

**ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»**  
**Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій**  
**Кафедра електричної інженерії**

**«До захисту допущено»**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис) О. КОЛЛАРОВ  
(ініціали, прізвище)  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2022 р.

**Кваліфікаційна робота**  
**магістра**

на тему Розробка гібридної автономної енергосистеми котеджу

Виконав студент 2 курсу, групи ЕЛКМ-21  
(шифр групи)

спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та  
підготовки \_\_\_\_\_  
(шифр і назва спеціальності підготовки)

електромеханіка»

Олександр ШВЕДЧЕНКО

(ім'я та прізвище)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник к. т. н., Н. САВЧЕНКО

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище)

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Нормоконтроль:

Д. ОСТРЕНКО

(підпис)

Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

\_\_\_\_\_  
(дата)

\_\_\_\_\_  
(дата)

ЛУЦЬК – 2022

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

**Кафедра електричної інженерії**

Освітній ступінь: магістр

Спеціальність: електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ (О. КОЛЛАРОВ)

«        » \_\_\_\_\_ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Олександр ШВЕДЧЕНКУ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Розробка гібридної автономної енергосистеми котеджу

керівник роботи \_\_\_\_\_ Наталя САВЧЕНКО, канд. техн. наук

(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом роботи 5 грудня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи: Перелік електрообладнання котеджу

метеодані, місце географічного розташування – м. Одеса

Типові графіки споживання теплової енергії

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Технології децентралізованих систем електропостачання.

2. Аналіз енергетичних потреб для забезпечення споживання котеджу.

3. Енергетичний баланс комплексної системи електропостачання котеджу

4. Обґрунтування вибору обладнання для забезпечення теплових потреб.

5. Розробка заходів з охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, якщо передбачається)

Вісім слайдів презентаційного матеріалу.

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ        | Ініціали, прізвище та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|---------------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|               |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
| Розділи 1 – 4 | Н. САВЧЕНКО, доц. каф.                    |                |                  |
| Розділ 5      |                                           |                |                  |
|               |                                           |                |                  |
|               |                                           |                |                  |
| Нормоконтроль | Д. ОСТРЕНКО, асист. каф.                  |                |                  |

7. Дата видачі завдання 03 жовтня 2022 року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

| № з/п | Назва етапів дипломної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|-------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1.    | Розділ 1                      | 03.10.22 – 10.10.22           |          |
| 2.    | Розділ 2                      | 11.10.22 – 24.10.22           |          |
| 3.    | Розділ 3                      | 25.10.22 – 10.11.22           |          |
| 4.    | Розділ 4                      | 11.11.22 – 24.11.22           |          |
| 5.    | Розділ 5                      | 25.11.22 – 02.12.22           |          |
| 6.    |                               |                               |          |
| 7.    |                               |                               |          |
| 8.    |                               |                               |          |
| 9.    |                               |                               |          |

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Олександр ШВЕДЧЕНКО  
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Наталя САВЧЕНКО  
(ім'я та прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Шведченко О.С. Розробка гібридної автономної енергосистеми котеджу / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2022.

Кваліфікаційна магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів основної частини, висновків, списку використаних джерел та додатку.

Перший розділ присвячено теоретичному дослідженню технологій, що використовуються задля реалізації розосередженого електропостачання споживачів. Проаналізована ресурсозабезпеченість України відновлювальними енергоресурсами. Приведені концепції побудови енергоефективних будинків. Розглянуті критерії ефективності та оптимальності складу гібридних комплексних систем.

У другому розділі проаналізовані потреби електричні та теплові для забезпечення комфортних умов проживання. За результатами аналізу обрана оптимальна структура гібридної комплексної системи електропостачання котеджу.

У третьому розділі проведено вибір складових гібридної комплексної системи з визначенням частки участі у забезпеченні потреб енергоспоживання споживачів котеджу. Проаналізовано вплив окремих джерел енергії на енергетичний баланс системи електропостачання котеджу.

У четвертому розділі обґрунтовано вибір обладнання для забезпечення теплових потреб, розрахована потужність теплового насосу.

Питання охорони праці наведені у додатку А.

Ключові слова: гібридна комплектна система електропостачання, фотоелектрична станція, вітроустановка, тепловий насос, акумуляторна батарея.

## ANNOTATION

Shvedchenko Oleksandr Sergiyovich. Development of a hybrid autonomous power system for a cottage / Graduation qualifying work for obtaining an educational degree "Master" in specialty 141 "Electricity, electrical engineering and electromechanics". – DonNTU, Lutsk, 2022.

The qualifying master's thesis consists of an introduction, four sections of the main part, conclusions, a list of used sources and an appendix.

The first chapter is devoted to the theoretical research of technologies used to implement distributed electricity supply to consumers. The resource availability of renewable energy resources of Ukraine is analyzed. Concepts of building energy-efficient houses are given. The considered criteria of efficiency and optimality of the composition of hybrid complex systems.

In the second section, the electrical and thermal needs to ensure comfortable living conditions are analyzed. Based on the results of the analysis, the optimal structure of the hybrid complex power supply system of the cottage was chosen.

In the third section, the components of the hybrid complex system are selected with the determination of the share of participation in ensuring the energy consumption needs of cottage consumers. The impact of individual energy sources on the energy balance of the cottage's power supply system is analyzed

In the fourth chapter, the choice of equipment for providing heat needs is substantiated, the power of the heat pump is calculated.

Issues of labor protection are listed in Appendix A.

Keywords: hybrid complete power supply system, photovoltaic plant, wind turbine, heat pump, storage battery.

## ЗМІСТ

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ                                                                      | 8  |
| ВСТУП                                                                                          | 9  |
| РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЇ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СИСТЕМ<br>ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ                             | 11 |
| 1.1 Поновлювальні енергоресурси України                                                        | 11 |
| 1.2 Організація розподіленої генерації енергії                                                 | 15 |
| 1.3 Основні концепції побудови енергоефективних «активних» будинків                            | 19 |
| 1.4 Комплексні гібридні системи електропостачання на основі ВДЕ                                | 22 |
| 1.5 Критерії ефективності та оптимальності комбінованих автономних<br>систем електропостачання | 24 |
| 1.6 Висновки за першим розділом                                                                | 29 |
| РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТРЕБ ДЛЯ<br>ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОЖИВАННЯ КОТЕДЖУ               | 30 |
| 2.1 Аналіз електричних потреб котеджу                                                          | 30 |
| 2.2 Аналіз теплових потреб котеджу                                                             | 32 |
| 2.3 Визначення оптимальної структури комплексної системи<br>електропостачання котеджу          | 36 |
| 2.4 Висновки за другим розділом                                                                | 37 |
| РОЗДІЛ 3. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ<br>ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КОТЕДЖУ                 | 38 |
| 3.1 Аналіз способів конструктивного монтажу ФЕС для котеджу                                    | 38 |
| 3.2 Вибір обладнання ФЕС та визначення їх технічних та кількісних<br>параметрів                | 43 |
| 3.3 Вибір конструкції та розрахунок вітроустановки                                             | 48 |
| 3.4 Вибір типу акумулюючих пристроїв                                                           | 51 |
| 3.5 Баланс енергосистеми котеджу                                                               | 52 |
| 3.6 Імітаційне моделювання системи ФЕС-Вітроустановка                                          | 54 |
| 3.7 Висновки за третім розділом                                                                | 56 |

|                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----|
| РОЗДІЛ 4. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ<br>ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ ПОТРЕБ КОТЕДЖУ | 57 |
| 4.1 Класифікація теплових насосів                                                     | 57 |
| 4.2 Вибір теплового насосу                                                            | 61 |
| 4.3 Висновки за четвертим розділом                                                    | 63 |
| ВИСНОВКИ                                                                              | 64 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ                                                        | 65 |
| ДОДАТОК А. ОХОРОНА ПРАЦІ                                                              | 67 |
| ДОДАТОК Б. ПОТЕНЦІАЛ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ<br>УКРАЇНИ                            | 79 |

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

КСЕ – комплексна система електропостачання

ВДЕ – відновлювані джерела енергії;

ТДЕ – традиційні джерела енергії;

ФЕС – фотоелектрична станція;

ВУ – вітроустановка;

ВЕС – вітроелектрична станція

ТН – тепловий насос;

ТСН – теплонасосна станція;

АСЕ – автономна сонячна електростанція;

ФМ – фотоелектричний модуль;

НЕ – накопичувач енергії;

АКБ – акумуляторна батарея;

СП – сонячна панель;

ЕЕС – електроенергетична система;

СЕ – система енергозабезпечення;

СЕП – система електропостачання;

ММ – математична модель.



## ВСТУП

Відновлювана енергія – це вид енергії з нетрадиційних джерел, які за фізичним поняттям своєї природи є невичерпними. Джерелами поновлюваної енергії є сонячна інсоляція, вітер, припливи і геотермальна теплота, які практично є невичерпними, бо вони відновлюються природним шляхом, при цьому кількісний показник отриманої енергії може забезпечити усі енергетичні потреби людства.

ВДЕ саме зараз є головним напрямком у питанні вирішення глобальних проблем світової енергетичної безпеки та сприяння збереження клімату.

На сьогоднішній кризовими є проблеми глобального потепління і швидкоплинного вичерпування усіх видів викопного палива, що підштовхує до пришвидшення розвитку та впровадження новітніх технологій альтернативної енергетики.

Відновлювальна енергетика все зараз набула багато прихильників по всьому світу, саме завдяки різноманітності технічної реалізації джерел енергії. Але є і стримуючі фактори, що впливають на розповсюдження використання ВДЕ, а саме здебільшого їх нестабільна природа генерації з залежністю від кліматичних умов, яка суперечить основним принципам надійного електропостачання. Саме тому використання ВДЕ додатково потребує застосування накопичувальних систем для зберігання великої кількості потужності, а також наявність високоманеврових електростанцій з генераційними потужностями, здатними збалансувати нестачу потужності в умовах непередбачуваності режимів роботи ВДЕ. Висока вартість на акумуляційні батареї, також не сприяє впровадженню ВДЕ. Та втім дослідження у цій сфері практично не припиняються і йде постійне вдосконалення рівня технологій ВДЕ.

Рішенням недоліків окремих типів ВДЕ є їх об'єднання у гібридні комплекси. Та при цьому важливим є саме правильно інтегрувати генераційні потужності гібридних ВДЕ у комплексну систему.

А впровадження технології сучасних енергоефективних будинків з гібридними комплексами електропостачання до 2050 року може поліпшити екологічні проблеми, що створює традиційна енергетика, а саме допоможе скоротити викиди вуглекислого газу на 2 млрд метричних тонн.

Також використання гібридних електростанцій для забезпечення електроенергією власних потреб будинку має позитивні тенденції з можливості споживача стати практично повністю енергетично незалежним і при цьому «Активний» будинок генерує таку кількість енергії, що дає можливість віддавати її надлишки в загальну мережу, або витратити, наприклад, на зарядку електромобілів, що робить таку систему прибутковою та енергоефективною.

## РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЇ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

### 1.1 Поновлювальні енергоресурси України

Основним з основних, що має стратегічне значення видів енергоресурсів, поки що додатково до традиційних можна назвати відновлювальні джерела енергії. Вже є доведеним, той факт, що відновлювальна енергетика це найближче майбутнє практично усієї енергетичної галузі[1].

Часткове використання людством енергетичних потоків з відновлювальних джерел не шкодить навколишньому середовищу та не порушує загального балансу енергії на планеті, а от подальше отримання електроенергії за рахунок традиційних джерел навпаки додає до вже достатньо усталеного енергобалансу планети додаткову значну за об'ємами кількість теплової енергії та щеї на придаток із хімічним забрудненням. Таким чином, саме це і є вагомою відмінністю між принципами організації генерації ВДЕ та ТДЕ, що схематично наведено на рис.1.1.

Як відомо, за усіма світовими класифікаціями, до ВДЕ належать саме такі джерела як вітрова енергія, енергія Сонця, біомаса, геотермальна енергія, гідроенергія та енергія морських хвиль та приливів. Усі ВДЕ мають низку переваг якщо порівнювати їх з традиційними, а саме:

- вони мають практично невичерпний запас енергії, що постійно поновлюється з природних першоджерел;
- є екологічно чистими, тобто не мають забруднюючого впливу на навколишнє середовище;
- можуть повністю замінити традиційну енергетику;
- не потрібна велика кількість обслуговуючого персоналу;
- місце розташування джерел енергії є максимально наближеним до споживача, що зменшує витрати на транспортуванні енергії.

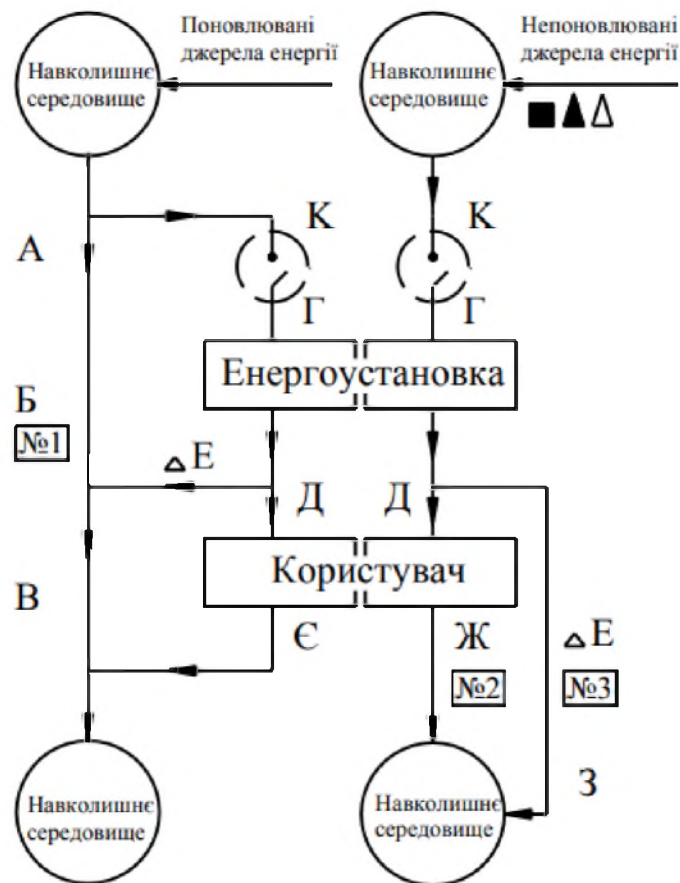


Рисунок 1.1 – Схеми порівняння процесів використання ВДЕ та ТДЕ

Якщо бути об'єктивними, то ВДЕ мають і ряд суттєвих недоліків, які просто гальмують їх розповсюдження, а саме [1, 2, 3]:

- дуже низька густина кількості енергії в одиниці об'єму;
- залежність енергетичного потенціалу від часу доби, сезону року та географії розташування;
- великі займані площі;
- наявність суттєвих економічних та інженерно-технічних проблем як у процесі створення енергоефективних технологій з генерації від ВДЕ так і реалізації у споживача.

Та всі вищеперераховані недоліки можуть бути з часом успішно вирішені. Все ж ВДЕ з такими привабливими рисами як їх стовідсоткова поновлюваність та повна екологічна безпечність перекривають усі недоліки і наштовхують на подальший технічний прогрес з удосконалення технологій.

Таким чином, можна констатувати, що потенціал відновлювальних джерел енергії ще не повністю розкритися та потребує подальшого впровадження, про що свідчать дані наведені у табл.1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз реалізації потенціалу ВДЕ

| Вид енергії                                          | Потенціал, % |                        |
|------------------------------------------------------|--------------|------------------------|
|                                                      | Технічний    | Практично реалізований |
| Сонячна                                              | 50           | 10                     |
| Гідравлічна                                          | 30           | 15                     |
| Вітрова                                              | 30           | 15                     |
| З органічних відходів                                | 25           | 10                     |
| За рахунок температурного градієнта Світового океану | 10           | 0 – 10                 |
| Геотермальна                                         | 4            | 2                      |

Як видно з табл. 1.1 саме сонячна енергія є найпотужнішим джерелом відновлювальної енергетики. Сонце випромінює на земну поверхню кількість енергії, що в сто тисяч разів більше ніж усі запаси ТДЕ Землі здатні згенерувати.

На рисунку 1.2. наведено схематичне розподілення енергії Сонця, яка доходить до земної поверхні.

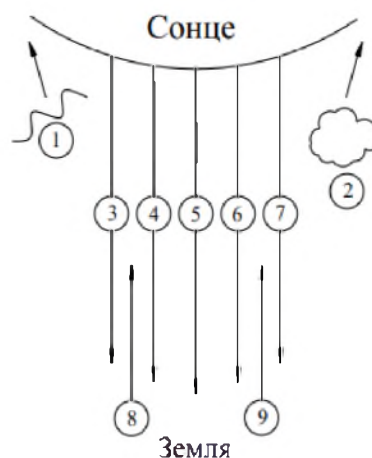


Рисунок 1.2 – Природне розподілення сонячного випромінювання

Згідно з рисунком 1.2 встановленим фактом є те, що променева енергія Сонця яка досягає атмосфери Землі, розподіляється наступним чином [1, 2]:

- 1 – відбивається атмосферою, її частка складає 7 %;
- 2 – відбивається хмарами, її частка складає 27 %;
- 3 – перетворюється та перетворюється в енергію вітру, складає 2,5 %;
- 4 – перетворюється в енергію морських течій, її частка складає 0,4 %;
- 5 – падає на всю поверхню океану, її частка складає 33 %;
- 6 – падає на всю поверхню суші, її частка складає 15 %;
- 7 – засвоюється рослинним світом, її частка складає 0,12 %;
- 8 – відбивається від поверхні Землі, її частка складає 7 %;
- 9 – зменшує частку теплового випромінювання Землі.

Таким чином, можна підсумувати, що практично вся відновлювальна енергія є похідною від енергії Сонця. Наведено розподіл ВДЕ на рисунку 1.3.

