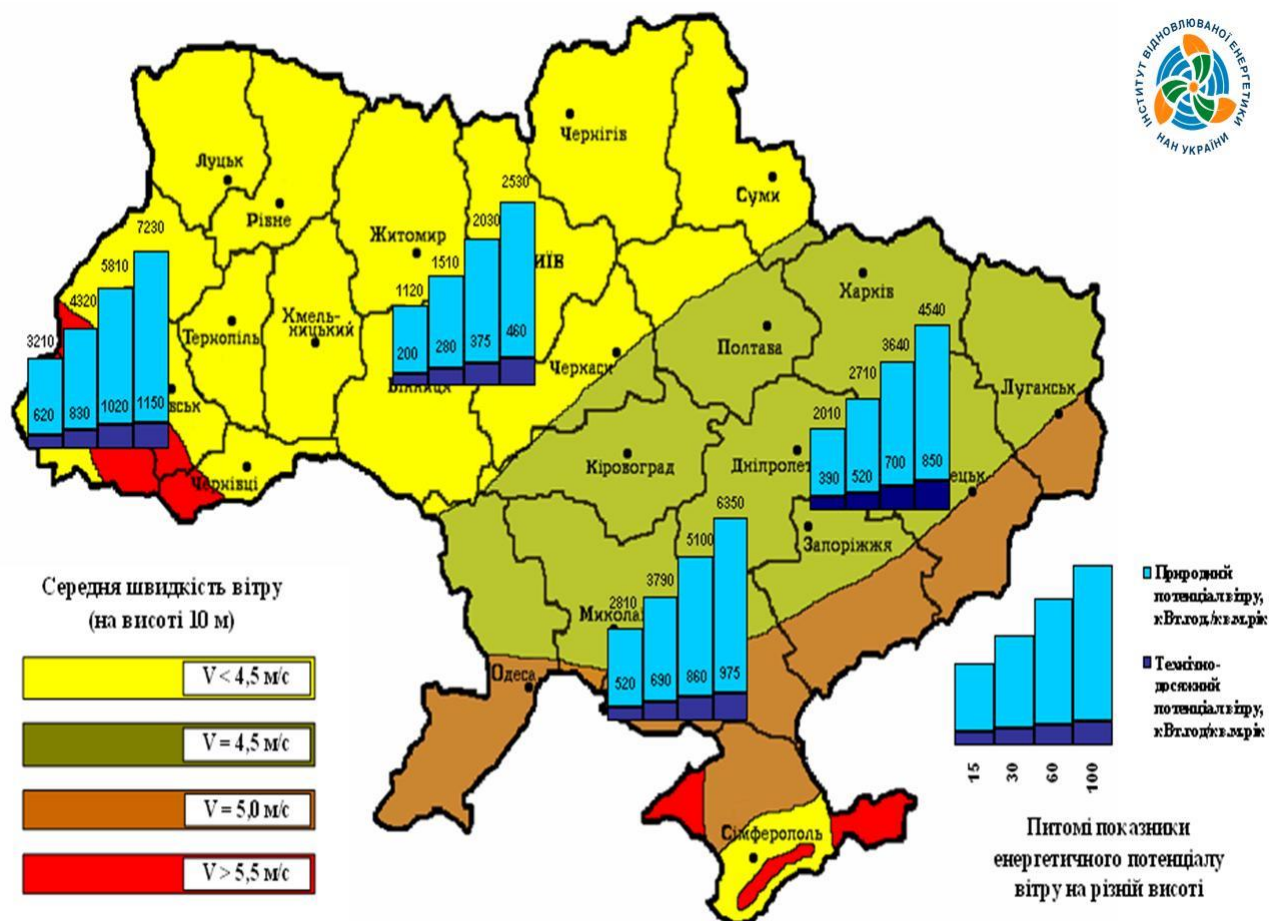


Рисунок 2.5. Вітроенергетичний кадастр України.

2.3.2 Вибір вітрогенератора

Вибір обладнання вітроелектростанції визначається вітроенергетичним потенціалом місцевості і передбачуваним обсягом виробленої електроенергії. В якості основної характеристики вітропотенціалу для вирішення питання про доцільність будівництва ВЕС й орієнтовного вибору вітрогенератора використовується середньорічна швидкість вітру V_{cp} . Зв'язок електричної потужності, що розвивається вітрогенератором зі швидкістю вітру встановлюється відомим співвідношенням:

$$P_{ел} = \zeta \cdot 0,5 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot \rho \cdot V_{cp} \cdot \eta$$

де: ζ - коефіцієнт використання енергії вітру;

R - радіус ротора вітротурбіни;

ρ - щільність повітря (при нормальних умовах $\rho=1,2041 \text{ кг/м}^3$);

$V_{\text{ср}}$ - середньорічна швидкість вітру;

η - ККД електромеханічного перетворювача енергії.

Орієнтуючись на передбачувану кількість енергії, що генерується і на середньорічну швидкість вітру можна з пропонованих на ринку вітрогенераторів попередньо вибрати підходящі варіанти.

В процесі розгляду варіантів слід зіставляти стартову швидкість вітру, яка для більшості вітрогенераторів дорівнює 2...4 м/с, номінальну швидкість вітру, що змінюється для різних вітрогенераторів від 8 до 14...15 м/с, із середньою швидкістю вітру для даної місцевості.

Зручною для аналізу вироблення електроенергії скористатися характеристиками потужності ВЕС, що зв'язує електричну потужність зі швидкістю вітру. Дана характеристика часто знімається експериментально і наводиться в технічному описі вітрогенераторів.

При відомому розподілі швидкостей вітру по градаціях можливе вироблення електроенергії вітрогенератора за певний проміжок часу можна визначити як:

$$W = \sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i$$

де: P_i - середня потужність, відповідна i - градації швидкості вітра;

t - тривалість даної градації за аналізований часовий інтервал (зазвичай місяць);

n - кількість градацій.

Слід зазначити, що не всі виробники наводять характеристики потужності своїх вітрогенераторів. В цьому випадку можна використовувати лінійну апроксимацію цих характеристик по двох точках:

- стартова швидкість вітру і близько до нуля потужність;

- номінальні швидкість і потужність вітрогенератора.

Слід зазначити, що в умовах приватного домоволодіння рекомендується використовувати ветрогенеріруючі установки потужністю до 5 кВт. Більш потужні вітрогенератори використовувати не рекомендується через їх велику вагу і габарити.

Використовуючи характеристики вітрогенераторів різних виробників побудуємо залежності вироблюваної ними електроенергії від швидкості вітру (рисунок 2.6).