Відповідно до рис.1.3 наведемо повний річний енергетичний потенціал найбільш запроваджених нетрадиційних та відновлюваних джерел у Україні, дані зведено у таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Річний потенціал ВДЕ в Україні

| Джерело енергії                         | Річний потенціал |            |              |            |
|-----------------------------------------|------------------|------------|--------------|------------|
|                                         | Загальний        |            | Технічний    |            |
|                                         | Млрд кВт×год     | Млн т у.п. | Млрд кВт×год | Млн т у.п. |
| Сонячна енергія                         | 720000,0         | 88400,0    | 3460,0       | 720,0      |
| Викидний енерго-технологічний потенціал | 2806,3           | 421,2      | 1135,0       | 170,4      |
| Геотермальна енергія                    | 438,0            | 50,0       | 262,8        | 30,0       |
| Вітроенергія                            | 270,0            | 97,2       | 30,0         | 10,8       |
| Нетрадиційне паливо                     | 162,5            | 20,3       | 165,2        | 20,3       |
| Мала гідро-енергетика                   | 12,5             | 4,5        | 8,3          | 3,0        |
| Всього                                  | 723692,4         | 88993,2    | 5061,3       | 954,5      |

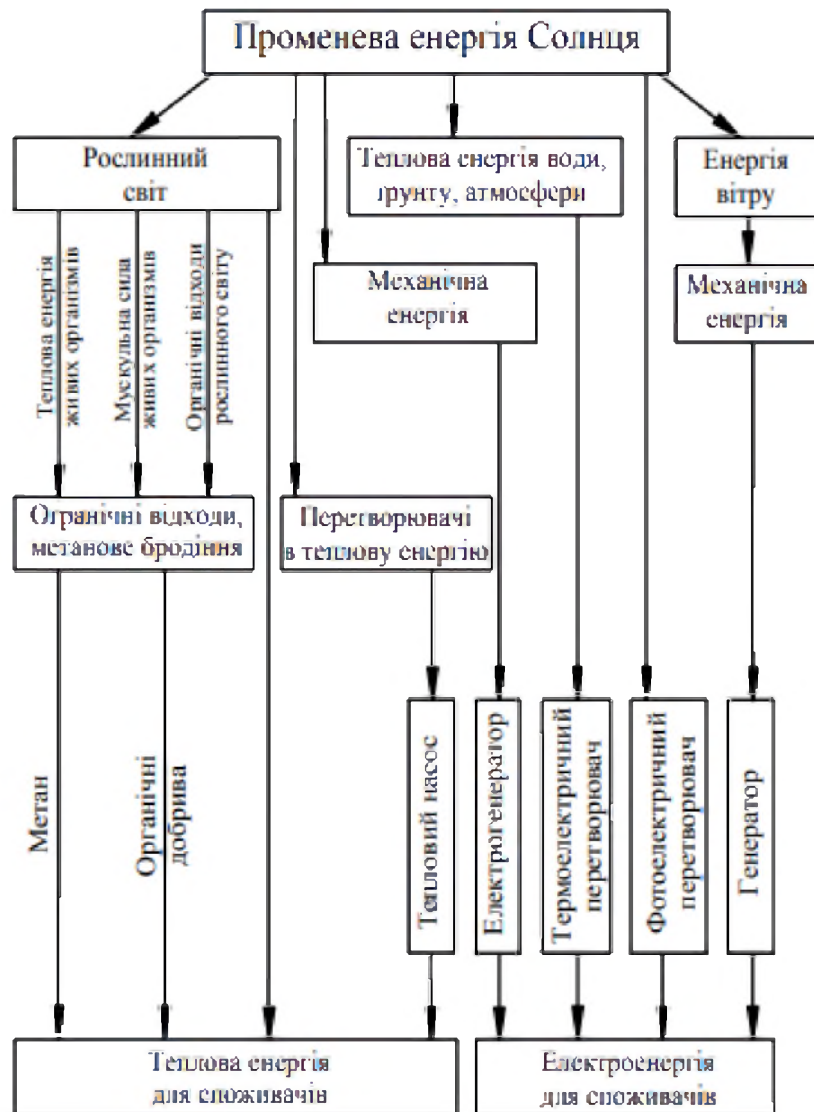


Рисунок 1.4 – Схема розподілу ВДЕ

Аналізуючи усе вищевикладене, можна зробити висновок, що Україна має досить високий потенціал усіх видів ВДЕ, а особливо слід звернути увагу на розвиток сонячної та вітроенергетики, що мають усі умови задля реалізації.

## 1.2 Організація розподіленої генерації енергії

Основними принципами розподіленої генерації енергії є незалежність від генерації електроенергетичної системи країни, при необхідності забезпечення повної автономії, розташування поблизу безпосереднього споживання без обмежень умов географії.

Щоб забезпечити надійне електропостачання у роззосереджених системах електропостачання вводиться принцип дублювання ВДЕ з чітким алгоритмом роботи. Такий тип електропостачання здебільшого використовують для домашніх господарств та неенергоємних підприємств за рахунок складання гібридних енергокомплексів.

Таким чином, такого типу енергокомплекси на базі ВДЕ можуть повністю забезпечити усі енергетичні потреби споживача як у електричній так у тепловій формі генерації.

Фактично комплексні системи ВДЕ це системи, які комбінують у своєму складі використання різних типів відновлюваних джерел з метою підвищення надійності усієї системи електропостачання споживача. Таким чином є можливість створити різноманітні комбінаційні схеми, але все ж таки найбільш популярними є наведені нижче:

- сонце-вітер – сама популярна гібридна система, у якої взимку недостача генерації енергії від сонячної електростанції буде компенсуватись за рахунок генерації від вітроустановки, тоді як влітку все навпаки, саме сонячна електростанція буде працювати постійно в піковому режимі;
- вітер-гідро – така система потребує особливих умов місцевості для реалізації, у неї надлишок згенерованої енергії від вітроелектростанції можливо використати для заряду гідроакumuлюючої частини гібридної системи, що хоч і має менший ККД з процесів зберігання енергії ніж у АБК, але такий тип накопичувача не створює відходів та має довший життєвий цикл;
- біомаса, водень, низька потенційна енергія – це додатковий тип ВДЕ, що може бути використаний у тандемі відповідно з будь-яким одним або декількома ВДЕ здебільшого задля покриття нестачі теплової енергії і частково електричної у системі, найбільш на сьогодні перспективним є метод електролітичного здобуття водню бо саме він має переваги з умов зберігання та може генерувати з мінімальними відходами та максимальною стабільністю електричну та теплову енергії.



При широкому запровадженні розосередженої енергетики слід враховувати завжди потребу споживача і у електричній і у тепловій енергії. Лише сонячна енергетика може задовільнити у повній мірі такі потреби одночасно, тобто енергія сонця може бути перетворена як у електроенергію за допомогою сонячних панелей, так і у теплову за рахунок сонячних колекторів, що є практично необхідним для побудови енергоефективних будинків. Цей вид енергії найбільш може бути застосований для південних областей країни, але з урахуванням сонячного потенціалу можна сказати, що використання його для генерації електроенергії теж доцільно для більшої частки України.

Якщо оцінювати впровадження вітроенергетики, то слід сказати, що вона може широко використовуватись лише в усіх приберегових територіях та на сході України, але стримуючим фактором є їх занадто велика вартість у порівнянні з сонячними панелями.

Комбінація сонячної та вітрової технологій генерації енергії є самим перспективним типом гібридних систем, що дозволяє споживачу мати надійний доступ до електроенергії у будь-який час доби, при умові додаткового доповнення системи акумулюючими накопичувачами енергії.

Використання гібридних систем робить можливим підвищення як ККД так і коефіцієнту надійності і вони є доцільними з екологічної та економічної точок зору. На жаль недоліком для таких систем є складність процесу координації роботи різних генеруючих пристроїв, що функціонують при різних за видом напругах та, інколи не збігаються у частоті.

З теоретичної точки зору у таких комплексних системах є можливість нарощення дублюючих систем ВДЕ з урахуванням усіх територіальних особливостей розташування до тріо – систем (три джерела), кватро – систем (чотири джерела), пента – систем (п'ять джерел), сикстет – систем (шість джерел), септ – систем (семи джерел), окта – систем (восьми джерел) ВДЕ. Зазначені типи сполучення комплексних гібридних систем ВДЕ може бути затребуване лише у деяких окремих випадках та при певних умовах, а саме наявності та можливості реалізації відповідних ВДЕ. Рентабельність таких

систем розглядається з урахуванням факторів, таких як точність у виборі типів і видів необхідного обладнання ВДЕ, а також точною оцінкою співвідношення заміщуваних кожним з обраних джерел енергії необхідних потужностей і, нарешті платоспроможність споживача. На рис. 1.5 приведено умовний варіант використання найбільшої гібридної окта-системи ВДЕ для реалізації проєкту «енергоефективного активного будинку».

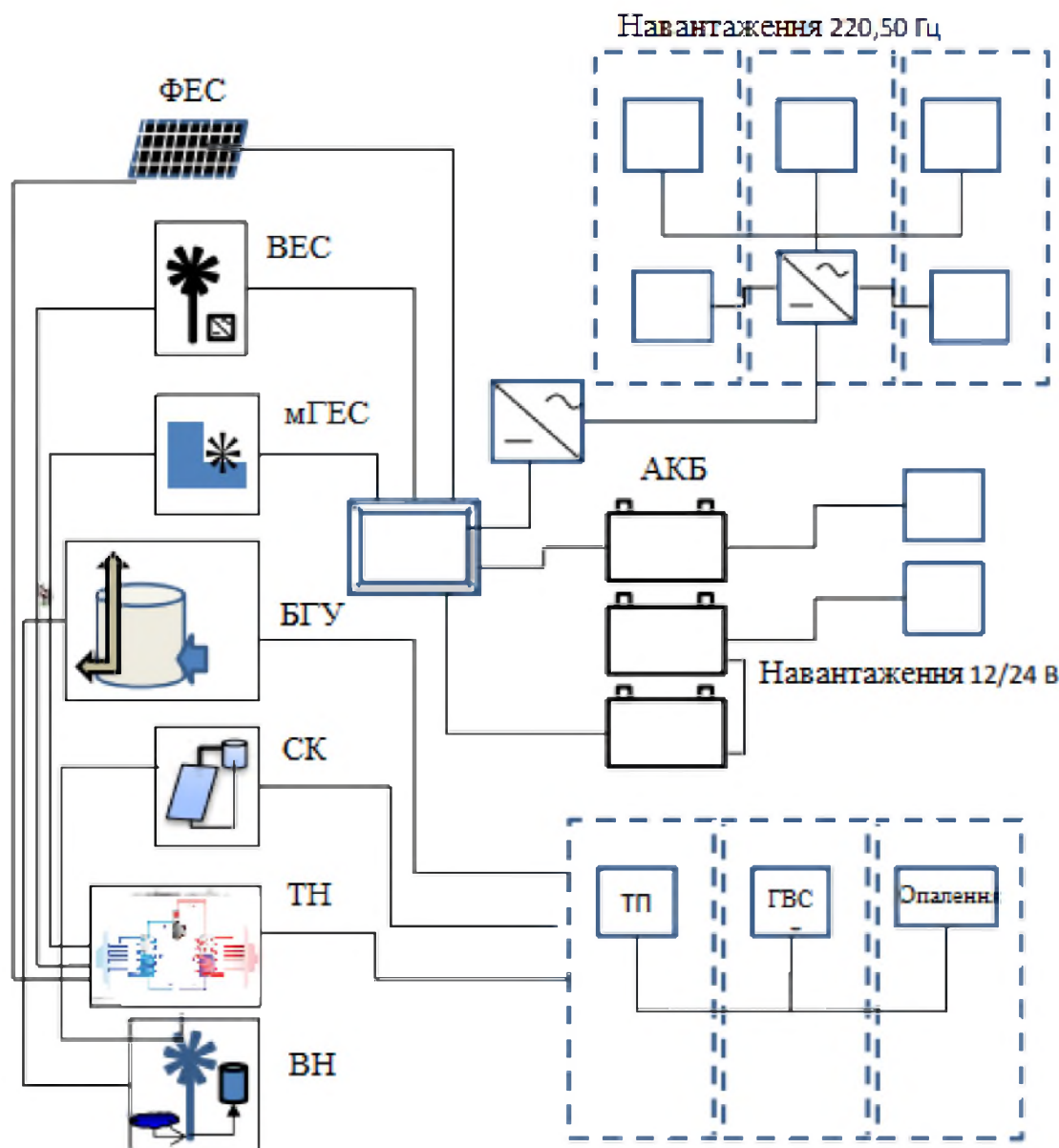


Рисунок 1.5 – Гібридна окта-системи ВДЕ для концепції «Активного» будинку

Комплексна окта-система ВДЕ наведена на рис.1.5 охоплює можливість застосування усіх можливих видів ВДЕ, але на практиці це реалізувати дуже складно технічно, а також фінансово це буде не вигідно для споживача, тай не раціонально, тому здебільшого наведена схема зводиться до тріо-системи, а комбінація джерел обирається індивідуально для кожного окремого випадку реалізації.

### **1.3 Основні концепції побудови енергоефективних «активних» будинків**

Основна ідея «Активного» будинку полягає у реалізації мети, що припускає вироблення більшої кількості енергії у порівнянні з її споживанням, тобто створення позитивного енергетичного балансу будівлі.

Як було наведено вище існує велика кількість альтернативних джерел енергії, але по-справжньому назвати ефективними можна лише деякі з них. З практики будівництва «Активних» або «Енергоефективних» будинків з позитивним енергобалансом можна виділити ВДЕ, які найбільше знайшли застосування, а саме сонячні батареї та колектори, мініатюрні вітроустановки, геотермальні свердловини та теплові насоси.

Джерела сонячної та вітроенергетики мають сильну залежність від клімату та сезонності року і тому це обмежує їх використання у окремих районах країни. Але сучасні технології значно підвищили ККД сучасних фотоелектричних панелей до рівня, щоб забезпечувати будівлю повністю електрикою та теплом навіть при умові малої кількості ясних днів.

Застосування геотермальних свердловин можливе лише у випадку, якщо допустимо глибинне буріння на місцевості у ґрунті. Такий вид ВДЕ застосований може бути тільки при умові нового будівництва, свердловини закладають одночасно з фундаментом і з цієї причини перепланування геотермальних ДЕ просто неможливо.

Теплові насоси – це новітній тип ВДЕ принцип дії, якого безпосередньо заснований на другому законі термодинаміки, за рахунок чого вони практично «викачують» тепло прямо з носіїв, у якості яких є земля, повітря та вода у водоймищах та річках, причому навіть при низьких температурах. Незважаючи на наявну простоту принципу, цей вид ВДЕ поки що носить експериментальний характер, але вже зарекомендував себе доволі непогано.

Також при реалізації проєктів «Активного» будинку необхідно враховувати правильне розташування будівлі, так щоб вона отримувала найбільшу кількість сонячних променів, і застосовувати енергозберігаючі матеріали та технології при будівництві.

Генерація електричної енергії ВДЕ має нестабільні стохастичні характеристики потужності в часі, а графік її зміни не завжди збігатися з графіком навантаження споживача. Рішенням проблеми є встановлення в гібридну комплексну систему або акумуляторних батарей або генератора на традиційному паливі, або два ці використати обидва технічних рішення. АКБ виконують функцію перенесення потужності у потрібний час за рахунок процесів заряд-зберігання-розряд. Об'єм АКБ визначають таким чином, щоб будинок був забезпечений електрикою без підзарядки, при роботі у економічному режимі не менш ніж три доби. Існує безліч видів акумуляторів і для кожної гібридної системи їх вибір визначається окремо. Застосування АКБ потребує створення особливих умов умови, вони повинні бути розміщені у спеціальному приміщенні з підтримкою температурного режиму. Також необхідно постійно контролювати глибину розряду АКБ, для управління цим процесом обирається контролер заряду. Він несе функцію контролю процесів розряду та заряду АКБ від ВДЕ, а також за величину напруги, що вводиться на клеми акумуляторів. Гібридна комплексна система електропостачання енергоефективного будинку повинна складатися, не менше ніж з трьох незалежних ВДЕ. На рис. 1.6 наведено умовний склад ВДЕ для системи електропостачання «Активного» будинку.

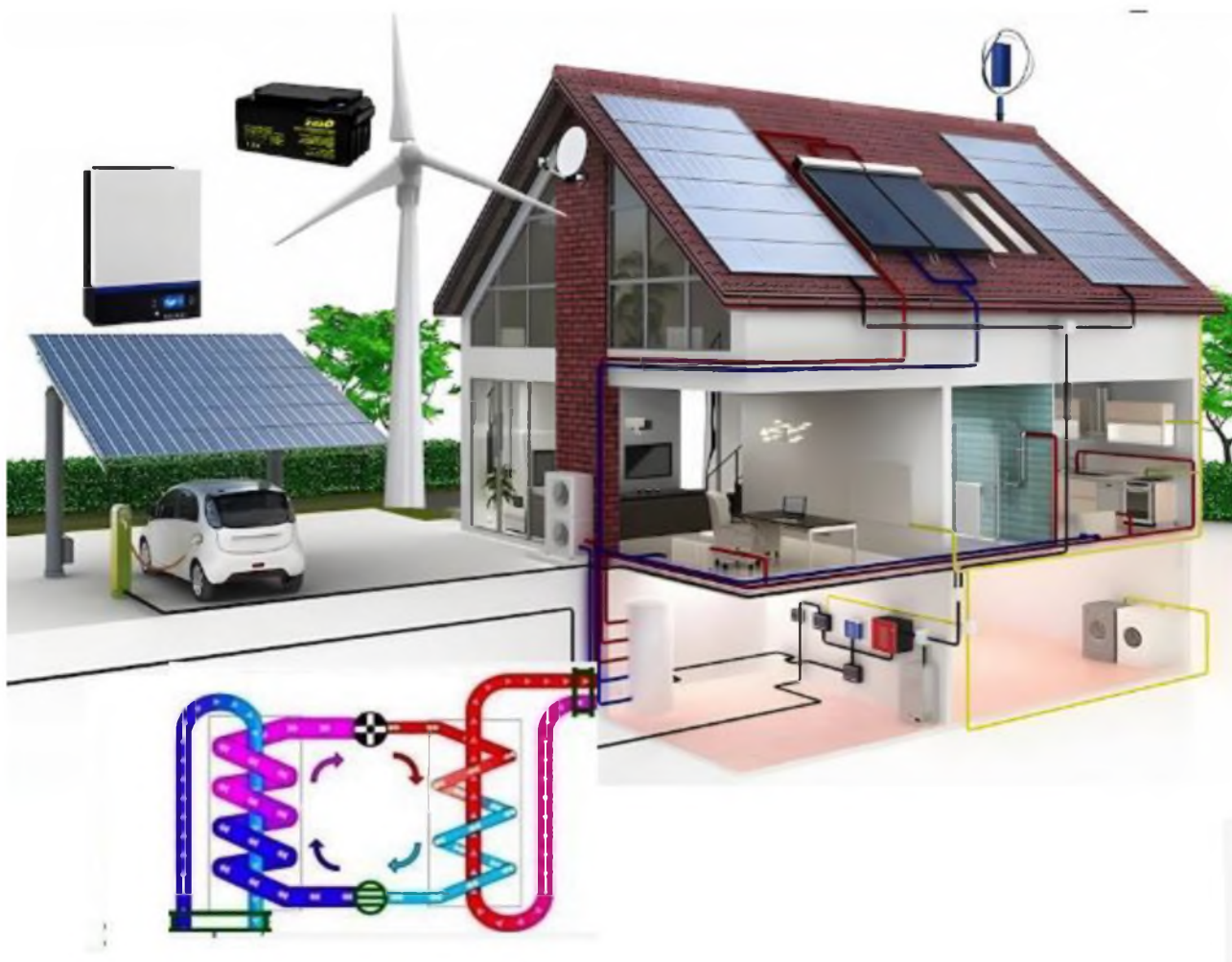


Рисунок 1.6 – Структура “Активного ” будинку

Технологічний розвиток сучасної техніки і інновацій крокує семимильними шагами. Все більше на технічному ринку з'являється нових розробок і технологій відносно концепцій побудови активних будинків. В майбутньому стане можливим планування будівництва маленьких міст, що не будуть зовсім залежати від ЕЕС. Вже навіть є назва для них – стабільне місто. Така тенденція дозволить економно розпоряджатися енергією, і при цьому діяльність такого роду будинків є абсолютно нешкідливою для оточуючого навколишнього середовища, що є частковим рішенням сучасної екологічної кризи.

## 1.4 Комплексні гібридні системи електропостачання на основі ВДЕ

Споживач завжди має надію на гарантоване електропостачання за будь-яких умов. Визначення рівня комфорту практично пропорційне рівень забезпеченості енергією коли споживач не турбується за величину навантаження, що підключається, і при цьому відповідно має необмежені можливості з нарощування кількісного показника електрообладнання. Тому при організації гібридних систем електропостачання на основі ВДЕ важливо мати декілька джерел енергії різної природи для резервування генерації енергії.

Резервування та відповідно підвищення надійності систем енергопостачання споживача можуть вирішити комплексні системи ВДЕ. І як було зазначено раніше, що до вибору складу такої системи необхідно підходити розумно враховуючи дорожнечу майже всіх видів ВДЕ (крім ГЕС), та й не завжди є можливість повного покриття потенційних потреб споживача. У зв'язку з цим можна навести приблизні варіанти комплексних гібридних систем ВДЕ, які можуть бути застосовані, а саме по відсотковій частці заміни потужності споживача, їх умовно можна поділити на наступні п'ять основних типів:

1. Мікро- комплексна система ВДЕ (Естет).
2. Міні-комплексна система ВДЕ (Аварійний).
3. Мала комплексна система ВДЕ.
4. Середня комплексна система ВДЕ.
5. Повна комплексна система ВДЕ.

Кожна з наведених п'яти комплексних гібридних систем повинна надійно забезпечувати необхідний, розрахунковий рівень потужності, тобто частку енергетичних потреб від повної потреби споживання. Класифікація таких систем електропостачання наведена у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Класифікація гібридних систем ВДЕ за величиною потужності, що заміщується

| Тип КС ВДЕ за потужністю  | Частка потужності, що заміщується (%) |
|---------------------------|---------------------------------------|
| Повна КС ВДЕ F (Full)     | 100                                   |
| Середня КС ВДЕ M (Middle) | 25-50 %                               |
| Мала КС ВДЕ S (Small)     | 15-25 %                               |
| Міні-КС ВДЕ (Аварійна) A  | 5-15 %                                |
| МікроКС ВДЕ (Естет) E     | до 5 %                                |

Умовою щодо ефективності при побудові системи електропостачання будинку на основі підходу комплексності систем ВДЕ, стає оптимізація саме внутрішньої структури. Наведемо можливі поєднання ВДЕ у складі комплексної гібридної системи електропостачання у табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Варіативність комплексних систем ВДЕ

| Тип КС ВДЕ за складом обладнання | Склад енергетичного обладнання КС ВДЕ (за видами) (варіант 1) | Склад енергетичного обладнання КС ВДЕ (за видами) (варіант 2) |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Дуплекс:<br>d-КС ВДЕ             | ДГ+ВЕУ                                                        | ВЕУ+мГЕС                                                      |
| Трію:<br>h-КС ВДЕ                | ДГ+ВЕУ+ФЕП                                                    | ВЕУ+мГЕС+ ФЕП                                                 |
| Кватро:<br>k-КС ВДЕ              | ДГ+ВЕУ+ФЕП+ТН                                                 | ВЕУ+ мГЕС+ФЕП+ТН                                              |
| Пента:<br>p-КС ВДЕ               | ДГ+ВЕУ+ФЕП+ТН+мГЕС                                            | ВЕУ+мГЕС+ФЕП+ТН+СК                                            |
| Сикстет:<br>s-КС ВДЕ             | ДГ+ВЕУ+ФЕП+ТН+<br>+мГЕС +БГУ                                  | ВЕУ+мГЕС+ФЕП+ТН+СК+<br>+БГУ                                   |
| Септ:<br>sp-КС ВДЕ               | ДГ+ВЕУ+ФЕП+СК+ТН+<br>+мГЕС +БГУ                               | ВЕУ+мГЕС+ВН+ФЕП+ТН+<br>+СК+БГУ                                |

### 1.5 Критерії ефективності та оптимальності комбінованих автономних систем електропостачання

При використанні комплексного підходу побудови гібридної системи з ВДЕ обирається конкретний склад обладнання, а також співвідношення часток потужності за наведеними нижче трьома факторами:

- 1) наявністю енергетичного потенціалу ВДЕ у місці територіального розташування гібридної системи ;
- 2) основними питомими техніко-економічними чинниками , що характеризують режими роботи ВДЕ;
- 3) кошторисом обладнання у складі комплексної системи ВДЕ.

Ефективність системи можна проаналізувати на основі математичної моделі комплексної гібридної системи електропостачання, яка у загальному вигляді може бути представлена рівнянням:

$$G_{кл} = f[vR_1; vR_2; CC_i; U_j],$$

де  $G_{кл}$  – головний показник повної ефективності комплексної системи з ВДЕ;

$v$  – сукупність зовнішніх факторів впливу на роботу ВДЕ;

$R_1: E, A, S, M, F$  – тип комплексної системи ВДЕ за класифікацією в залежності від частки заміщення потужності;

$R_2: d, h, k, p, s, sp$  – тип комплексної системи в залежності від кількості видів ВДЕ у системі

$CC_i$  – собівартість генерації 1 кВт · год електроенергії, отриманої різними видами ВДЕ;

$U_j$  – вартість одного кВт встановленої величини потужності, отриманої від різних видів ВДЕ.



Згідно наведеної вище формули математичної моделі, якщо проводити математичний аналіз комплексної системи ВДЕ, то послідовність дослідження може бути представлена у вигляді структурної схеми на рис. 1.7.

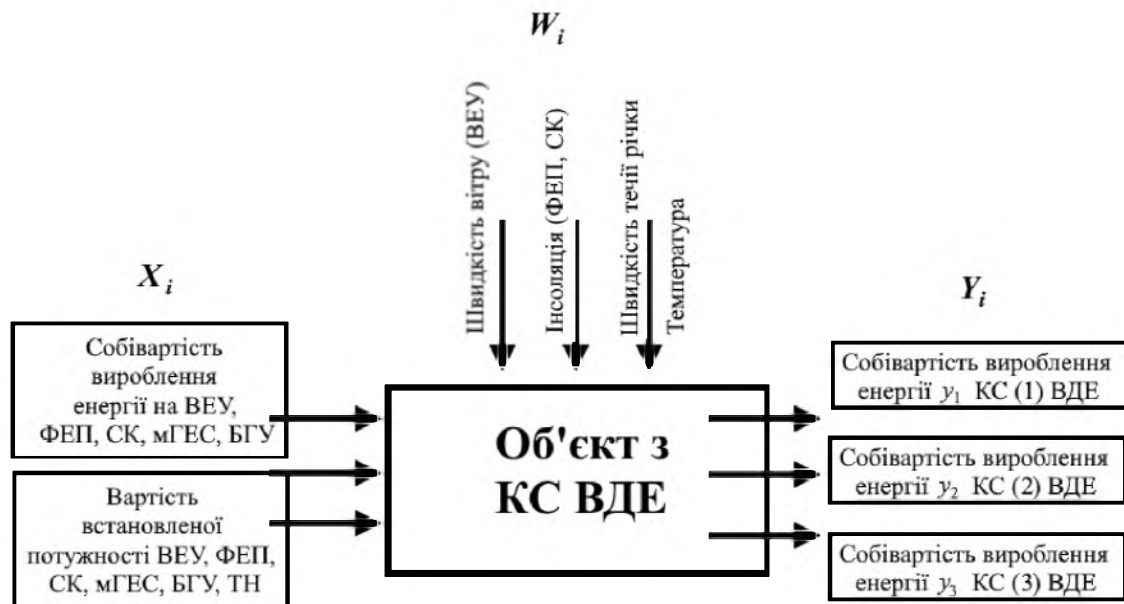


Рисунок 1.7 – Структура алгоритму математичного аналізу багатofакторної математичної моделі комплексної системи ВДЕ

Представлення житлового об'єкта як показано на рис.1.7 ґрунтується на основах принципу «чорної скриньки», яка у своєму складі має наступні групи параметрів:

- 1)  $X_i$  - керуючі або вхідні параметри так звані фактори;
- 2)  $Y_i$  – вихідні або результуючі параметри, так звані параметри визначеного стану;
- 3)  $W_i$  – оббурюючи факторні чинники впливу.

Аналіз моделі дозволяє встановити наступні аксіоми:

1. При підвищенні рангу системи ВДЕ, тобто їх кількості у складі системи, має місце значне зростання повної її вартості. Тому саме є необхідність у математичній оптимізації складу обраного типу комплексної системи ВДЕ.

2. Впливи факторів  $W_i$ , що викликають обурення системи, практично не підлягають контролю і за своєю природою є випадковими, або відповідно змінюються в часі.

3. Кожен фактор  $X_i$  має межі визначення.

Комбінація наведених факторів може бути представлена як точка у невизначеному багатовимірному просторі, що дає характеристику стану системи з обраною кількістю ВДЕ.

Згідно рис.1.7 метою багатофакторного аналізу є практично встановлення залежності між вхідними та вихідними параметрами, що описує поведінку досліджуваного об'єкта:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k).$$

Найчастіше ця функція представляється у вигляді полінома:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2,$$

або

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_{11}x_1^2 + a_{22}x_2^2 + a_{12}x_1x_2.$$

Фактично визначення оптимальних умов для кожного дослідного об'єкту це головний результат вирішення поставленої задачі. При багатофакторному дослідженні первинно потрібно знайти відповідні значення факторів  $x_i$ , що викликають відгук системи  $y_i$ , при якому отримане значення функції дорівнює значенню  $y_{max}$  або  $y_{min}$ . Згідно чого отримуємо цільову функцію відгуку і у цьому випадку задача оптимізації зводиться до знаходження вхідних параметрів  $x_{1opt}$ ,  $x_{2opt}, \dots, x_{kopt}$ , що дозволять визначити екстремум функції:

$$y = y(x_1, x_2, \dots, x_k)$$

Але при цьому необхідно накласти додаткові обмеження на значення факторів:

$$y = y(x_{1\text{огп}}, x_{2\text{огп}}, \dots, x_{k\text{огп}}) = y_{\text{мін}}(y_{\text{мак}}).$$

Тоді маємо, що задачею оптимізації при введених обмеженнях є знаходження екстремуму функції відгуку, але при цьому сама функція є невідомою.

$$y = y(x_1, x_2, \dots, x_k) \{ \Leftarrow \Rightarrow \} R_r, \text{ де } r = 1 \dots J.$$

Вирішення поставленої задачі оптимізації можливо декількома способами:

1. Проведення повного факторного аналізу моделі, за результатами якого є нелінійна функція відгуку, а вже на ній знаходиться екстремум. Таке моделювання досить складний процес і потребує відповідно великої кількості дослідів з повним факторним аналізом для знаходження екстремуму функції у широкому діапазоні варіювання.

2. Спосіб «покрокового» підходу є більш прийнятним до вирішення задачі знаходження екстремуму функції.

Покроковий рух з використанням обох методів дозволяє знайти та окреслити межі стаціонарної області, що знаходиться близько до точки оптимуму. Стаціонарна область має опис у вигляді нелінійної математичної моделі.

Наведений метод з використанням принципу багатофакторної моделі дає можливість визначити з великою вірогідністю оптимальну конфігурацію комплексної системи з ВДЕ як за кількісним складом так і встановленою потужністю кожного виду ВДЕ.

Оптимізація складу ВДЕ у системі проводиться з метою зниження вартості на початковому етапі проектування системи. Ця задача вирішується через дисперсію витрат на генерацію енергії за одиницю часу:

$$D(Y/a) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sigma_{ij} x_i x_j \Rightarrow \min,$$

де  $x_i$  – визначені завчасно частки встановленої потужності для кожного із видів ВДЕ, що входять до складу комплексної системи;

$\sigma_{ij}$  - вибіркова коваріація, яку розраховують за відомими вибірками, тобто для  $Y_i, Y_j$ , при наступних прийнятих обмеженнях:

$$x_0 + x_1 + x_2 + \dots + x_n = 1;$$

$$x_0 r_0 + x_1 m_1 + \dots + x_n m_n = A;$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 0, 1, \dots, n.$$

Таким чином, фізичний зміст наведеної функції зводиться до мінімізації дисперсії вартості електричної енергії за одиницю часу, яку виробляє комплексна система ВДЕ.

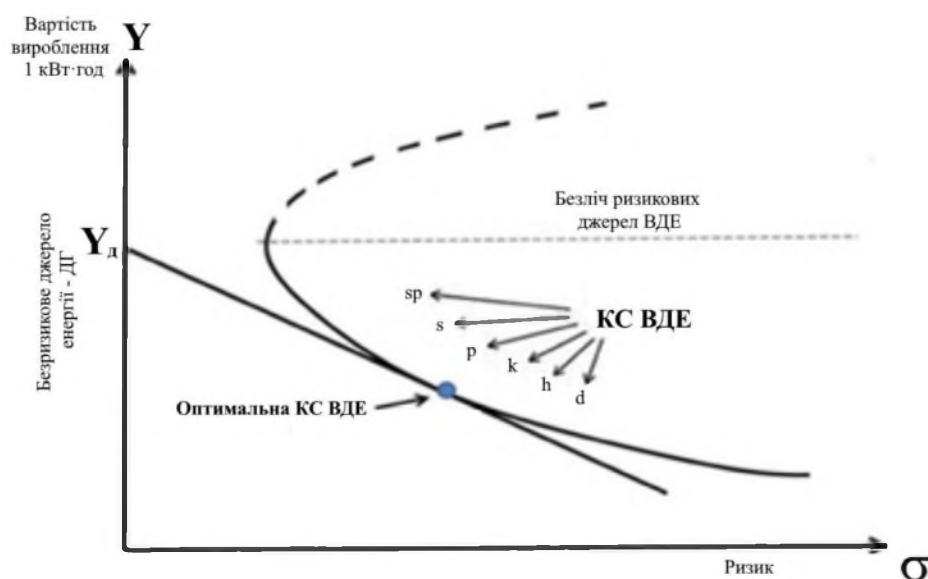


Рисунок 1.8 – Пошук оптимального кластера ВДЕ

Таким чином, можна констатувати, що головним завданням у процесі вибору складу ВДЕ у комплексній системі у кожному конкретному випадку є оптимальне поєднання параметрів потужності та її перерозподіл між видами ВДЕ при мінімальній вартості генерації одиниці енергії.

## **1.6 Висновки за першим розділом**

Результатом виконання першого розділу є наступні положення:

- Україна має досить високий потенціал усіх видів ВДЕ, а найбільший має сонячна та вітроенергетика;
- комбінація сонячної та вітрової технологій генерації енергії є самим перспективним типом комплексних гібридних систем з ВДЕ, та ще й надійною при умові додаткового доповнення системи акумулюючими накопичувачами енергії;
- основна ідея «Активного» будинку полягає у реалізації мети створення позитивного енергетичного балансу будівлі;
- з практики будівництва «Активних» або «Енергоефективних» можна виділити ВДЕ, які найбільше знайшли застосування, а саме сонячні батареї та колектори, мініатюрні вітроустановки, геотермальні свердловини та теплові насоси.
- умовою щодо ефективності при побудові системи електропостачання будинку на основі підходу комплексності систем ВДЕ, стає оптимізація саме внутрішньої структури;
- головним завданням процесі вибору складу ВДЕ у комплексній системі у кожному конкретному випадку є оптимальне поєднання параметрів потужності та її перерозподіл між видами ВДЕ при мінімальній вартості генерації одиниці енергії.

## РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТРЕБ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОЖИВАННЯ КОТЕДЖУ

### 2.1 Аналіз електричних потреб котеджу

Згідно завданого графіка навантаження котеджу, подальший розрахунок для побудови комплексної гібридної системи електропостачання будемо проводити з урахуванням фактичних даних споживання. На рис. 2.1 наведена діаграма даних середнього місячного споживання електричної енергії, яка розрахована відповідно на основі даних потужності електрообладнання котеджу та його часу експлуатації.

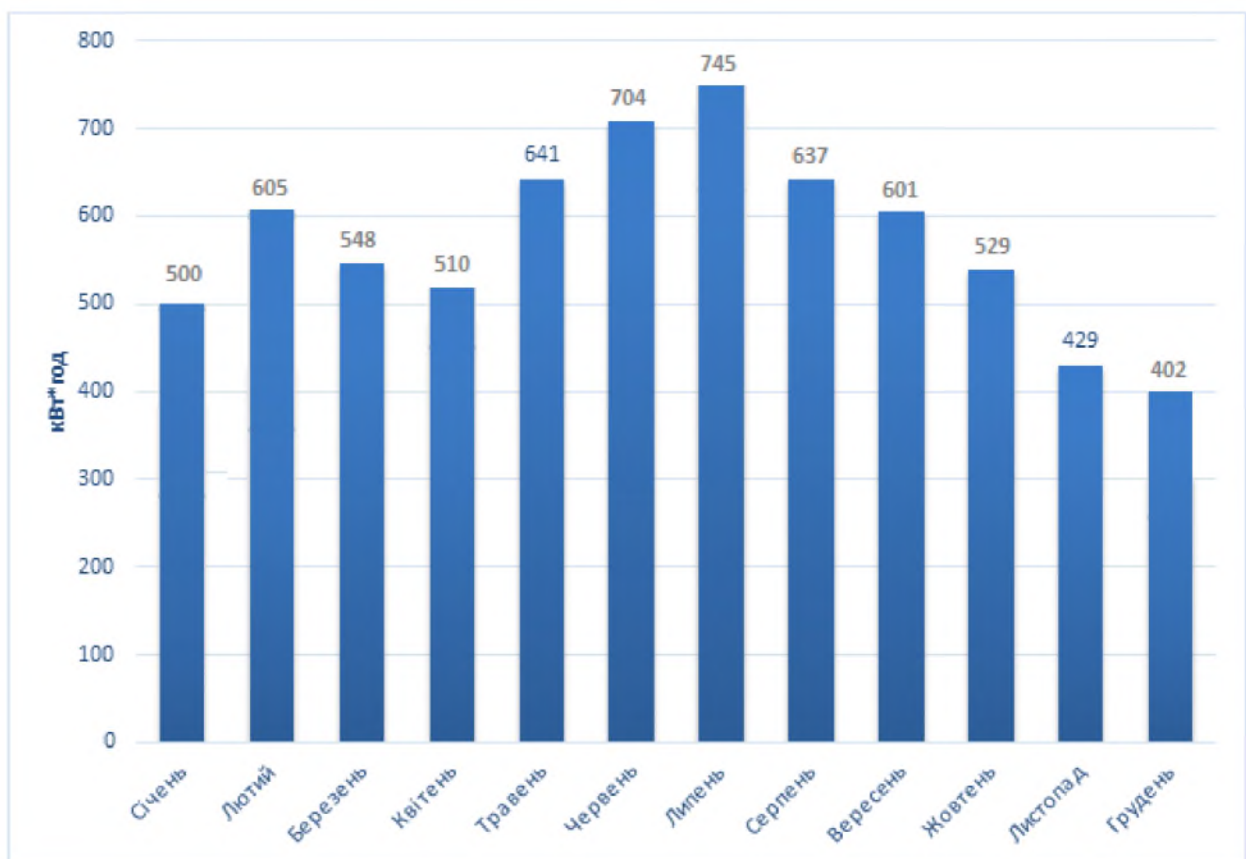


Рисунок 2.1 – Графік споживання електроенергії котеджом

Для подальшого розрахунку та вибору складових комплексної гібридної системи ВДЕ сонячної електростанції та вибору оптимальної кількості сонячних

фотоелементів необхідно скласти перелік електроприладів, які застосовуються в котеджі.

Розрахунок потужності та споживання електричної енергії виконується у табличній формі для кожного електроприладу за наступним алгоритмом:

1.активна сумарна потужність кожного типу приладів визначається за формулою:

$$\sum P_n = N \cdot P_c,$$

де  $N$  – кількість приладів одного типу;

$P_c$  – потужність одного пристрою, кВт.

2.кількість електроенергії, яка необхідна групі однакових електроприладів впродовж доби:

$$W_n = \sum P \cdot t,$$

де  $t$  – час роботи електроприладів одного типу, год.

У таблиці 2.1 наведено перелік обладнання та його характеристики за січень місяць

Таблиця 2.1. – Споживання електроенергії електроприладами у січні

| Назва                     | Кількість | Споживання електроенергії, Вт/год | Час роботи приладів, годин | Кількість споживаної електроенергії за добу, кВт |
|---------------------------|-----------|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------|
| 1                         | 2         | 3                                 | 4                          | 5                                                |
| Енергозберігаюча лампочка | 5         | 10                                | 10                         | 0,5                                              |
| Мікрохвильова піч         | 1         | 1500                              | 0,5                        | 0,75                                             |
| Електроплита              | 1         | 4000                              | 2                          | 8                                                |

Продовження табл.2.1

| 1              | 2 | 3    | 4   | 5           |
|----------------|---|------|-----|-------------|
| Телевізор      | 1 | 120  | 5   | 0,6         |
| Холодильник    | 1 | 100  | 24  | 2,4         |
| Праска         | 1 | 2000 | 0,2 | 0,4         |
| Пилосос        | 1 | 1500 | 0,3 | 0,45        |
| Ноутбук        | 1 | 200  | 3   | 0,6         |
| Пральна машина | 1 | 2000 | 1   | 2           |
| Електрочайник  | 1 | 2000 | 0,2 | 0,4         |
| Усього за добу |   |      |     | <b>16,1</b> |
| за місяць      |   |      |     | <b>500</b>  |

Таким же чином був проведений розрахунок для усіх місяців року, результати відображені на діаграмі.

## 2.2 Аналіз теплових потреб котеджу

Важливість визначення теплових потреб котеджу полягає у подальшому виборі обладнання для забезпечення теплопостачання.

Визначаємо максимальну витрату теплоти на опалення :

$$Q_o = q_o \cdot a \cdot V \cdot (t_{\text{вн}}^p - t_{\text{п.о}}),$$

де  $V$  – загальний об'єм котеджу, який визначається за наступною формулою:

$$V = a \cdot b \cdot c,$$

$$V = 9,8 \cdot 14 \cdot 8 = 1097 \text{ м}^3;$$

де  $q_o$  – питома опалювальна характеристика котеджу при  $t_{\text{п.о}} = -30^\circ\text{C}$ ,



$$q_0 = 0,38 \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{К},$$

де  $\alpha$  – поправний коефіцієнт на температуру носія, при  $t_{p.o} = -24^\circ\text{C}$ ,  
 $\alpha = 1,098 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ .

$$Q_0 = 0,38 \cdot 1,098 \cdot 1097 \cdot (20 - (-24)) \cdot 10^{-6} = 0,02 \text{ кВт}.$$

Визначаємо середні витрати теплоти на опалення котеджу:

$$Q_o^{cp} = Q_o \frac{t_{\text{сн}}^p - t_{cp.o}}{t_{\text{сн}}^p - t_{p.o}},$$

де  $t_{cp.o}$  - середня температура опалювального періоду для м. Одеса  
 $t_{cp.o} = -0,2^\circ\text{C}$ .

$$Q_o^{cp} = 0,02 \cdot \frac{20 - (-0,2)}{20 - (-24)} = 9 \text{ кВт}.$$

Повні витрата теплоти на опалення котеджу за рік у МДж/рік:

$$Q_o^{piv} = Q_o^{cp} n_o \cdot 24 \cdot 3600,$$

$$Q_o^{piv} = 0,009 \cdot 182 \cdot 24 \cdot 3600 = 0,00142 \cdot 10^8 \text{ МДж/рік}.$$

Визначення потреби в тепловій енергії для опалення котеджу помісячно та відповідно за весь опалювальний період виконано в табличній формі, наведеній нижче.

Таблиця 2.2 – Потреба в тепловій енергії для опалення будинку

| Місяць                                                                          | X     | XI    | XII   | I     | II    | III   | IV    |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Середньомісячна температура $t_{срм}$ , °C                                      | 8,5   | 4     | 3,5   | 6,4   | 5,2   | 1,6   | 10    |
| Відношення<br>$\psi = \frac{t_{BH} - t_{срм}}{t_{BH} - t_{PO}}$                 | 0,56  | 0,411 | 0,535 | 0,579 | 0,560 | 0,457 | 0,284 |
| $Q_{мес} = \psi \cdot Q$ , Вт                                                   | 5111  | 8192  | 10570 | 12546 | 11273 | 8915  | 5020  |
| $Q_d = \frac{Q_o \cdot 24 \cdot 3600}{10^6}$ , $\frac{\text{МДж}}{\text{добу}}$ | 439,9 | 706,9 | 907,2 | 997,5 | 974,0 | 769,7 | 432,0 |
| Кількість опалювальних діб $m$                                                  | 15    | 26    | 31    | 31    | 28    | 31    | 20    |
| $E_{мес} = Q \cdot m$ , МДж                                                     | 6598  | 18379 | 28123 | 30923 | 27271 | 23862 | 8640  |
| $E_{мес} = Q_{мес} \cdot m \cdot 24 / 100$ , кВт·год                            | 18,3  | 51,1  | 78,1  | 85,9  | 75,8  | 66,3  | 24    |

Потреба в тепловій енергії для компенсації втрат тепла будівлі за час опалення:

$$E_p = \sum E_{мес},$$

$$E_p = 6598 + 18379 + 28123 + 30923 + 27271 + 23862 + 8640 = 63270,72 \text{ МДж} \approx 143797,1 \text{ ГДж},$$

$$E_p = 18,3 + 51,1 + 78,1 + 85,9 + 75,8 + 66,3 + 24 = 399,4 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

На рис. 2.2 наведена діаграма помісячного споживання теплового навантаження котеджу, у якій додатково враховано і ГВС і кондиціонування.

На рис.2.3 наведено річне теплове навантаження за тривалістю у часі.

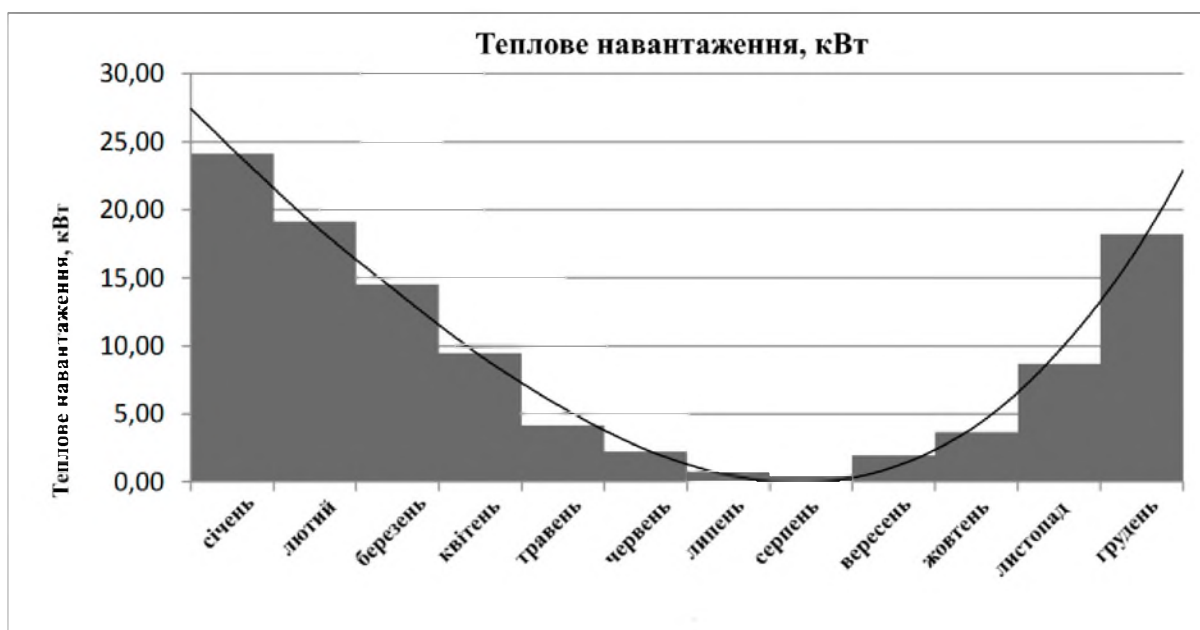


Рисунок 2.2 – Діаграма помісячного споживання теплового навантаження котеджу



Рисунок 2.2 – Діаграма річного теплового навантаження котеджу

## 2.3 Визначення оптимальної структури комплексної системи електропостачання котеджу

Для вибору оптимальної структури складено можливі варіанти:

Варіант 1 – sp-КС ВДЕ зі складом (ДГ+ВЕУ+ФЕП+мГЕС+СК+ТН+БГУ+АКБ);

Варіант 2 – p-КС ВДЕ зі складом (ДГ+ ВЕУ+ ФЕП+СК+АКБ);

Варіант 3 – k -КС ВДЕ зі складом (ФЕП+ВЕУ+АКБ+ТН)

Варіант 4 – d-КС ВДЕ зі складом (ДГ+ФЕП)

Варіант 5 – d-КС ВДЕ зі складом (ДГ+ВЕУ);

Варіант 6 – h-КС ВДЕ зі складом (ДГ+ФЕП+АКБ);

Варіант 7 – s-КС ВДЕ зі складом (ДГ+ФЕП+ВЕУ+СК+ ВН+мГЕС+АКБ);

Варіант 8 – k-КС ВДЕ зі складом (ДГ+ ФЕП+СК+АКБ).

Варіантів може бути і набагато більше ніж наведено вище, комбінація ВДЕ може бути різноманітною. Але збільшення їх кількості призводить до відповідного збільшення вартості, саме тому основним завданням при проектуванні складу енергетичного обладнання комплексної системи ВДЕ є оптимальне розподілення потужності між видами ВДЕ з метою зменшення вартості згенерованої енергії.

На рис. 2.3 представлено варіанти КС ВДЕ, які доцільно використовувати при проектуванні.

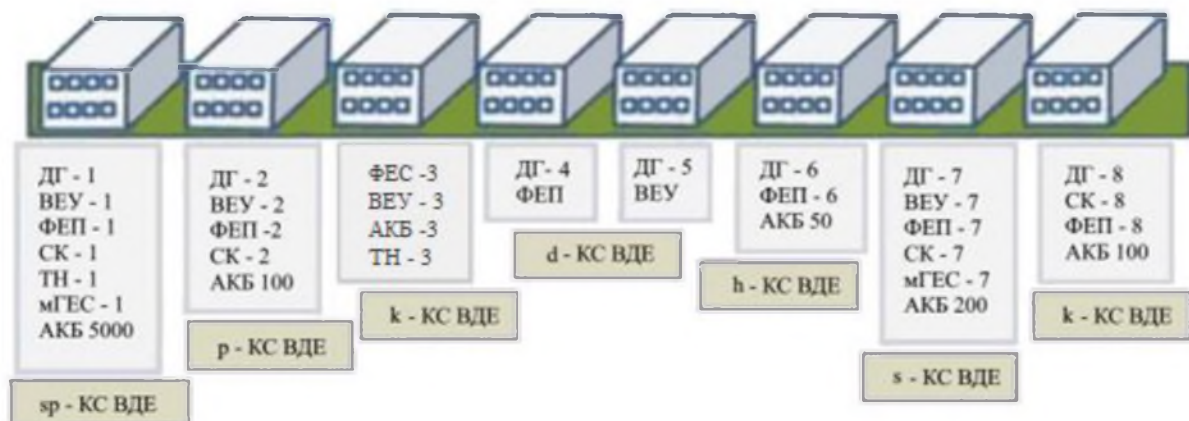


Рисунок 2.3 – Варіанти КС ВДЕ

Відповідно до рис. 2.3 можна навести варіанти різних поєднань видів ВДЕ, які розкладені по діапазонах потужностей, як приведено у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Можливі варіанти поєднань обладнання КС ВДЕ

| Склад енергетичного обладнання | Поєднання за потужностями (в % повної потреби) | Варіативність показників обладнання НВДЕ за потужністю                     |
|--------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| ДГ+ВЕУ                         | 5 % + 5 %                                      | 5 % + 5 %                                                                  |
| ДГ+ВЕУ+ФЕП                     | 5 % + 4,5 % + 0,5 %                            | 5 % + (1–4,75) + (0,25–4) %                                                |
| ФЕП+ВЕУ+ТН                     | 4 % + 3,5 % + 1 %                              | 4 % + (1–3) % + (0,25–0,5) % + (1–3) %                                     |
| ДГ+ВЕУ+ФЕП+ТН+СК               | 4 % + 2 % + 0,25 % + 1 % + 1,75 %              | 4 % + (1–3) % + .....                                                      |
| ДГ+ВЕУ+ФЕП+ТН+СК+БГУ           | 3 % + 2 % + 0,25 % + 1 % + 2 % + 0,5 %         | 3 % + (1,5–2,5) % + (0,2–0,5) % + (0,75–1,5) % + (1,5–2,5) % + (0,3–0,8) % |

Таким чином, проведений аналіз за оптимальністю складу комплексної системи ВДЕ, найкращим варіантом з точки зору доцільності, буде наступна комбінація ВДЕ:

Варіант 3 – к -КС ВДЕ зі складом (ФЕП+ВЕУ+АКБ+ТН).