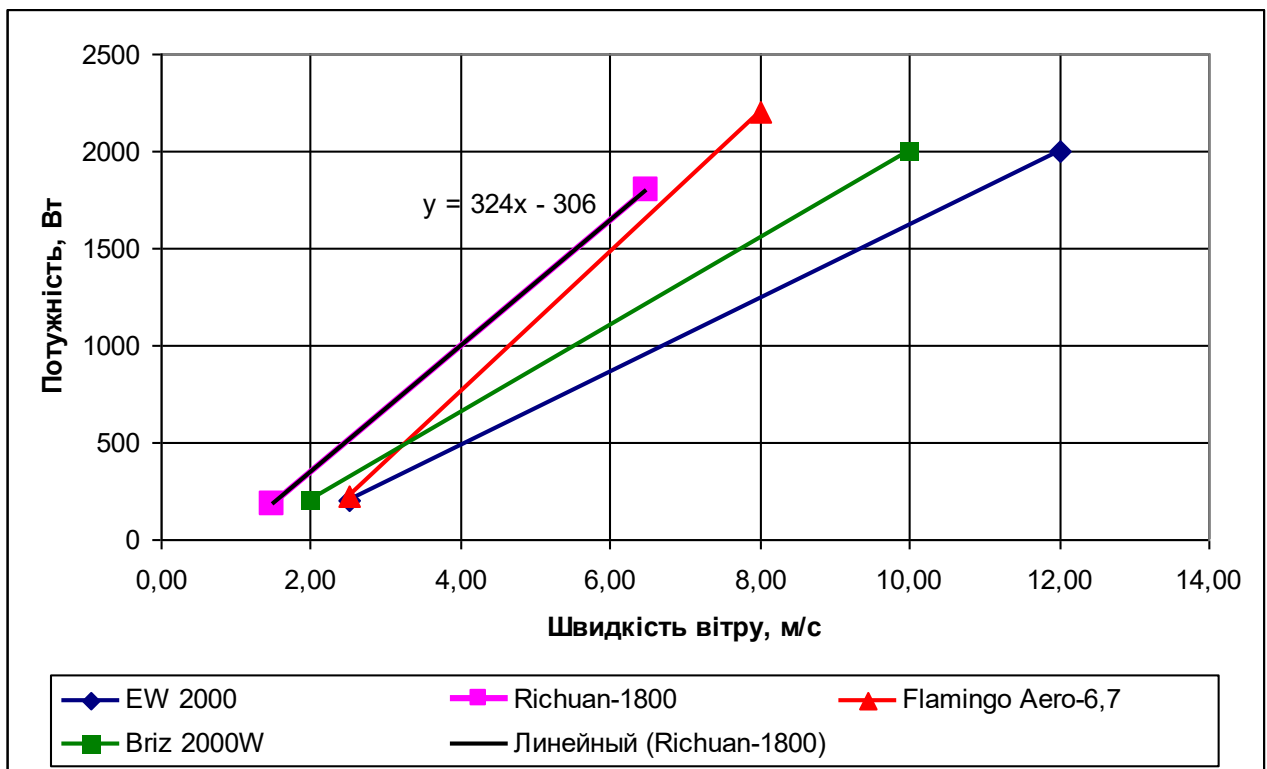


Рисунок 2.6. Залежність вироблюваної електроенергії від швидкості вітру різних вітрогенераторів.

Як видно при порівнянні характеристик різних вітрогенераторів близьких по потужності, найбільш привабливим для умов розглянутого будинку є вітрогенератор «Richuan-1800», який розвиває найбільшу потужність при швидкостях вітру 4,5 м/с. Представлена на рисунку графічна характеристика обраного вітрогенератора, може бути описана поліноміальною апроксимацією рівнянням:

$$y = 324 \cdot x - 306$$

Використовуючи залежність на рисунку 2.6, отримане рівняння і дані про середні швидкості вітру в районі м. Красноград, визначимо кількість електроенергії, яке може призвести обраний вітрогенератор в липні місяці.

$$W_{\text{ВГлип}} = (324 \cdot V_{\text{ср.січ}} - 306) \cdot \eta \cdot t_{\text{доб}} \cdot t_{\text{січ}} = (324 \cdot 2,8 - 306) \cdot 0,72 \cdot 24 \cdot 31 = 322,1 \text{ кВт} \cdot \text{г}$$

де: $V_{\text{ср.січ}}$ - середня швидкість вітру в липні, м/с;

η - ККД електромеханічного перетворювача енергії;

$t_{\text{доб}}$ - число годин у добі;

$t_{\text{січ}}$ - кількість днів в липні.

Для інших місяців року розрахунок проводиться аналогічно, результати розрахунку зведені в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6 - Генерація електроенергії вітрової електростанцією протягом року

Місяць	Споживання, кВт·год	Генерація ВЕС, кВт·год
Січень	445,2	617,1
Лютий	381,6	526,0
Березень	329,9	565,0
Квітень	318,0	547,7
Травень	286,2	530,3
Червень	270,3	426,2
Липень	202,7	322,1
Серпень	206,7	374,1
Вересень	258,4	443,5
Жовтень	306,1	443,5
Листопад	357,8	495,6
Грудень	397,5	565,0

Проведений розрахунок показує, що обраний вітрогенератор «Richuan-1800» потужністю 1,8 кВт дозволяє практично повністю забезпечити електроенергією даний об'єкт досліджень - приватний будинок в місті Красноград.

Таблиця 2.7 - Технічні характеристики вітрогенератора «Richuan-1800»

Найменування	Значення
Номінальна потужність	1,8 кВт
Номінальна вихідна напруга	24 В
Діаметр вітротурбіни	2,6 м
Кількість лопатей	9 шт
Матеріал лопатей	алюміній
Стартова швидкість вітру	1,5 м/с
Розрахункова швидкість вітру	6,5 м/с
Максимальна швидкість вітру	11 м/с
Вид вітротурбін	з вертикальною віссю обертання ("карусельні" або "лопатеві")
Рекомендована висота щогли	від 17 м
Робочий діапазон температур	від мінус 35 °С до + 55 °С

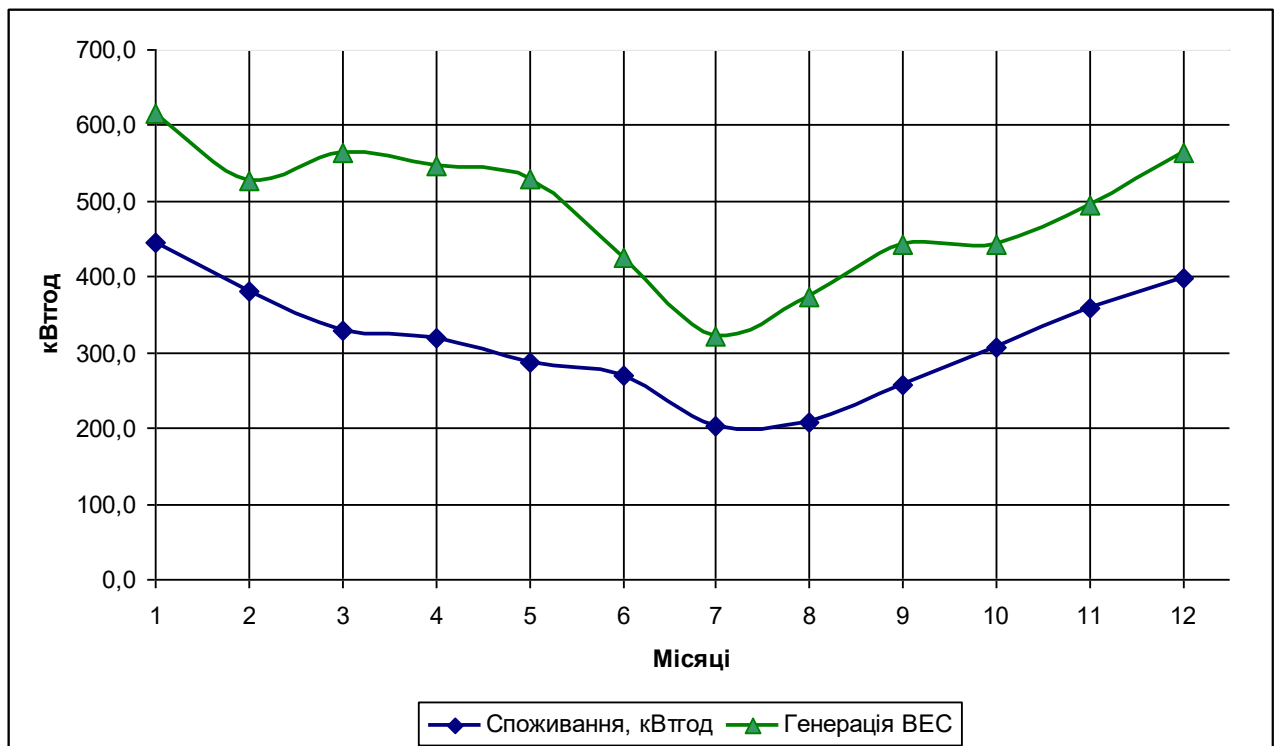


Рисунок 2.7. Електроенергія, що виробляється ВЕС протягом року

Розрахунок необхідної потужності інвертора і кількості акумуляторних батарей повністю аналогічний розрахунку для сонячної електростанції. Таким чином обрані раніше інвертор і акумулятори повністю підходять і для вітрової електростанції.

2.4 Розрахунок гібридної вітро-сонячної електростанції.

В §§ 2.2. і 2.3 було розглянуто два варіанта забезпечення потреб приватного будинку в електричній енергії за допомогою ВДЕ – використання СЕС і використання вітрової електростанції. Однак кожен з розглянутих варіантів має суттєві недоліки.

Так використання для вироблення електроенергії тільки сонячних батарей вимагає збільшення їх кількості для роботи в зимовий час, коли рівень сонячної інсоляції мінімальний. Крім того потрібна велика кількість акумуляторів так, як кількість "днів без сонця" в зимовий час може досягати шести.

Використання для генерації електроенергії тільки вітрової установки також вимагає її підвищеної потужності в літній час, коли інтенсивність вітру значно знижується. Також система з вітрогенератором вимагає великої кількості акумуляторів для накопичення електроенергії.

Таким чином найбільш раціональним є використання комбінованої вітро-сонячної електростанції, коли в літню пору, при високому рівні інсоляції, основними генеруючими потужностями є сонячні батареї, а взимку, коли інтенсивність вітру висока основну частину генерації бере на себе вітрова станція. Крім того, використання такої комбінованої генерації дозволяє істотно скоротити ємність акумуляторних батарей.

Далі проведемо розрахунок параметрів та вибір обладнання комбінованої вітро-сонячної електростанції.

2.4.1 Вибір інвертора

Для вибору інвертора необхідно визначити навантаження постійного і змінного струму для нашого проекту. Значення навантаження для будинку було наведено в таблиці 2.1 і залишається без змін. Таким чином потужність інвертора з урахуванням запасу, при одночасному включення всього обладнання теж не зміниться:

$$P_{інв} = P_{зм} \cdot k = 8190 \cdot 1,2 = 9828 \text{ Вт}$$

Приймаємо інвертор потужністю 10 кВт, типу Victron Energy

Число ампер-годин на тиждень, необхідне для покриття навантаження змінного струму, визначається по формулі:

$$q_{тиж}^{зм} = \frac{W_{тр}}{U_{інв}} = \frac{88850}{24} = 3702 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Добове значення споживаних А·год визначається діленням $q_{тиж}$ на 7 днів:

$$q_{доб} = \frac{q_{тиж}^{зм}}{7} = \frac{3702}{7} = 528,8 \text{ А} \cdot \text{год}$$

2.4.2 Визначення значення необхідної ємності акумуляторних батарей і їх кількості

Для визначення необхідної кількості батарей і їх ємності необхідно визначити максимальне число послідовних "днів без сонця" $N_{бс}$ (тобто коли сонячної енергії недостатньо для заряду акумуляторної батареї і відповідно для роботи навантаження через негоду або хмарність), і орієнтуючись на режим експлуатації. У зв'язку з тим, що в даному випадку має місце два джерела генерації, в разі відсутності сонця підзарядка акумуляторів буде відбуватися від вітрогенератора і навпаки, приймаємо $N_{бс} = 0,5$

Сумарна ємність акумуляторів, що враховує кількість днів без сонця $N_{бс}$:

$$q_N = q_{доб} \cdot N_{бс} = 528,8 \cdot 0,5 = 264,4 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Задаємося величиною глибини допустимого розряду акумуляторної батареї – 50 %. Відповідно коефіцієнт використання $\gamma=0,5$.

Заряд акумуляторної батареї з урахуванням глибини розряду:

$$q_{\gamma} = \frac{q_N}{\gamma} = \frac{264,4}{0,5} = 528,8 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Вибираємо коефіцієнт, що враховує температуру навколишнього середовища в приміщенні, де встановлені акумуляторні батареї. Акумуляторні батареї планується розташовувати в підсобному приміщенні, де температура в зимовий час не опускається нижче +10 °С. При цій температурі коефіцієнт $\alpha=1,19$.

Загальна необхідна ємність акумуляторних батарей:

$$q_{\text{общ}} = q_{\gamma} \cdot \alpha = 528,8 \cdot 1,19 = 629 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Приймаємо 12 В акумулятор Leoch DJM 12250 (250Аг 12В, AGM- GEL).
Характеристики АКБ:

$$U_{\text{ном}} = 12 \text{ В};$$

$$q_{\text{ном}} = 250 \text{ А} \cdot \text{год}.$$

Кількість батарей, з'єднаних паралельно:

$$N_{\text{пар}}^{\text{АКБ}} = \frac{q_{\text{общ}}}{q_{\text{ном}}} = \frac{629}{250} = 3 \text{ шт}$$

Кількість батарей, з'єднаних послідовно:

$$N_{\text{посл}}^{\text{АКБ}} = \frac{U_{\text{инв}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{24}{12} = 2 \text{ шт}$$

Загальна кількість необхідних акумуляторних батарей:

$$N^{AKB} = N_{пар}^{AKB} \cdot N_{посл}^{AKB} = 3 \cdot 2 = 6 \text{ шт}$$

2.4.3 Визначення необхідної кількості сонячних батарей

Під час виконання диплома бакалавра проводились розрахунки кількості середньомісячного надходження сонячної радіації на похилу поверхню для розглянутого будинку в м. Красноград.

Згідно даних розрахунків в липні місяці припадає 5,44 кВт·год/м²/день на похилу поверхню. Тоді можна зробити висновок, що при встановленні під кутом 45 градусів, на 1 м² буде припадати достатня кількість сонячної інсоляції для нормальної роботи сонячної панелі.

Приймаються до установки сонячні батареї JA Solar JAP72S01 330 Вт з полікристалічного кремнію. Характеристики панелі представлені в таблиці 2.4.

Необхідна ємність з урахуванням втрат на заряд-розряд акумуляторної батареї:

$$q_{з-р} = q_{доб} \cdot \zeta = 528,8 \cdot 1,2 = 634,6 \text{ А} \cdot \text{год}$$

де ζ – поправочний коефіцієнт на заряд – розряд АКБ, $\zeta = 1,2$

Значення струму, який повинні генерувати сонячні батареї:

$$I^{CB} = \frac{q_{з-р}}{i} = \frac{634,6}{5,44} = 116,6 \text{ А} \cdot \text{год}$$

де i – число пікових сонце-годин для заданої місцевості, $i = 5,44$ (дані з сайту NASA).

Число модулів, з'єднаних паралельно:

$$N_{\text{пар}}^{\text{СБ}} = \frac{I^{\text{СБ}}}{I_{\text{ТР}}} = \frac{116,6}{8,77} = 13,3 \text{ шт}$$

де $I_{\text{ТР}}$ – струм максимальної точки трекера, А,

Числа модулів, з'єднаних послідовно:

$$N_{\text{посл}}^{\text{СБ}} = \frac{U_{\text{інв}}}{U_{\text{ном}}^{\text{СБ}}} = \frac{24}{24} = 1$$

де $U_{\text{ном}}^{\text{СБ}}$ – номінальна напруга панелі, В.