Така комбінація забезпечить котедж як електричною так і тепловою енергією, і при цьому вона має досить високий рівень надійності з забезпечення енергопостачання.

## 2.4 Висновки за другим розділом

За результатами аналізу, проведеного у другому розділі, можливо зробити висновки:

- зростання споживання електроенергії за побудованими діаграмами має пікові потужності влітку, а пік споживання теплової енергії взимку;
- при виборі складу комплексної системи ВДЕ, виявлено оптимальний варіант ВДЕ: Варіант 3 – к -КС ВДЕ зі складом (ФЕП+ВЕУ+АКБ+ТН).

## РОЗДІЛ 3. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КОТЕДЖУ

### 3.1 Аналіз способів конструктивного монтажу ФЕС для котеджу

Встановлення ФМ завжди виконується обов'язково на спеціальних конструкціях, щоб забезпечити практично їх оптимальну орієнтацію відносно Сонця, а також забезпечити надійне кріплення відповідно до використовуваних типів поверхонь, де вони монтуються, до яких саме відносяться наземні фундаменти, наземні металеві конструкції, похилі дахи будинків, плоска покрівля будинків, а також вертикальні настінні поверхні.

Максимальну продуктивність енергії ФМ мають при такому монтуванні, коли сонячні промені падають на їх робочу поверхню саме під кутом  $90^\circ$ . Цього можна домогтися тільки при застосуванні спеціальних поворотних конструкцій - трекерних систем, але вони мають велику вартість, тому здебільшого в фотоелектричних системах знайшли застосування стаціонарні конструкції.

Стаціонарні конструкції монтуються, таким чином, щоб ФМ була повернена на південну сторону з допустимим незначними відхиленнями по азимуту, як показано на діаграмі на рис. 3.1. Такий монтаж може бути або фіксованим, або зі змінним кутом нахилу.

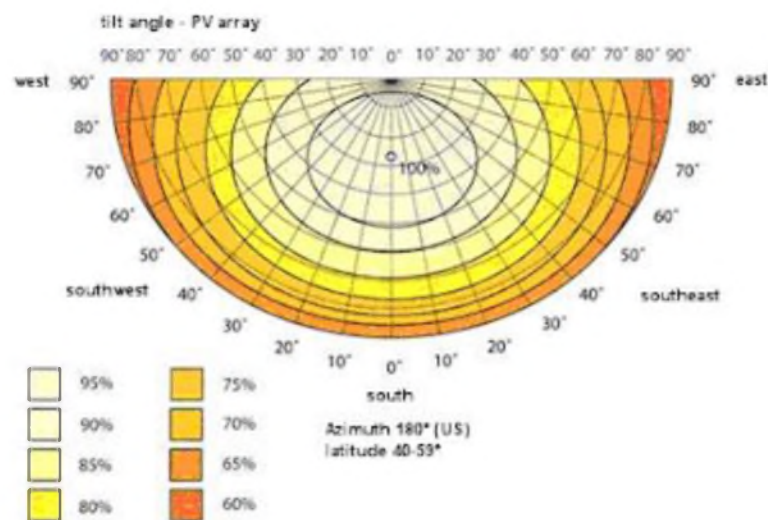


Рисунок 3.1 – Діаграма оптимальних кутів нахилу ФМ

Залежність продуктивності генерації енергії ФМ в залежності від типу монтажної конструкції наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Продуктивність ФМ від типу монтажної конструкції

| Продуктивність системи | Фіксована конструкція | Регулювання 2 рази в рік | Регулювання 4 рази в рік | 2-осьовий трекер |
|------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------|------------------|
| % від оптимального     | 71,1%                 | 75,2%                    | 75,7%                    | 100%             |

Вплив регулювання оптимального кута нахилу ФМ на продуктивність наведена у таблицях 3.2 і 3.3 в залежності від кількості разів регулювання на рік.

При дворазовому регулюванні на рік оптимальний час задля зміни кута нахилу виконують відповідно на літній період це 30 березня, а відповідно на зимовий період це 12 вересня.

Таблиця 3.2 – Оптимальні кути при регулюванні 2 рази на рік

| Широта | Літній кут | Зимовий кут | % від оптимального (2-осьового трекера) |
|--------|------------|-------------|-----------------------------------------|
| 25 °   | 2,3        | 41,1        | 76%                                     |
| 30 °   | 6,9        | 45,5        | 76%                                     |
| 35 °   | 11,6       | 49,8        | 76%                                     |
| 40 °   | 16,2       | 54,2        | 75%                                     |
| 45 °   | 20,9       | 58,6        | 75%                                     |
| 50 °   | 25,5       | 63,0        | 74%                                     |

Якщо регулювання кута нахилу ФМ виконується чотириразово на рік, то оптимальний час зміни кута: на літній період це 18 квітня, на осінній період це 24 серпня, на зимовий період це 7 жовтня, на весняний період це 5 березня.

Таблиця 3.3 – Оптимальні кути при регулюванні 4 рази на рік

| Широта | Літній кут | Весняний/<br>Осінній кут | Зимовий кут |
|--------|------------|--------------------------|-------------|
| 25 °   | -1,3       | 22,2                     | 46,3        |
| 30 °   | 3,3        | 27,1                     | 50,7        |
| 35 °   | 7,9        | 32,0                     | 55,2        |
| 40 °   | 12,5       | 36,9                     | 59,6        |
| 45 °   | 17,1       | 41,8                     | 64,1        |
| 50 °   | 21,7       | 46,7                     | 68,5        |

Для деяких широт оптимальні кути вже визначені в залежності від пори року (рис.3.2)

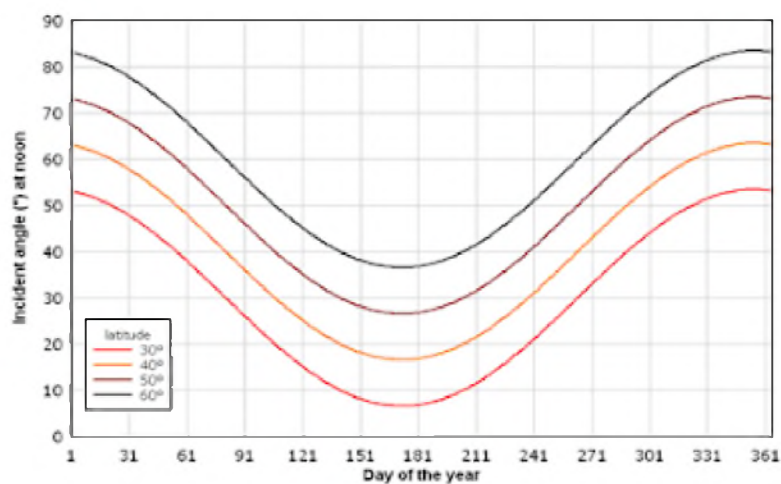


Рисунок 3.2 – Оптимальні кути в залежності від пори року

При рядному розташуванні сонячних панелей також важливим є вибір відстані між рядами, щоб не допустити зниження продуктивності за рахунок взаємного затінення поверхні модулів, як показано на рис.3.3



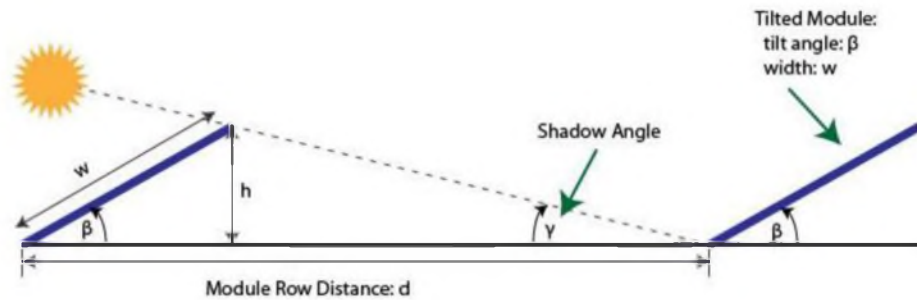


Рисунок 3.3 – Визначення відстані між рядами

Для наземного монтажу ФМ застосовують конструкції або з оцинкованого залізного профілю або з алюмінієвого. Конструкція може бути застосована як для кріплення одного модуля так і для групи модулів при чому як у вертикальній так і горизонтальній площині. Задля забезпечення стійкості конструкції її встановлюють ще й на бетонний фундамент, як показано на рис. 3.4.

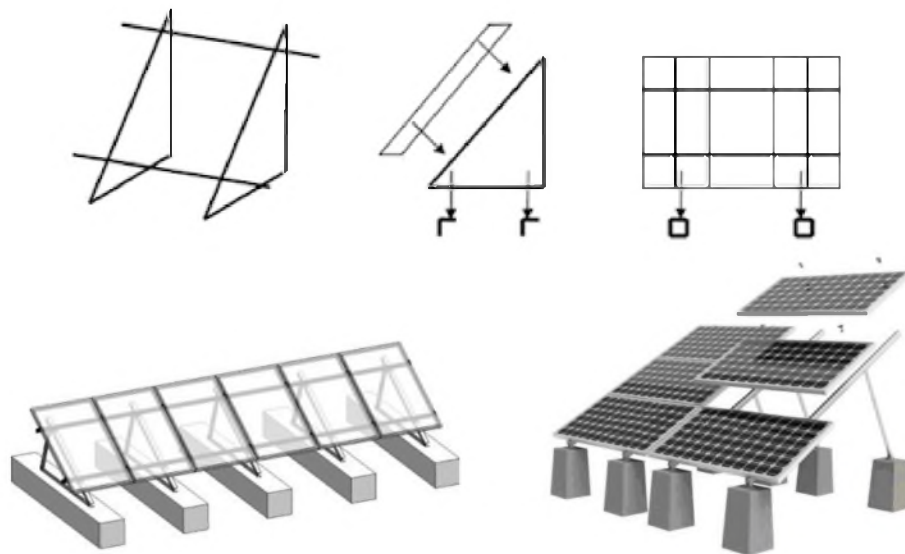


Рисунок 3.4 – Способи наземного стаціонарного монтажу ФМ

Монтаж на дахах поділяють на два типи – на похилих та на плоских дахах. Для монтажу ФМ на плоских дахах застосовують також конструкції з алюмінієвого профілю, відмінністю є опорні елементи виготовлені з нержавіючої сталі. Розташування ФМ на таких конструкціях може бути одинарне ярусне з орієнтацією як у горизонтальній так і у вертикальній площинах.

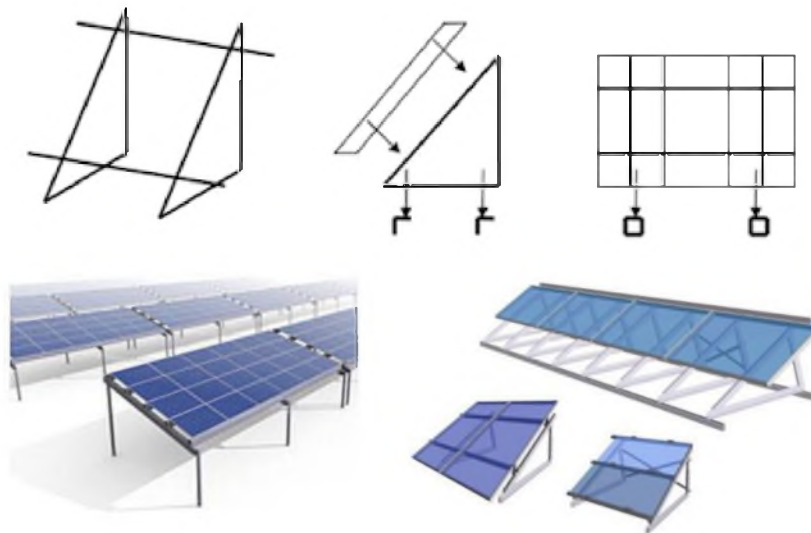


Рисунок 3.5 – Способи монтажу ФМ на плоских дахах

На похилих дахах монтаж ФМ з орієнтацією на південь по азимуту і практично оптимальним кутом нахилу відбувається на алюмінієвих профілях, які кріпляться на опорних елементах покрівлі (рис.3.6).

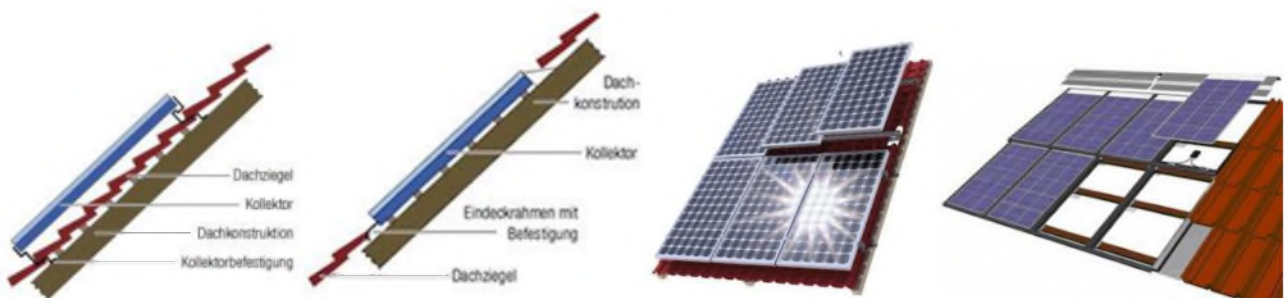


Рисунок 3.6 – Способи монтажу ФМ на похилих дахах

Згідно розглянутих способів та типу даху коледжу обираємо встановлення ФМ на конструкціях для похилого даху без можливості регулювання кута нахилу.

Географічне місце розташування ФЕС – м. Одеса має координати: широта  $46.53^\circ$  та довгота  $30.70^\circ$ , відповідно до цього оптимальним буде кут нахилу  $45^\circ$ .

### 3.2 Вибір обладнання ФЕС та визначення їх технічних та кількісних параметрів

Основним обладнанням ФЕС є фотоелектричні модулі, контролер заряду, інвертор та акумуляторні батареї.

Для визначення кількості фотомодулів та порядку розташування на даху скористаємося методом площі та видобутку енергії.

Кількість ФМ виберемо згідно площі даху, що може бути використана для встановлення обладнання та стандартних розмірів сонячної панелі, а саме 1800x1100 мм.

Встановлення ФМ на даху можливо наступними схемами – у стрінгу, у портретному положенні та у ландшафтному. При розташуванні у стрінгу кількість дорівнює 20 штук, при портретному положенні – 10 штук модулів, у ландшафтному – 5 штук модулів.

Визначення величини генерації електроенергії ФЕС виконується за формулою:

$$W_{\text{ФЕС}} = n_{\text{ф}} \cdot P_{\text{м}} \cdot H,$$

де  $n_{\text{ф}}$  – кількість сонячних модулів на даху;

$P_{\text{м}}$  – потужність одного сонячного модуля;

$H$  – помісячна величина інсоляції, що наведена у табл 3.4.

Таблиця 3.4 – Річна інсоляція для м. Одеса

| Місто | січ  | люг  | бер  | квіт | трав | чер  | лип  | сер  | вер  | жов  | лис  | груд | рік         |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|
| Одеса | 1,25 | 2,11 | 3,08 | 4,38 | 5,65 | 5,85 | 6,04 | 5,33 | 3,93 | 2,52 | 1,36 | 1,04 | <b>3,55</b> |

Отримані результати необхідно скоригувати відповідно з даними таблиці 3.1.

За наведеною вище формулою визначимо генерацію електроенергії ФЕС для конфігурації ФМ на даху з 5, 10 та 20 фотомодулів, результати зведемо до табл.3.5.

Таблиця 3.5 – Розрахунковий виробіток фотомодулів

| Місяць   | Кількість фотомодулів |         |          |
|----------|-----------------------|---------|----------|
|          | 5                     | 10      | 20       |
| Січень   | 86,95                 | 173,9   | 347,8    |
| Лютий    | 132,46                | 264,92  | 529,84   |
| Березень | 203,13                | 406,26  | 812,52   |
| Квітень  | 303,77                | 607,54  | 1215,08  |
| Травень  | 379,62                | 759,24  | 1518,48  |
| Червень  | 378,51                | 757,02  | 1514,04  |
| Липень   | 415,14                | 830,28  | 1660,56  |
| Серпень  | 392,94                | 785,88  | 1571,76  |
| Вересень | 217,93                | 435,86  | 871,72   |
| Жовтень  | 172,235               | 344,47  | 688,94   |
| Листопад | 90,465                | 180,93  | 361,86   |
| Грудень  | 51,615                | 103,23  | 206,46   |
| Рік      | 2824,765              | 5649,53 | 11299,06 |

Аналіз результатів таблиці 3.5, дозволяє зробити висновок що при встановленні на даху 5 модулів згенерованої електроенергії буде замало для розрахованих потреб споживача, а у випадку встановлення 20 модулів генерація перевищує споживання майже у два рази, що повністю компрометує основні ідеї принципів складання комплексних гібридних систем ВДЕ, до того ж структура такої системи вже обрана. Таким чином, планується монтаж на даху 10 фотомодулів із 2 стрінгів, відповідно по 5 модулів з розташуванням у ландшафтному положенні, так як це найоптимальніший варіант.

Згідно з розрахункових даних табл.3.5 можна зробити висновок, що маємо доволі великий дефіцит електроенергії саме у осінній та зимовий час, що за логікою необхідно покривати за рахунок іншого ВДЕ, а саме вітроустановки. Загальна частка з покривання потреб споживача електроенергією за рахунок ФЕС у випадку прийнятої схеми складає здебільшого лише 37%, тоді як у зимовий час коливається у межах 15-17%. Нестачу енергії можна компенсувати введенням у склад АКБ та застосування вітроустановки. У табл. 3.6 наведено розрахунок частки забезпечення енергією споживача згідно розробленої вище структури комплексної системи ВДЕ.