Загальна кількість необхідних фотоелектричних модулів:

$$N_{\text{СБ}} = N_{\text{пар}}^{\text{СБ}} \cdot N_{\text{посл}}^{\text{СБ}} = 14 \cdot 1 = 14 \text{ шт}$$

Площа сонячних батарей:

$$S^{\text{СБ}} = N^{\text{СБ}} \cdot S_1^{\text{СБ}} = 14 \cdot 1,94 = 27,14 \text{ м}^2$$

де $S_1^{\text{СБ}} = 1,94$ – площа однієї сонячної батареї, м²

2.4.4 Генерація електричної енергії від СЕС в складі гібридної системи

Згідно з базою даних NASA розраховано середнє значення температури для липня місяця, яке становить:

$$t_{\text{ср}} = 23,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Визначимо відхилення значення температури даного дня від значення температури при нормальних умовах (н.у.):

$$t_{\text{роз}} = t_o + t_{cp} = 25 + 23,8 = 48,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Згідно з даними бази даних NASA знаходимо середнє значення радіації для липня місяця:

$$E_{cp} = 5,44 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$$

Значення енергії, що надходить при даному відхиленні температури:

$$E_{\text{пад}} = t_{\text{роз}} \cdot K_t = 48,8 \cdot (-0,34) = 16,6 \text{ \%}$$

У відсотковому відношенні від номінального ККД значення $E_{\text{пад}}=16,6 \text{ \%}$

$$\eta_{\text{част}} = \frac{\eta_{\text{ном}} \cdot E_{\text{пад}}}{100} = \frac{16 \cdot 16,6}{100} = 2,65 \text{ \%}$$

Знайдемо ККД панелі при середній температурі 23,8 градуса:

$$\eta_{\text{панелі}} = \eta_{\text{ном}} + \eta_{\text{част}} = 16 - 2,65 = 13,3 \text{ \%}$$

Згідно з даними NASA середній виробіток енергії на 1 м^2 за липень місяць становить $E_{cp}=5,44 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$, знайдемо середню кількість енергії, що виробляється на 1м^2 сонячної панелі:

$$W_{\text{панелі}/\text{м}^2} = E_{cp} \cdot \eta_{\text{панелі}} = 5,44 \cdot 0,133 = 0,72 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$$

Визначимо вироблення енергії обраною панеллю з корисною площею $1,6\text{м}^2$:

$$W_{\text{пан}} = W_{\text{панелі}/\text{м}^2} \cdot S = 0,72 \cdot 1,6 = 1,16 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Таким чином в липні місяці обрані сонячні панелі зможуть виробити наступну кількість електричної енергії:

$$W_{\text{груд}} = W_{\text{пан}} \cdot N^{\text{СБ}} \cdot 31 = 1,16 \cdot 14 \cdot 31 = 503 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

У відповідності з наведеною методикою розрахунку визначаємо кількість електроенергії, яка буде вироблятися СЕС в складі гібридної системи протягом року. Результати розрахунку наведені в таблиці 2.8 та на рисунку 2.8.

Таблиця 2.8. Електроенергія, що виробляється СЕС в складі гібридної системи протягом року

Місяць	Споживання, кВт·год	Генерація СЕС, кВт·год
Січень	445,2	360
Лютий	381,6	373
Березень	329,9	462
Квітень	318,0	477
Травень	286,2	495
Червень	270,3	485
Липень	202,7	503
Серпень	206,7	491
Вересень	258,4	457
Жовтень	306,1	410
Листопад	357,8	369
Грудень	397,5	326

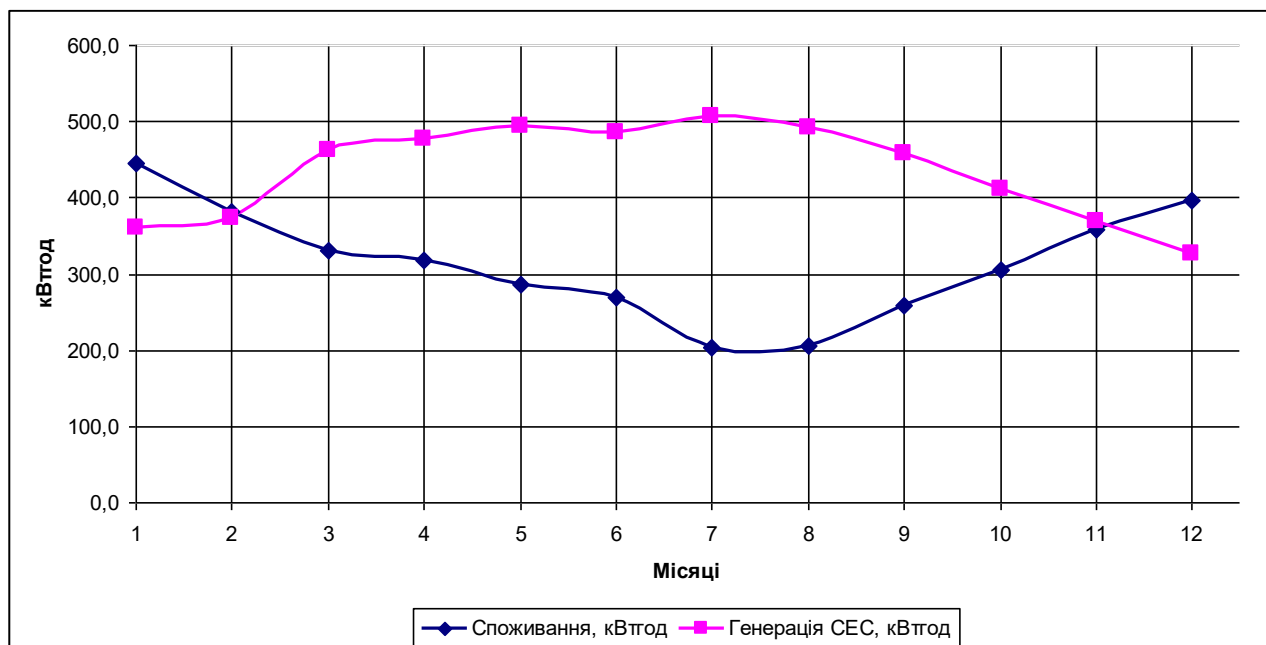


Рисунок 2.8. Електроенергія, що виробляється СЕС в складі гібридної системи протягом року

2.4.5 Вибір обладнання вітрової електричної станції

Рівень вітрової генерації для покриття електричних навантажень розглянутого будинку визначається встановленою потужністю вітрогенератора, енергетичним потенціалом вітру і середнім електроспоживання на даному часовому інтервалі.

В результаті порівняння можливих варіантів побудови вітрових енергетичних комплексів і приймаючи до уваги виконані раніше в § 2.2 розрахунки обсягів електроспоживання та в § 2.4.4 обсяги генерації СЕС в складі гібридної системи обираємо вітрогенератор.

Орієнтуючись на передбачувану кількість енергії, що генерується і на середньорічну швидкість вітру можна з пропонованих на ринку вітрогенераторів попередньо вибрати підходящі варіанти.

Зручною для аналізу вироблення електроенергії скористатися характеристиками потужності ВЕС, що зв'язує електричну потужність зі швидкістю вітру. Дана характеристика часто знімається експериментально і наводиться в технічному описі вітрогенераторів.

Раніше були побудовані характеристики вітрогенераторів різних виробників в залежності вироблюваної ними електроенергії від швидкості вітру (рисунок 2.6). Для запропонованої гібридної вітро-сонячної електростанції обираємо вітрогенератор «Richuan-1000», який розвиває найбільшу потужність при швидкостях вітру 4,5 м/с. Графічна характеристика обраного вітрогенератора, може бути описана поліноміальною апроксимацією рівнянням:

$$y = 180 \cdot x - 170$$

Використовуючи отримане рівняння і дані про середні швидкості вітру в районі м. Красноград, визначимо кількість електроенергії, яке може призвести обраний вітрогенератор в січні місяці.

$$W_{\text{ВГлип}} = (324 \cdot V_{\text{ср.січ}} - 306) \cdot \eta \cdot t_{\text{доб}} \cdot t_{\text{січ}} = (180 \cdot 4,5 - 170) \cdot 0,72 \cdot 24 \cdot 31 = 342,8 \text{ кВт} \cdot \text{г}$$

де: $V_{\text{ср.січ}}$ - середня швидкість вітру в січні, м/с;

η - ККД електромеханічного перетворювача енергії;

$t_{\text{доб}}$ - число годин у добі;

$t_{\text{січ}}$ - кількість днів в січні.

Для інших місяців року розрахунок проводиться аналогічно, результати розрахунку зведені в таблицю 2.9.

Таблиця 2.9 - Генерація електроенергії вітрової електростанцією в складі гібридної системи протягом року

Місяць	Споживання, кВт·год	Генерація ВЕС, кВт·год
Січень	445,2	343
Лютий	381,6	292
Березень	329,9	314
Квітень	318,0	304
Травень	286,2	295
Червень	270,3	237
Липень	202,7	179
Серпень	206,7	208
Вересень	258,4	246
Жовтень	306,1	246

Листопад	357,8	275
Грудень	397,5	314

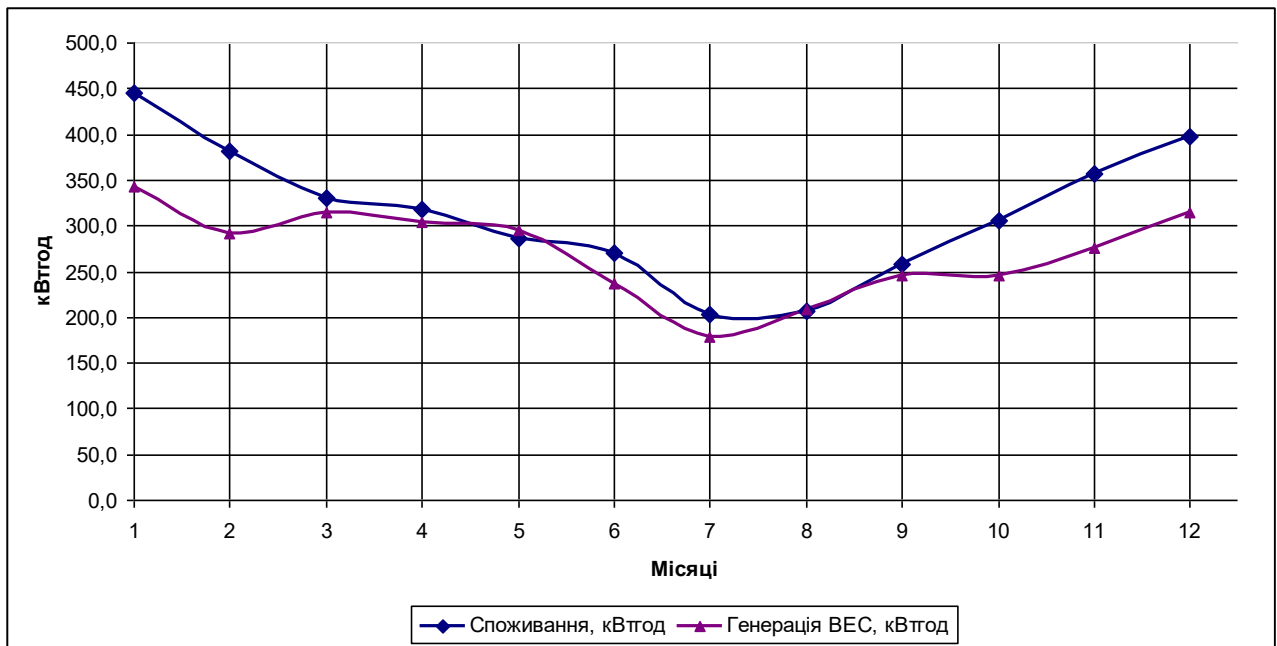


Рисунок 2.9. Електроенергія, що виробляється ВЕС в складі гібридної системи протягом року

Повна генерація електричної енергії від запропонованої гібридної вітро-сонячної електростанції наведено в таблиці 2.10 та на рисунку 2.10.

Таблиця 2.10 - Генерація електроенергії гібридною вітро-сонячною електростанцією протягом року

Місяць	Споживання, кВт·год	Генерація СЕС, кВт·год	Генерація ВЕС, кВт·год	Генерація ВДЕ, кВт·год
Січень	445,2	360	343	703
Лютий	381,6	373	292	665
Березень	329,9	462	314	776
Квітень	318,0	477	304	781
Травень	286,2	495	295	789
Червень	270,3	485	237	722
Липень	202,7	507	179	686
Серпень	206,7	491	208	699
Вересень	258,4	457	246	704
Жовтень	306,1	410	246	657
Листопад	357,8	369	275	644
Грудень	397,5	326	314	640

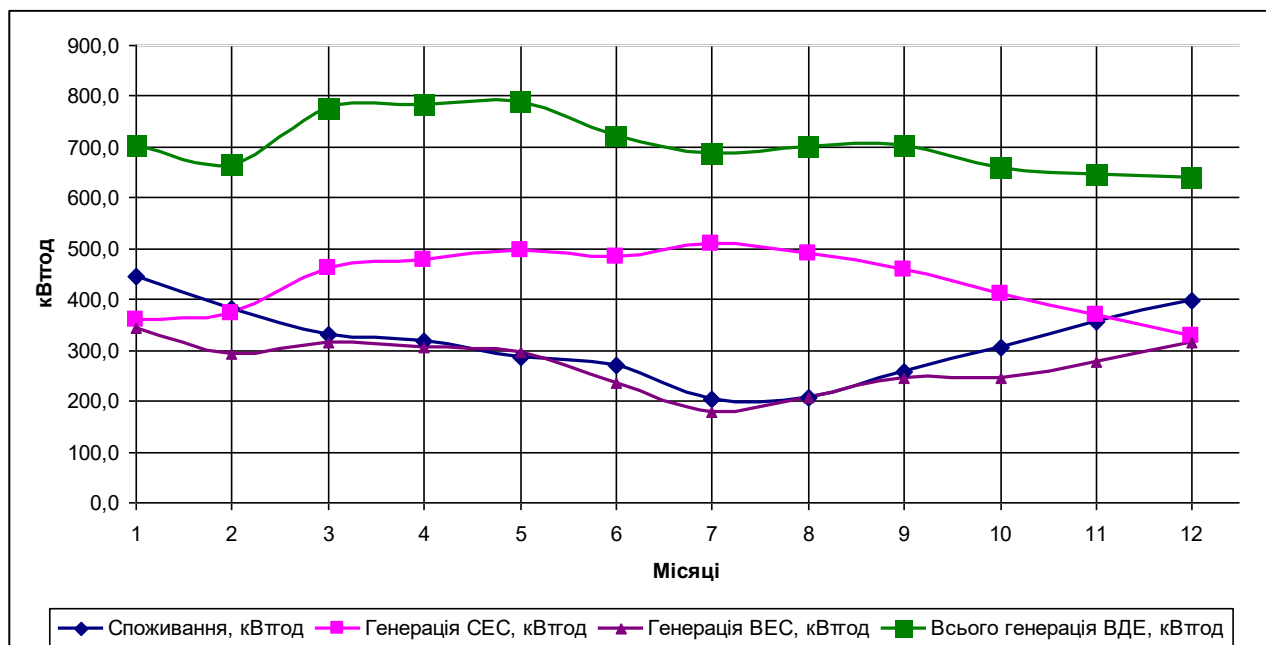


Рисунок 2.10. Електроенергія, що виробляється гібридною вітро-сонячною електростанцією протягом року.