Таблиця 3.6 – Частка забезпечення споживача електроенергією з урахуванням у системі АКБ та без нього

|                     | Січень | Лютий   | Березень | Квітень | Травень  | Червень |     |
|---------------------|--------|---------|----------|---------|----------|---------|-----|
| Без використання АБ | 24%    | 29%     | 34%      | 48%     | 50%      | 50%     |     |
| Із використанням АБ | 40%    | 51%     | 61%      | 87%     | 86%      | 83%     |     |
|                     | Липень | Серпень | Вересень | Жовтень | Листопад | Грудень | Рік |
| Без використання АБ | 53%    | 50%     | 36%      | 30%     | 23%      | 17%     | 37% |
| Із використанням АБ | 86%    | 90%     | 60%      | 53%     | 36%      | 27%     | 68% |

Аналіз таблиці 3.6 доводить, що введення у комплексну систему АКБ підвищує її енергоефективність та надійність щодо питання забезпечення електроенергією споживача.

Задля реалізації ФЕС обираємо ФМ типу JA SOLAR JAM66S10-370/MR, загальний вигляд яких представлено на рис. 3.7. Технічні характеристики наведено у табл. 3.7.

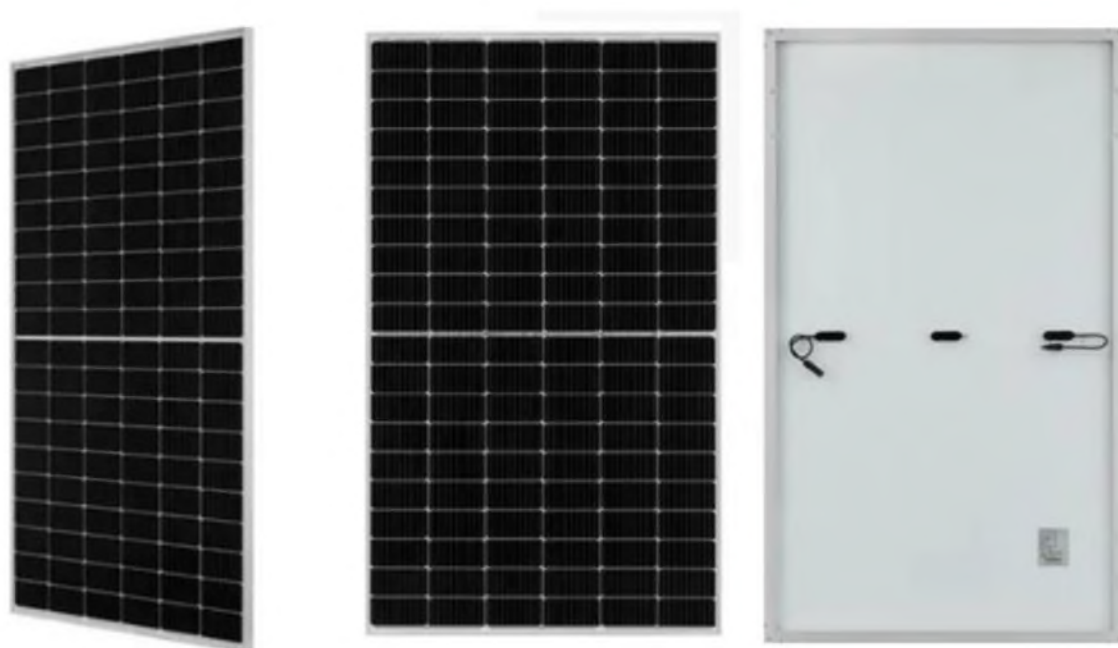


Рисунок 3.7 – Загальний вигляд сонячної моделі

Таблиця 3.7 – Технічна специфікація ФМ

| JA SOLAR JAM66S10-370/MR                       |                         |
|------------------------------------------------|-------------------------|
| Параметр                                       | Значення                |
| Пікова потужність, Вт                          | 370                     |
| Напруга ММР, В                                 | 35,2                    |
| Струм ММР, А                                   | 10,52                   |
| Напруга холостого ходу, В                      | 45,80                   |
| Струм короткого замикання, А                   | 10,43                   |
| Максимальна напруга системи, В                 | 1000                    |
| Коефіцієнт корисної дії, %                     | 20,1                    |
| Число, тип і з'єднання фотоелектричних комірок | монокристал, 120 (6x20) |
| Розміри (довжина x ширина x товщина), мм       | 1852x996x35             |
| Вага, кг                                       | 19,5                    |
| Номінальна температура роботи, °C              | 45±2                    |
| Операційна температура, °C                     | -40 ~+85                |
| Допустиме відхилення потужності, Вт            | 0~+5                    |
| Максимальний струм вимикача, А                 | 20                      |

Продовження табл.3.7

|                                                             |        |
|-------------------------------------------------------------|--------|
| Допустиме відхилення струму КЗ та напруги холостого ходу, % | ±3     |
| Температурний коефіцієнт струму КЗ, %/°C                    | +0,048 |
| Температурний коефіцієнт напруги холостого ходу, %/°C       | -0,27  |
| Температурний коефіцієнт максимальної потужності, %/°C      | -0,35  |

Дані наведено для стандартних умов: інсоляція 1000Вт/м<sup>2</sup>, оточуюча температура 25°C.



Рисунок 3.8 – Загальний вигляд інвертору типу Huawei SUN2000L-6KTL

Таблиця 3.8 – Технічна специфікація інвертору типу Huawei SUN2000L-6KTL

| Huawei SUN2000L-6KTL                                 |          |
|------------------------------------------------------|----------|
| Параметр                                             | Значення |
| Максимальна ефективність, %                          | 98,6%    |
| Максимальна зважена європейська ефективність, %      | 97,7%    |
| Максимальна потужність підключених фотоелементів, Вт | 12000    |

Продовження табл.3.8

|                                                     |             |
|-----------------------------------------------------|-------------|
| Максимальна вхідна напруга, В                       | 1100        |
| Робочий діапазон напруг, В                          | 140-980     |
| Напруга запуску, В                                  | 200         |
| Діапазон напруг для максимальної потужності MPPT, В | 285-850     |
| Номінальна вхідна напруга, В                        | 600         |
| Максимальний вхідний струм на MPPT, А               | 11          |
| Максимальний струм КЗ, А                            | 15          |
| Кількість МРР-трекерів                              | 2           |
| Кількість входів                                    | 2           |
| Підключення до мережі                               | 1 фаза      |
| Номінальна потужність, Вт                           | 6000        |
| Максимальна повна потужність, ВА                    | 6600        |
| Номінальна напруга виходу, В                        | 220/230/240 |

### 3.3 Вибір конструкції та розрахунок вітроустановки

Попередні розрахунки ФЕС показали, що навіть при наявності АКБ виникає дефіцит електроенергії у системі, який помісячно наведений на рис. 3.9. Тому згідно раніше прийнятої структури гібридної системи електропостачання необхідно обрати вітроустановку задля забезпечення стабільної генерації та покриття навантаження.

Розрахунок та вибір вітроустановки також є необхідним з причини розрахунку балансу після її введення у комплексну систему ВДЕ котеджу.



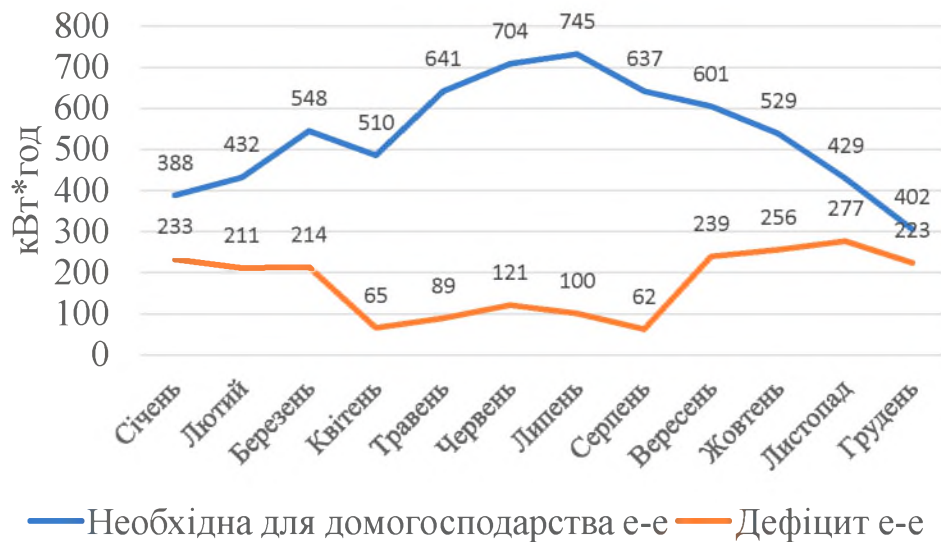


Рисунок 3.9 – Місячні потреби на покриття об'єму електроенергії

Виконаємо розрахунок ВЕУ.

Розрахункова потужність на валу вітроустановки визначається за формулою:

$$N_B = \frac{\rho \cdot F \cdot W^3 \cdot \xi}{2}, \text{ Вт}$$

Необхідна потужність генератора ВЕУ розраховується як:

$$N_G = N_B \cdot \eta_G \cdot \eta_{II},$$

де  $\eta_{II} = 1$  - передаточний коефіцієнт.

Густина повітря приймаємо рівною  $1,2 \text{ кг/м}^3$ .

$$N_B = \frac{N_G}{\eta_G \cdot \eta_{II}} = \frac{2}{0,98 \cdot 1} = 2,04 \text{ кВт}$$

Ометаема площа поверхні вітроколеса, відповідно через яку проходить вітропотік:

$$F = \sqrt{\frac{2 \cdot N_B}{\rho \cdot W_c^3 \cdot \zeta}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2,04 \cdot 10^3}{1,2 \cdot 5^3 \cdot 0,32}} = 85 \text{ м}^2.$$

Діаметр вітроколеса дорівнює:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 85}{3,14}} = 10,4 \text{ м.}$$

Частота обертання:

$$\nu = Z \cdot W_c / (2\pi \cdot R) = 8 \cdot 5 / (2 \cdot 3,14 \cdot 5,2) = 1,223 \text{ с}^{-1}.$$

За розрахунковими даними потужності та частоти обертання приймаємо до встановлення вітроелектричну установку типу Е-3 НАWT, технічні характеристики якої наведено у табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Паспортні дані вітроустановки

|           |                             |                            |
|-----------|-----------------------------|----------------------------|
| Генератор | Тип                         | Постійний магніт           |
|           | Максимальна потужність      | 3 кВт                      |
|           | Номинальна потужність       | 1,9 кВт                    |
| Ротор     | Конфігурація                | Горизонтальний ротор       |
|           | Кількість лопатей           | 3 шт.                      |
|           | Матеріал лопаті             | Армоване скловолокно       |
|           | Довжина лопаті              | 1,9 м                      |
|           | Діаметр ротора              | 3,8 м                      |
|           | Площа                       | 11,34 м <sup>2</sup>       |
|           | Номинальна швидкість ротору | 250 об/хв                  |
|           | Тангаж, ристання            | Пасивна система із хвостом |
| Вітер     | Стартова швидкість вітру    | 2 м/с                      |
|           | Номинальна швидкість вітру  | 10 м/с                     |
|           | Швидкість вітру виведення   | 60 м/с                     |
|           | Максимальна швидкість       | 70 м/с                     |

### 3.4 Вибір типу акумулюючих пристроїв

Для забезпечення безперервного циклу електропостачання споживача, а також покриття пікових потужностей необхідним елементом КС ВДЕ є система АКБ, яка складається з 8 свинцево-кислотних АКБ типу Норреске Sun Power VL 6-400.

Схема поєднання АКБ наступна: 2 паралельні батареї, що складаються із 4 послідовних батарей. При такій схемі поєднання загальний вольтаж системи дорівнює 24В, а ємність відповідно складає 604 А·год.

За рахунок такого поєднання АКБ може зберігати 11.6 А·год енергії. Технічні характеристики АКБ наведено у табл. 3.10.

Таблиця 3.10 – Технічна специфікація батареї

| Норреске Sun Power VL 6-400              |             |
|------------------------------------------|-------------|
| Параметр                                 | Значення    |
| Номінальна напруга, В                    | 6           |
| $C_{100}/1.85В, А \cdot год$             | 400         |
| $C_{50}/1.85В, А \cdot год$              | 380         |
| $C_{24}/1.83В, А \cdot год$              | 358         |
| $C_{10}/1.8В, А \cdot год$               | 302         |
| $C_5/1.77В, А \cdot год$                 | 264         |
| Вага електроліту, кг                     | 18          |
| Розміри (довжина x ширина x товщина), мм | 380x205x383 |

### 3.5 Баланс енергосистеми котеджу

Наведемо баланс системи після введення усіх складових комплексної гібридної системи ВДЕ. Для такого типу будинків баланс повинен бути завжди позитивним. Графічне представлення балансу потужностей наведено на рис. 3.10

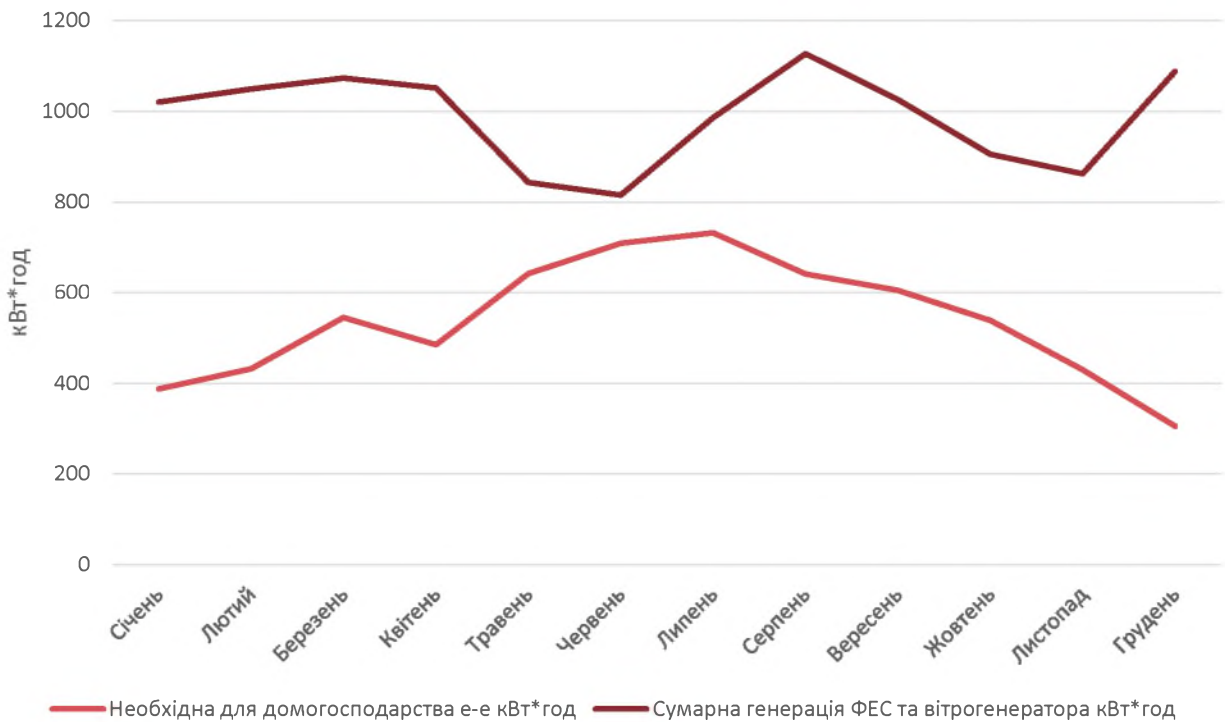


Рисунок 3.10 – Баланс потужності котеджу

Аналіз наведених вище графіків вказує на те, що розрахована комплексна гібридна система повністю на 100 % покриває усі потреби споживача в продовж року, і це можливо завдяки правильно обраному, оптимальному складі ВДЕ та правильному розподіленню потужностей споживача між ними, а також позитивний вклад у баланс вносять акумулюючі елементи, що повністю стабілізують систему, також вони дозволяють системі бути повністю автономною. Детальне розподілення процесу генерації між джерелами наведено у табл. 3.11.

Таблиця 3.11– Генерація гібридної системи ВДЕ із розподіленням за типами джерел

|          | Необхідна<br>для<br>споживача<br>е-е, кВт·год | Відпуск<br>ФЕС,<br>кВт·год | Відпуск<br>вітроустановки,<br>кВт·год | Сумарна<br>генерація<br>системи,<br>кВт·год | Відпуск<br>у<br>мережу,<br>кВт·год |
|----------|-----------------------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------|
| Січень   | 500                                           | 160,3                      | 859,950                               | 1020,250                                    | 632,55                             |
| Лютий    | 605                                           | 245,1                      | 803,850                               | 1048,950                                    | 616,95                             |
| Березень | 548                                           | 370,8                      | 702,375                               | 1073,175                                    | 528,175                            |
| Квітень  | 510                                           | 540,4                      | 510,643                               | 1051,043                                    | 565,942                            |
| Травень  | 641                                           | 657,5                      | 185,443                               | 842,943                                     | 201,542                            |
| Червень  | 704                                           | 640                        | 174,986                               | 814,986                                     | 106,385                            |
| Липень   | 745                                           | 695                        | 290,571                               | 985,571                                     | 253,871                            |
| Серпень  | 637                                           | 657,7                      | 469,071                               | 1126,771                                    | 485,871                            |
| Вересень | 601                                           | 378,8                      | 646,800                               | 1025,600                                    | 421                                |
| Жовтень  | 529                                           | 302,7                      | 602,250                               | 904,950                                     | 366,65                             |
| Листопад | 429                                           | 163,2                      | 699,000                               | 862,200                                     | 432,8                              |
| Грудень  | 402                                           | 91,6                       | 996,721                               | 1088,321                                    | 783,121                            |
| Рік      | 6851                                          | 4903,1                     | 6941,661                              | 11844,761                                   | 5394,86                            |

Аналіз таблиці 3.11 дозволяє зробити висновок, що ВЕУ та ФЕС являються взаємодублюючими і відповідно до сезону, кожне джерело може бути або основним або додатковим, що дає змогу повністю покрити щомісячну величину навантаження. Надлишки згенерованої електроенергії можуть бути реалізовані за програмою «зеленого» тарифу для побутових споживачів із гібридною системою ВДЕ. Також, слід зауважити, що є можливість подальшого нарощування потужностей гібридної електростанції на ВДЕ шляхом встановлення додаткового подібного обладнання без особливої переробки системи.

### 3.6 Імітаційне моделювання системи ФЕС-Вітроустановка

Імітаційне моделювання – це потужний математичний інструмент дослідження об’єкту або системи ще на фазі проєктування, що дає можливість розуміння правильності прийнятих рішень. У нашому випадку всі необхідні розрахунки вже виконані і вони підтверджують оптимальність вибору обладнання, але математичне моделювання є обов’язковим елементом любого дослідження.

На рис.3.11 наведена математична модель спільної генерації на навантаження гібридної системи ФЕП-ВЕУ, яка враховує основні збурюючі фактори, притаманні саме цим видам ВДЕ.

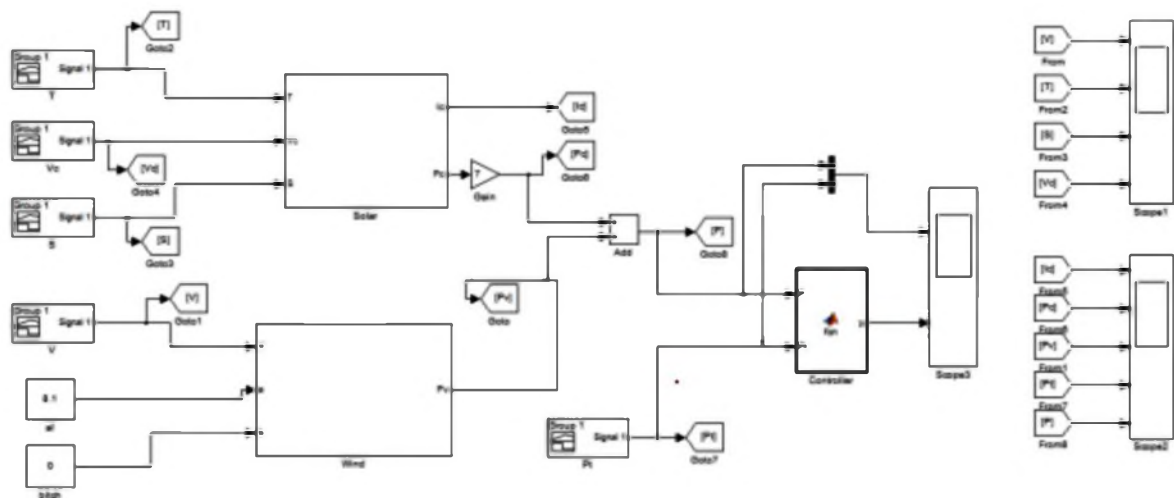


Рисунок 3.11 – Matlab Simulink-модель гібридної ФВЗУ

Результати моделювання, а саме залежність вихідних сигналів від збурюючих факторів наведено на рис.3.12.

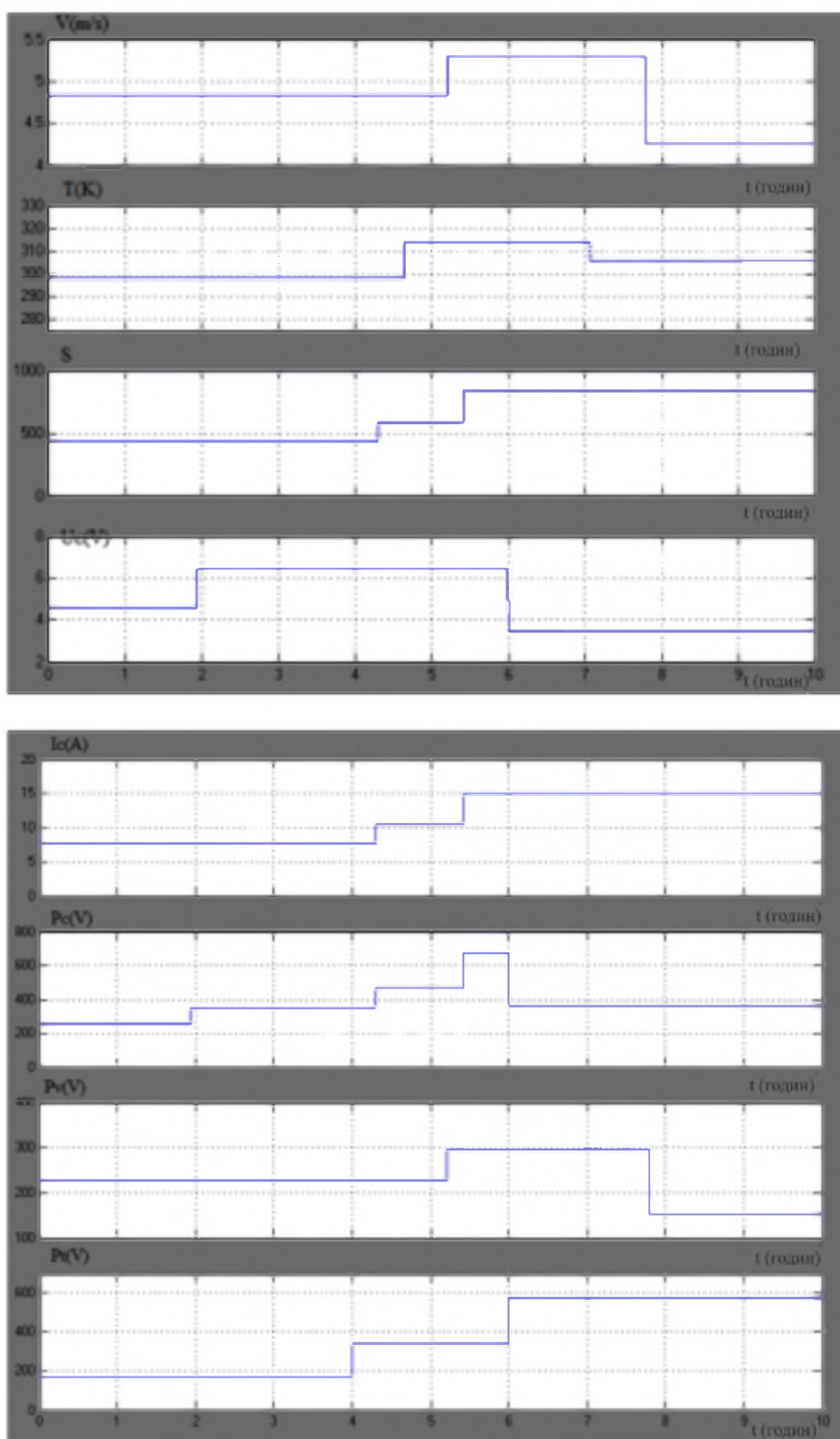


Рисунок 3.12 – Графіки залежності між вхідними сигналами ( $U, T, S, V$ ) і вихідними сигналами ( $I_c, P_c, P_v, P_n$ )

На рис.3.13 наведені графіки балансу потужностей системи

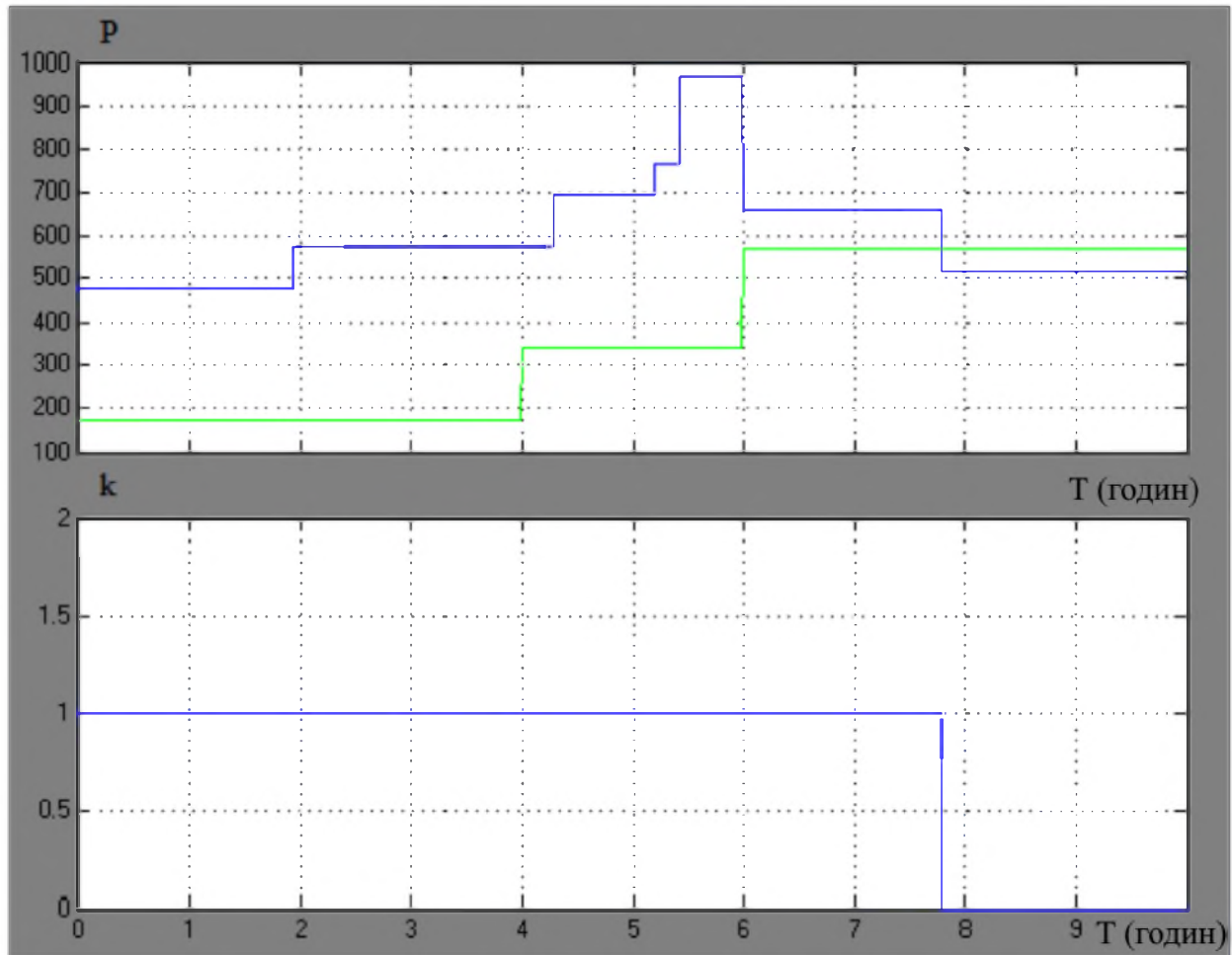


Рисунок 3.13 – Баланс системи:  $(P_s+P_v)$  і  $P_{in}$  і сигнал керування системою

Наведені результати моделювання, а саме баланс потужностей системи, повністю підтвердив результати розрахунку, тобто позитивності балансу і відповідно повного покриття навантаження споживача.

### 3.7 Висновки за третім розділом

Результатом третього розділу є розробка комплексної гібридної системи ВДЕ для забезпечення електропостачання котеджу. Виконано вибір необхідного обладнання, складено позитивний баланс системи з перевіркою шляхом моделювання у середовищі Matlab Simulink.



## РОЗДІЛ 4. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ ПОТРЕБ КОТЕДЖУ

### 4.1 Класифікація теплових насосів

Тепловий насос – це сучасний пристрій призначений для перенесення теплової енергії від визначеного низькопотенціального джерела тепла відповідно до споживача тепла, з високою температурою. На сьогоднішній день застосування теплових насосів можна назвати одним з найважливіших шляхів утилізації невикористаної теплоти вторинних енергетичних ресурсів

Для роботи теплового насосу обов'язково є необхідним використання зовнішньої енергії, яке має механічне, електричне, хімічне або інше джерело походження.

Класифікувати теплові насоси можна за різними параметрами.

За принципом дії ТН поділяються на

- сорбційні та струйні – це теплові машини, які саме застосовуються для повної або часткової утилізації надлишкового тепла;
- термоелектричні теплові насоси мають основне застосування у невеликих та переносних автохолодильниках;
- паро-компресійні установки - найпоширеніші побутові теплонасосні машини. Принцип дії такого типу теплового насосу заснований на фундаментальних положеннях розділу термодинаміки, а саме на циклі Карно. Це практично єдиний оборотний цикл, який може відбуватися у повністю замкнутій системі та є оборотним, тобто може здійснюватись як в прямому напрямку так і у зворотному. Таким чином, установка заснована на циклі Карно може працювати у двох режимах як кондиціонер чи як тепловий насос, або може при потребі поєднувати у собі функції такі як опалення та охолодження.

Тому практично вся увага буде у роботі приділена саме компресійним насосам.

Конструктивно усі паро-компресійні теплові насоси у своєму складі мають наступні основні компоненти, а саме конденсатор, також дросельний клапан, та обов'язково випарник компресор.

В герметичному контурі ТН курсує холодоагент або так зване робоче тіло, у якості якого виступають фреони, що не містять у своєму складі хлору і відповідно є безпечними для навколишнього середовища, а саме озонового шару. Робочий цикл ТН засновано на циклічному перенесенні температури робочим тілом за рахунок зміни тиску та й практично одночасно фазового переходу - з стану рідини у відповідний газоподібний і навпаки обов'язково під впливом механічної дії.

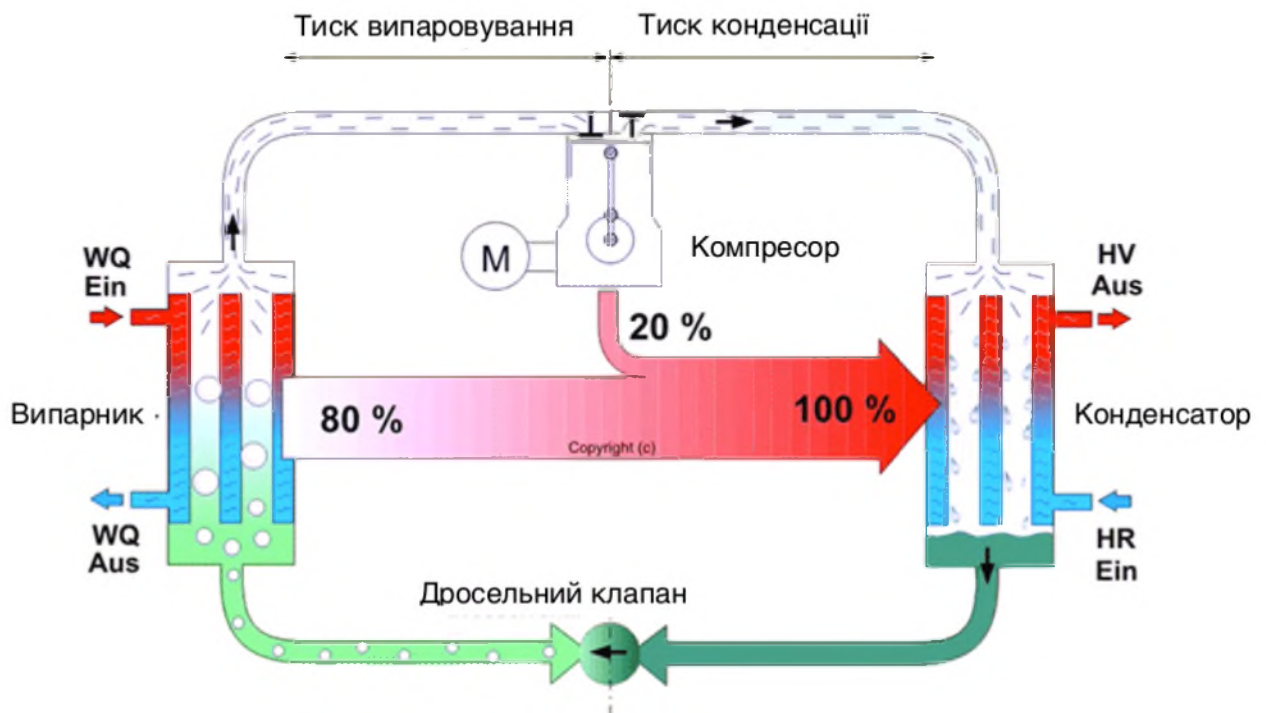


Рисунок 4.1 – Принципова дія теплового насоса

Головне призначення ТН на сьогоднішній день - це нагрів теплоносія для таких систем як опалення, вентиляції та забезпечення гарячого водопостачання будівель.

Основна класифікація ТН безсуперечно виконується за джерелом відбору тепла і відповідно за цією ознакою усе обладнання ділять на такі види:

- геотермальні ТН, які поділяють на замкнутого (горизонтальні, вертикальні, водні) та відкритого типу.
- повітряні ТН;
- від використання вторинного тепла.

Саме останній тип використовується для опалення будівель.

За цією ознакою поділяють ТН на:

- ґрунтові (ґрунт-вода або ґрунт- розсол);
- водні (вода-вода);
- повітряні (повітря-вода або повітря-повітря).