Як показали проведені розрахунки, використання гібридної вітро-сонячної електрогенеруючої установки дозволяє не тільки повністю забезпечити даний об'єкт електроенергією, а й дозволяє реалізовувати надлишки генерації в мережу за "зеленим тарифом". Таке рішення дозволить значно збільшити прибуток від роботи запропонованої гібридної системи і скоротити термін її окупності.

Висновки.

1. Використання для електрифікації приватного будинку тільки сонячні батареї є вкрай не раціональним. Це пов'язано перш за все з необхідністю розрахунку параметрів СЕС по зимовим місяцям, коли рівень сонячної інсоляції мінімальний, що говорить про невиправдано високий рівень матеріальних витрат на такий захід.

2. Використання для електрифікації приватного будинку тільки вітрогенератора вимагає вести розрахунки для найбільш несприятливого часу — літа, коли інтенсивність вітру значно зменшується. Крім того використання тільки одного виду генератора вимагає значної кількості акумуляторних батарей.

3. Найбільш раціональним можна вважати варіант використання гібридної вітро-сонячної електрогенеруючої установки, коли в літню пору, при високому рівні інсоляції, основними генеруючими потужностями є сонячні батареї, а взимку, коли інтенсивність вітру висока основну частину генерації бере на себе вітрова станція.

3 Техніко-економічне обґрунтування

3.1 Вступ

В роботі проведено аналіз кліматичних умов м. Красноград, виділені найбільш перспективні джерела віновлюваної енергії - сонячні батареї та вітроенергетика. Для визначення найбільш перспективного варіанту запропоновано впровадження сонячної електрогенеруючої установки, вітрової електрогенеруючої установки і гібридної вітро-сонячно електростанції для умов приватного домоволодіння.

Впровадження запропонованої системи дозволить повністю забезпечити потреби об'єкта в електричній енергії, що дасть не тільки повну автономність від міських електричних мереж, але і можливість реалізації надлишків електроенергії в мережу за «зеленим тарифом».

Для визначення економічної ефективності виділимо три варіанта:

Варіант 1 - використання для електрифікації приватного будинку тільки сонячні батареї;

Варіант 2 - використання для електрифікації приватного будинку тільки вітрогенератора;

Варіант 3 - використання гібридної вітро-сонячної електрогенеруючої установки, коли в літню пору, при високому рівні інсоляції, основними генеруючими потужностями є сонячні батареї, а взимку, коли інтенсивність вітру висока основну частину генерації бере на себе вітрова станція.

В економічному розділі необхідно визначити капітальні витрати на придбання, доставку, монтаж і налагодження відповідного обладнання, експлуатаційні витрати, показники ефективності капітальних витрат і термін окупності для кожного з проектів.

3.2. Розрахунок капітальних витрат

Капітальні вкладення - це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів та нематеріальних активів які підлягають амортизації.

Капітальні вкладення, необхідні для впровадження запропонованої системи, є одним з найважливіших показників що застосовуються для економічної оцінки ефективності заходів.

Проектні капіталовкладення в обладнання та будівельно-монтажні роботи визначаються на основі договірних цін і розцінок за станом на 08.12.2020 р. компаній «SOLAR.BIZ.UA» [11]. Підприємство надає повний спектр послуг з продажу, доставки, монтажу і налагодження сонячних і вітрових електростанцій.

Визначимо вартість монтажно-налагоджувальних робіт для варіанту 1 за формулою:

$$K_{\text{мн}}^I = \sum (C_i \cdot a \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{\text{см}} \cdot K_{\text{пр}} = (3 \cdot 28,6 \cdot 41 + 2 \cdot 35,5 \cdot 38) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,1 = 9176 \text{ грн}$$

де: C_i - чисельність працівників i -го розряду, необхідних для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних) робіт, чол;

a - годинна тарифна ставка i -го розряду, грн;

t_i - час, необхідний для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних) робіт, годин;

$K_d=1,1 \dots 1,5$ - коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$K_{\text{см}}=1,22$ - коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальні заходи;

$K_{\text{пр}}=1,1 \dots 1,5$ - коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення монтажних (налагоджувальних) робіт.

Аналогічно знаходимо вартість монтажно-налагоджувальних робіт для варіанту 2 і 3:

$$K_{\text{мн}}^{\text{II}} = \sum (C_i \cdot a \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{\text{см}} \cdot K_{\text{пр}} = (2 \cdot 28,6 \cdot 38 + 2 \cdot 35,5 \cdot 25) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,1 = 7617 \text{ грн}$$

$$K_{\text{мн}}^{\text{III}} = \sum (C_i \cdot a \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{\text{см}} \cdot K_{\text{пр}} = (4 \cdot 28,6 \cdot 48 + 3 \cdot 35,5 \cdot 31) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,1 = 12979 \text{ грн}$$

Транспортні витрати визначаються відповідно до тарифів перевізника ТОВ «Делівері», маси вантажу і відстані до складів постачальника. Доставка

вантажів буде здійснюватися зі складу компанії «SOLAR.BIZ.UA» в місті Харків. Згідно розрахунків перевізника доставка для всіх трьох варіантів буде приблизно рівна і складе 5600 грн.

Проектні капіталовкладення в устаткування наведені в таблиці. 3.1.

Таблиця 3.1 - Розрахунок капітальних витрат по варіантам

№	Найменування встаткування й виконуваних робіт	Обґрунтування	Кількість	Вартість, грн.	
				за одиницю	усього
Варіант 1					
1	Сонячні батареї JA Solar JAP72S01 330 Вт	Електронний ресурс [11]	21	3200	108800
2	Гібридний інвертор Victron Energy 10 кВт	Електронний ресурс [11]	1	5830	5830
3	Акумуляторна батарея Leoch DJM 12250	Електронний ресурс [11]	62	3150	195300
4	Транспортні витрати	грн.	-	-	5600
5	Монтажно-налагоджувальні роботи	грн.	-	-	9176
	Всього	грн.	-	-	324706
Варіант 2					
4	Ветрогенератор «Richuan-1000»	Електронний ресурс [11]	1	66810	66810
2	Гібридний інвертор Victron Energy 10 кВт	Електронний ресурс [11]	1	5830	5830
3	Акумуляторна батарея Leoch DJM 12250	Електронний ресурс [11]	62	3150	195300
	Транспортні витрати	грн.	-	-	5600
	Монтажно-налагоджувальні роботи	грн.	-	-	7617
	Всього	грн.	-	-	281157

Варіант 3					
1	Сонячні батареї JA Solar JAP72S01 330 Вт	Електронний ресурс [11]	14	3200	44800
2	Гібридний інвертор Victron Energy 10 кВт	Електронний ресурс [11]	1	5830	5830
3	Акумуляторна батарея Leoch DJM 12250	Електронний ресурс [11]	6	3150	18900
4	Ветрогенератор «Richuan-1000»	Електронний ресурс [11]	1	38040	38040
4	Транспортні витрати	грн.	-	-	5600
5	Монтажно-налагоджувальні роботи	грн.	-	-	12979
	Всього	грн.	-	-	126149

Капітальні витрати становлять:

$$K = K_{об} + K_{тр} + K_{мн}$$

де: $K_{об}$ – вартість устаткування по зведенню витрат (без ПДВ), грн.;

$K_{тр}$ – транспортно-заготівельні й складські витрати, грн.;

$K_{мн}$ – витрати на монтаж і налагодження встаткування, грн.;

$$K^I = 309930 + 5600 + 9176 = 324706 \text{ грн}$$

$$K^{II} = 267940 + 5600 + 7617 = 281157 \text{ грн}$$

$$K^{III} = 69530 + 5600 + 12979 = 126149 \text{ грн}$$

3.3. Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію й обслуговування об'єкта проектування за певний період, виражений у грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат по електротехнічному встаткуванню й енергомережам ставляться:

- а) амортизаційні відрахування (C_a);
- б) вартість спожитої електроенергії (C_e);
- в) основна й додаткова заробітна плата обслуговуючого персоналу й відрахування на соціальні заходи (C_z);
- г) витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування (C_T);
- д) інші витрати ($C_{ін}$).

У такий спосіб річні експлуатаційні витрати по об'єкті проектування становлять:

$$C = C_a + C_e + C_z + C_T + C_{ін}$$

де: C_z - заробітна плата з нарахуваннями персоналу, зайнятого обслуговуванням пристроїв, грн/рік;

C_T - витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт, грн/рік;

C_a - сума амортизаційних відрахувань, грн/рік;

C_e - вартість спожитої електроенергії, грн/рік;

$C_{ін}$ - інші витрати, грн/рік.

Пропоновані до установки системи сонячних батарей і вітрогенератора є повністю автономними і не вимагають постійної присутності оператора або обслуговуючого персоналу. Всі планові роботи з обслуговування будуть проводитися господарем будинку. Таким чином статті витрат C_z , C_e і $C_{ін}$ дорівнюють нулю.

$$C_a = \frac{\Phi_n \cdot H_a}{100}; \quad H_a = \frac{\Phi_n - \mathcal{L}}{\Phi_n \cdot T_{\min}} \cdot 100\%$$

де: H_a - норма амортизаційних відрахувань.

Φ_n - початкова вартість;

Л - розрахункова ліквідаційна вартість основних засобів, при прямолінейном методі амортизації можна прийняти рівною нулю;

T_{\min} - термін корисного використання основних фондів.

Розрахуємо амортизаційні відрахування для капітальних витрат варіанту 1.

$$C_a^I = \frac{\Phi_n^I \cdot H_a}{100} = \frac{324706 \cdot 8,0}{100} = 26576 \text{ грн.}$$

$$H_a^I = \frac{\Phi_n^I - Л}{\Phi_n^I \cdot T_{\min}} \cdot 100\% = \frac{324706 - 0}{324706 \cdot 12} \cdot 100\% = 8,0 \%$$

де: T_{\min} - строк корисного використання обладнання;

Аналогічно розрахуємо амортизаційні відрахування для капітальних витрат варіанту 2 і 3.

$$C_a^{II} = \frac{\Phi_n^{II} \cdot H_a}{100} = \frac{281157 \cdot 8,0}{100} = 22492 \text{ грн.}$$

$$C_a^{III} = \frac{\Phi_n^{III} \cdot H_a}{100} = \frac{126149 \cdot 8,0}{100} = 10092 \text{ грн.}$$

Річні витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт електротехнічного встаткування включає витрати на матеріали, запасні частини, обслуговування лічильників, ремонт розподільчих мереж і визначаються за фактичним даними або укрупнено у відсотках від капітальних витрат. Приймаємо в розмірі 0,01% від капітальних витрат, а саме:

$$C_T^I = 0,01 \cdot K_{об}^I = 0,01 \cdot 309930 = 3099 \text{ грн.}$$

$$C_T^{II} = 0,01 \cdot K_{об}^{II} = 0,01 \cdot 267940 = 2679 \text{ грн.}$$

$$C_T^{III} = 0,01 \cdot K_{об}^{III} = 0,01 \cdot 69530 = 695 \text{ грн.}$$

Відповідно до практики, інші витрати визначаються в розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу. У зв'язку з тим, що фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу $C_3=0$ ця складова експлуатаційних витрат також дорівнює нулю.

Об'єкт проектування для всіх трьох варіантів є повністю автономним і не споживає електроенергії з мережі. зв'язку з цим дана стаття амортизаційних відрахувань дорівнює нулю.

Річні експлуатаційні витрати по розглянутим варіантам становлять:

$$C^I = C_a^I + C_e^I + C_3^I + C_T^I + C_{in}^I = 26576 + 0 + 0 + 3099 + 0 = 29675 \text{ грн.}$$

$$C^{II} = C_a^{II} + C_e^{II} + C_3^{II} + C_T^{II} + C_{in}^{II} = 22492 + 0 + 0 + 2679 + 0 = 25171 \text{ грн.}$$

$$C^{III} = C_a^{III} + C_e^{III} + C_3^{III} + C_T^{III} + C_{in}^{III} = 10092 + 0 + 0 + 695 + 0 = 10787 \text{ грн.}$$

3.4 Визначення річної економії

Визначимо річну економію за рахунок зниження споживання електроенергії і реалізації надлишків виробленої електроенергії за «зеленим тарифом».

Для початку розрахуємо вартість електроенергії, яку споживає будинок протягом року.

$$E_{рік} = W_{СПрік} \cdot Ц_{Емер} = 3760 \cdot 1,68 = 6317 \text{ грн.}$$

де: $W_{СПрік}$ - кількість електроенергії, що споживається споживачами будинку за рік (згідно таблиці 2.5 $W_{СПрік}=3760$ кВт·год);

$Ц_{Емер}$ – вартість електричної енергії за тарифами міських електричних мереж ($Ц_{Емер}=1,68$ грн/кВт·год);

Знайдемо вартість надлишків електроенергії за кожним з розглянутих варіантів

$$E_{\text{НАД}}^I = (W_{\text{СЕС}}^I - W_{\text{СПРік}}) \cdot \text{Ц}_{\text{ЗТ}} = (8316 - 3760) \cdot 5,1 = 23235 \text{ грн.}$$

$$E_{\text{НАД}}^{\text{II}} = (W_{\text{ВЕС}}^{\text{II}} - W_{\text{СПРік}}) \cdot \text{Ц}_{\text{ЗТ}} = (5856 - 3760) \cdot 5,1 = 10690 \text{ грн.}$$

$$E_{\text{НАД}}^{\text{III}} = (W_{\text{В-С}}^{\text{III}} - W_{\text{СПРік}}) \cdot \text{Ц}_{\text{ЗТ}} = (8466 - 3760) \cdot 5,1 = 24000 \text{ грн.}$$

$W_{\text{СЕС}}^I$ – кількість електроенергії, що виробляє СЕС за варіантом 1 (згідно таблиці 2.5 $W_{\text{СЕС}}^I=8316$ кВт·год);

$W_{\text{ВЕС}}^{\text{II}}$ – кількість електроенергії, що виробляє ВЕС за варіантом 2 (згідно таблиці 2.5 $W_{\text{ВЕС}}^{\text{II}}=5856$ кВт·год);

$W_{\text{В-С}}^{\text{III}}$ – кількість електроенергії, що виробляє вітро-сонячна станція за варіантом 3 (згідно таблиці 2.5 $W_{\text{В-С}}^{\text{III}}=8466$ кВт·год);

$\text{Ц}_{\text{ЗТ}}$ – вартість електричної енергії за «зеленим тарифом» ($\text{Ц}_{\text{ЗТ}}=5,1$ грн/кВт·год);

Знайдемо повну річну економію:

$$E_{\text{повна}}^I = E_{\text{рік}} + E_{\text{НАД}}^I - C^I = 6317 + 23235 - 29675 = -123 \text{ грн.}$$

$$E_{\text{повна}}^{\text{II}} = E_{\text{рік}} + E_{\text{НАД}}^{\text{II}} - C^{\text{II}} = 6317 + 10690 - 25171 = -8164 \text{ грн.}$$

$$E_{\text{повна}}^{\text{III}} = E_{\text{рік}} + E_{\text{НАД}}^{\text{III}} - C^{\text{III}} = 6317 + 24000 - 10787 = 19530 \text{ грн.}$$

3.5 Визначення та аналіз показників економічної ефективності

Знайдемо розрахунковий коефіцієнт ефективності (доходу) капітальних витрат для варіанта 3:

$$E_p^{\text{III}} = \frac{E_{\text{повна}}^{\text{III}}}{K^{\text{III}}} = \frac{19530}{126149} = 0,15$$

Термін окупності капітальних витрат:

$$T_p^{III} = \frac{K^{III}}{E_{повна}^{III}} = \frac{126149}{19530} = 6,5 \text{ років}$$

Для остаточної оцінки порівнюються розрахункові значення E_p з нормативним E_n . Визначити нормативне значення коефіцієнта ефективності можна виходячи з прийнятною для зазначених заходів індивідуальної норми прибутковості:

$$E_n = \frac{1}{T_o} = \frac{1}{10} = 0,08$$

$$0,08 = E_p < E_n = 0,15$$

де: T_o - очікуваний прийнятний термін окупності капітальних вкладень,
 $T_o=12$ років

Результати розрахунку економічних показників для всіх трьох варіантів наведено в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 - Зведена таблиця техніко-економічних показників.

№ п/п	Найменування показників	Одиниці виміру	Проектний варіант
Варіант 1			
1	Капітальні витрати	грн.	324706
2	Експлуатаційні витрати	грн.	29675
3	Річна економія	грн.	29552
4	Повна річна економія	грн.	-
Варіант 2			
1	Капітальні витрати	грн.	281157
2	Експлуатаційні витрати	грн.	25171
3	Річна економія	грн.	17005
4	Повна річна економія	грн.	-

Варіант 3			
1	Капітальні витрати	грн.	126149
2	Експлуатаційні витрати	грн.	10787
3	Річна економія	грн.	30317
4	Повна річна економія	грн.	19530
5	Розрахунковий коефіцієнт ефективності	-	0,15
6	Розрахунковий термін окупності капітальних витрат	років	6,5

Висновки:

Як показали розрахунки реалізація проектів з електропостачання приватних будинків з використанням тільки одного виду ВДЕ є економічно недоцільним. Використання гібридних генеруючих станцій, що використовують енергію сонця і вітру може істотно знизити капітальні та експлуатаційні витрати. Що робить такі проекти економічно привабливими для умов приватних домогосподарств України.

Висновок

У дипломному проєкті розглянута можливість використання ВДЕ для електрифікації приватного будинку розташованого в Харківській області м. Красноград. Проведено аналіз та обрано найбільш перспективний шлях з використанням гібридної вітро-сонячної електрогенераторної установки.

Проведений аналіз показав, що використання для електрифікації приватного будинку тільки сонячні батареї є вкрай не раціональним. Це пов'язано перш за все з необхідністю розрахунку параметрів СЕС по зимовим місяцям, коли рівень сонячної інсоляції мінімальний, що говорить про не виправдано високий рівень матеріальних витрат на такий захід.

Аналогічні висновки можна зробити і аналізуючи варіант використання для електрифікації приватного будинку тільки вітрогенератора, який вимагає вести розрахунки для найбільш несприятливого часу – літа, коли інтенсивність вітру значно зменшується. Крім того використання тільки одного виду генератора вимагає значної кількості акумуляторних батарей.

Найбільш раціональним можна вважати варіант використання гібридної вітро-сонячної електрогенеруючої установки, коли в літню пору, при високому рівні інсоляції, основними генеруючими потужностями є сонячні батареї, а взимку, коли інтенсивність вітру висока основну частину генерації бере на себе вітрова станція.

Використання комбінованої електростанції дозволяє істотно знизити встановлені потужності за рахунок перекриття пікових генерацій. Крім того Використання гібридних генеруючих станцій, що використовують енергію сонця і вітру може істотно знизити капітальні та експлуатаційні витрати. Що робить такі проєкти економічно привабливими для умов приватних домогосподарств України.

Перелік посилань

1. Сайт компанії «Baker Tilly» (Електр. ресурс) / Спосіб доступу: URL: <http://www.bakertilly.ua/ru/news/id1122>
2. Сайт Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП) (Електр. ресурс) / Спосіб доступу: URL:<http://www.nerc.gov.ua/index.php?id=11889>
3. Сайт «ЕкоТехника» (Електр. ресурс) / Спосіб доступу: URL:<https://ecotechnica.com.ua/energy/solntse/4364-v-ukraine-rabotaet-uzhe-15-tys-domashnikh-ses-moshchnostyu-350-mvt-investirovav-300-mln-evro-v-solnechnye-paneli.html>
4. Сайт інвестиційної компанії «Trident Energy» (Електр. ресурс) / Спосіб доступу: URL:<https://tridentenergy.ua/ru/wind-power-present-and-future/>
5. Правила пользования электрической энергией. // НКРЭ. – 2002. – 64с
6. Методическое пособие для дипломного проектирования «Расчет системы автономного энергоснабжения с использованием фотоэлектрических преобразователей» для студентов специальностей 6.090504 «Нетрадиционные источники энергии», 6.050701 «Электротехника и электротехнологии», составители: Бекиров Э. А., Воскресенская С. Н., Химич А. П. – Симферополь: НАПКС, 2010 г
7. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учебное пособие1 Б.В. Лукутин, И.О. Муравлев, И.А. Плотников - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. - 128 с.
8. Правила устройства электроустановок. – Минэнерго СССР. – М: Энергоатомиздат. – 1985.
9. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту для студентів з напрямку підготовки 0906 «Електротехніка» / Укладачі: І.В.Шереметьєва, Л.В.Тимошенко. – Дніпропетровськ: НГА України, 2001. – 32 с.
10. Стандарт вищого навчального закладу. Кваліфікаційні роботи випускників. Загальні вимоги до дипломних проектів і дипломних робіт /

Упорядн.: В.О. Салов, О.М. Кузьменко, В.І. Прокопенко. – Дніпропетровськ.:
Національна гірничча академія України, 2002. – 52 с.

11. Сайт компанії «Solar.biz.ua» (Електр. ресурс) / Спосіб доступу:
URL:<https://solar.biz.ua>

12. Смирнов А.Д., Антипов К.М. Справочная книжка энергетика. – М.:
Энергоатомиздат, 1987. – 568с.

Додаток 1

Відомості матеріалів дипломного проекту

[illegible]