Тепловий насос ґрунтовий «ґрунт-вода» має найбільше розповсюдження. У такій системі тепло практично забирається з ґрунту і потім передається в контур будинку, а саме системі опалення і також гарячого водопостачання (ГВП). Величина температури саме приповерхневого шару землі або навіть на глибині природньо завжди плюсова, і відповідно такий тип обладнання є просто ідеальним варіантом та ще й зі стабільною продуктивністю впродовж року. Але реалізація потребує наявності земельної ділянки для відбору системою тепла.

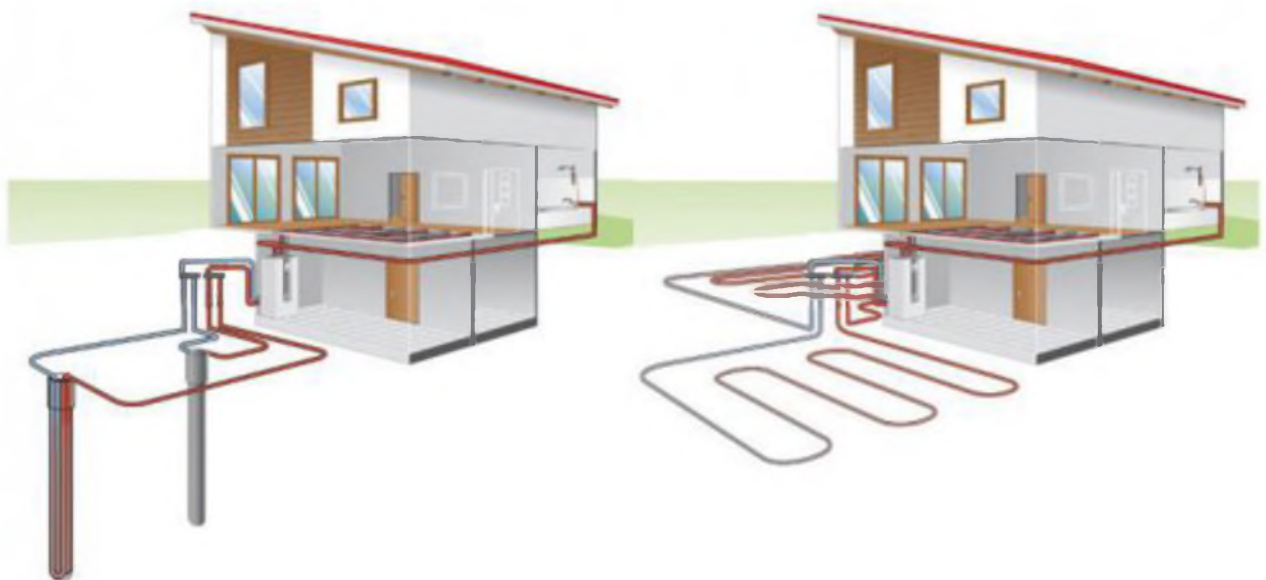


Рисунок 4.2 – Тепловий насос ґрунтовий «ґрунт-вода»

Тепловий насос водяний – «вода-вода», у ньому використовується тепло водойми або ґрунтових вод, бо там температура завжди плюсова.



Рисунок 4.4 – Тепловий насос водяний «вода-вода»

Тепловий насос повітряний – «повітря-вода», використовує навколишнє повітря у якості невичерпного джерела теплової енергії. Бо навіть при зовсім невеликих мінусових температурах такий повітряний ТН витягує тепло з зовнішнього повітря і потім збільшує його і відповідно передає воді у такі системи як система опалення та ГВП.

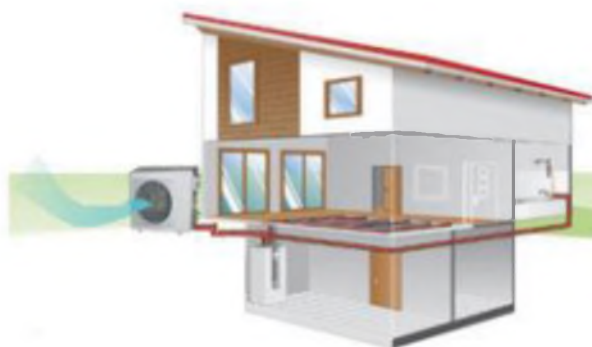


Рисунок 4.5 – Тепловий насос повітряний – «повітря-вода»

Найефективніше і раціональніше ТН буде використано з перемиканням на альтернативну систему.

## 4.2 Вибір теплового насосу

Згідно прийнятого раніше рішення ТН входить до складу обраної комплексної системи ВДЕ і саме він відповідає за опалення та ГВП і кондиціонування у котеджі. Особливості саме такого використання енергії (тепло або холод) яку акумулює ТН представлено на рис.4.6 та 4.7.

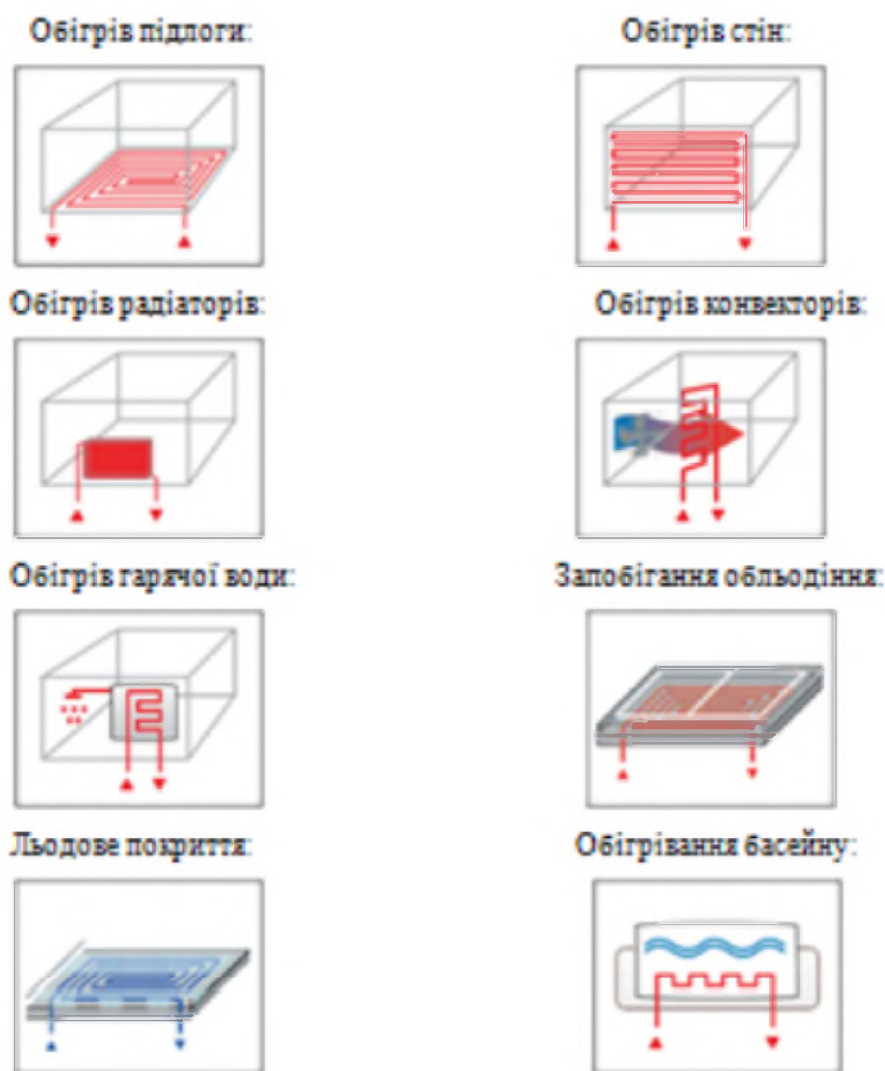


Рисунок 4.6 – Споживачі тепла у будинку



Рисунок 4.7 – Джерела енергії отримання тепла

Згідно раніше приведених розрахунків стосовно потреб теплової енергії обираємо ТН типу geoTHERM VWS 220/2 – це ТН конструктивного типу "розсіл - вода", який буде застосовано для реалізації опалювання і гарячого водопостачання у котеджі. Такий ТН використовує як джерело - низькопотенційне тепло ґрунту.

На рис.4.8 наведено зовнішній вигляд ТН.



Рисунок 4.8 – Загальний вигляд теплового насосу.

Таблиця 4.1 – Технічна характеристика ТН

|                                                                    |          |
|--------------------------------------------------------------------|----------|
| максимальна теплова потужність                                     | 21,6 кВт |
| мінімальна величина температури на вході в первинний контур<br>ТН  | -1 °С    |
| максимальна величина температури подачі підігрівного контура<br>ТН | +62 °С   |

ТН отримує енергію від ВДЕ і теплоту від ґрунту. Усе отримане тепло таким чином використовується на потреби опалення та ГВП котеджу.

### 4.3 Висновки за четвертим розділом

В результаті виконання четвертого розділу виконано аналіз конструктивних особливостей теплових насосів, розглянута їх принципова дія. За попередніми розрахунками потреби у тепловій енергії для функціонування системи опалення котеджу проведено вибір теплового насосу.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи отримані наступні результати:

1) Проаналізовано енергетичний потенціал розвитку ВДЕ в Україні, на основі чого встановлено, що країна має досить високий потенціал усіх видів ВДЕ, а найбільший має сонячна та вітроенергетика.

2) Виявлені основи побудови розосередженої енергетики. Проаналізовані компоновки комплексних гібридних систем ВДЕ. Визначені можливості застосування різних комбінацій КС ВДЕ.

3) Визначені принципи побудови енергоефективних будинків.

4) Проаналізовані критерії ефективності та оптимальності КС ВДЕ. Визначено, що метою багатофакторного аналізу є практично встановлення залежності між вхідними та вихідними параметрами, що описує поведінку досліджуваного об'єкта, а саме КС ВДЕ. Виявлено, що головним завданням у процесі вибору складу ВДЕ у комплексній системі у кожному конкретному випадку є оптимальне поєднання параметрів потужності та її перерозподіл між видами ВДЕ при мінімальній вартості генерації одиниці енергії.

5) Показана можливість встановлення комплексної системи ВДЕ для забезпечення електропостачання котеджу у м. Одеса електроенергією та тепловою енергією.

6) Виконано повний розрахунок комбінованої системи з ВДЕ. Обране основне обладнання ФЕС та ВЕУ. Розроблена система має позитивний енергетичний баланс та великий потенціал для розвитку як генеруючих потужностей ВДЕ так і навантаження споживача.

Всі технічні рішення, що прийняті в роботі є обґрунтованими і повністю відповідають умовам екологічності та безпечності з експлуатації об'єкту.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковальов І.О. Альтернативні джерела енергії України: навч. посіб./ І.О.Ковальов, О.В. Ратушний. - Суми: Вид-во СумДУ, 2015. – 201 с
2. Burton, D. Sharpe, N. Jenkins, and E. Bossanyi. Wind Energy Handbook. London: Wiley, 2021. (дата звернення: 11.10.2022)
3. Юрій Шафаренко. РОЗВИТОК ВДЕ В УКРАЇНІ. URL: [https://saee.gov.ua/sites/default/files/SAEE\\_VDE\\_26.03.2021\\_0.pdf](https://saee.gov.ua/sites/default/files/SAEE_VDE_26.03.2021_0.pdf) (дата звернення: 12.10.2022).
4. У 2020 році встановлена потужність ВЕС та СЕС зросла на 41%, а їхня частка у структурі виробництва електроенергії — вдвічі. Укренерго, 2021. URL: <https://ua.energy/zagalni-novyny/u-2020-rotsi-vstanovlena-potuzhnist-ves-ta-ses-zrosla-na-41-a-yihnya-chastka-u-strukturi-vyrobnytstva-elektroenergiyi-vdvichi/> (дата звернення: 12.10.2022).
5. Активний будинок. URL: <https://alternative-energy.com.ua/uk/vocabulary/активний-будинок/> (дата звернення: 25.10.2022).
6. Проектування котеджу: які документи потрібні для будівництва. URL: <https://www.maximuscentr.com.ua/dokumenty-dlia-budivnytstva/> (дата звернення: 20.11.2022).
7. Автономні сонячні електростанції. URL: <https://voltenergy.com.ua/autonomous-spp/> (дата звернення: 30.11.2022).
8. Типи і види теплових насосів. URL: [https://dimplex.org.ua/ua/blog/tipy-teplovyyh-nasosov-kakie-oni-byvayut#:~:text=Вода%20\(розсіл\)%20виступає%20в%20ролі,-вода%20\(водяний%20ТН\).](https://dimplex.org.ua/ua/blog/tipy-teplovyyh-nasosov-kakie-oni-byvayut#:~:text=Вода%20(розсіл)%20виступає%20в%20ролі,-вода%20(водяний%20ТН).) (дата звернення: 30.11.2022).
9. Теплові насоси – види, характеристики, функції. URL: <https://mostcom.com.ua/ru/teplovi-nasosi-vidi-harakteristiki-funktsiyi> (дата звернення: 28.11.2022).

10. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. — К.: Основа, 2006 — 448 с.

11. Третьяков О. Охорона праці: навч. посібник / О. В. Третьяков, В. В. Зацарний, В. Л. Безсонний ; ред. К. Н. Ткачук. — К. : Знання, 2010. - 168 с.

## ДОДАТОК А

### ОХОРОНА ПРАЦІ

#### Техніка безпеки при експлуатації ФЕС

Для забезпечення безпеки при обслуговуванні ФЕС і запобігання пошкодження технологічного обладнання конструкцією кожного елементу сонячної електростанції передбачено комплекс заходів і відповідні системи попередження і захисту, до яких відноситься:

- застосування відповідного захищеного електротехнічного обладнання;
- система заземлення;
- система блискавкозахисту.

Для захисту людей від ураження електричним струмом передбачається захисне заземлення, захисне відключення та вирівнювання потенціалів.

Приймаючи до уваги особливості компоновки обладнання сонячної електростанції, проектом передбачена децентралізована система заземлення, яка захищає від ураження електричним струмом при ударі блискавки та пошкодженні ізоляції електрообладнання.

З метою захисту або мінімізації впливу на електротехнічні, електронні системи і підсистеми та елементи електростанції і забезпечення безпеки обслуговуючого персоналу, при проектуванні передбачені відповідні заходи по блискавкозахисту.

Будівельні конструкції і обладнання сонячної електростанції виготовляються із морозостійких матеріалів. Для систем охолодження не застосовуються речовини, які можуть замерзати при низьких температурах.

Споруди електростанції не потребують додаткових заходів щодо захисту від небезпечних природних чинників.

Сонячна електростанція повинна бути негайно відключена і зупинена дією автоматичних захистів або експлуатаційним персоналом в наступних випадках:

- перевищення температури контрольованих вузлів понад допустиме значення;
- виникнення коротких замикань у системі генерування;
- перевантаження елементів понад допустимі значення;
- виникнення ситуації, небезпечної для обслуговуючого персоналу;
- при несприятливих зовнішніх умовах, у разі несправностей системи діагностики, технологічних і електричних захистів, у випадку сейсмічних та інших природних впливів (обледеніння, град, снігопад), які не перевищують допустимі показники, наведені в заводській документації.

Можливість виникнення та розвитку аварій, які б могли стати ризиком для обслуговуючого персоналу і місцевого населення, залежить від ряду факторів та збігу обставини. До специфічних факторів ризику для здоров'я і безпеки населення, характерних для об'єктів сонячної енергетики відноситься, в основному, несанкціоновані дії сторонніх осіб в охоронних зонах.

При несприятливих метеорологічних умовах (сильні вітри та високі температури навколишнього повітря) в поєднанні з сухою рослинністю існує потенційний ризик виникнення пожежі. Пожежу може спричинити коротке замикання, недостатнє або неякісне технічне обслуговування обладнання, блискавка. Прийняті в проекті обладнання і матеріали сонячної електростанції відповідають міжнародним стандартам, тому фактор ризику виникнення такої надзвичайної ситуації мінімальний.

У випадку надзвичайної ситуації (пожежа або загоряння) необхідне застосування негайних заходів для запобігання розвитку аварії, забезпечення безпеки людей, збереження обладнання і відновлення нормального режиму роботи.

### **Вимоги до електробезпеки фотоелектричних панелей**

При обслуговуванні та експлуатації сонячних фотоелектричних установок повинно забезпечуватися всі вимоги до умов електробезпеки електроустановок напругою до 1000 В, у тому числі:

- захист персоналу від дії електричного струму;
- захист персоналу, що обслуговує, від максимальних струмів;
- захист персоналу від термічного впливу електричного струму (у разі виникнення електричної дуги);
- захист силових перетворювачів СФУ (інверторні перетворювачі) від струмів нульової послідовності;
- обов'язкове застосування заземлювальних пристроїв та вирівнювання потенціалів у місці встановлення сонячних панелей;
- захист від атмосферного та комутаційного перенапруги, шляхом використання блискавковідводу та захист від зростання напруги.

Особливості електробезпеки фотоелектричних панелей:

1. Незалежно від інтенсивності природного світлового потоку, сонячні панелі можуть завжди перебувати під напругою, оскільки в цих пристроях немає можливості їхнього повного відключення за власним бажанням.

Фотоелектричні панелі можуть становити небезпеку навіть при освітленні світла місяця та інших джерел. Вдень на окремі модулі сонячних панелей величина електричного струму та напруги зростає до максимального значення.

2. Різниця між струмом пошкодження та максимального робочого струму незначно, тому спрацювання захисних апаратів не забезпечується. Тому потрібна висока чутливість апарату захисту. При правильному розрахунку та виборі параметрів пристроїв захисту сонячних фотоелектричних установок виключається можливість помилкової дії.

До обслуговування апаратів сонячних станцій з номінальною напругою вище 1 кВ постійного струму допускається висококваліфіковані спеціалісти із застосуванням засобу індивідуального захисту.

На дахах будівлі та споруді різного виду та призначення дозволяється установка сонячних фотоелектричних станцій напругою до 1 кВ.

Для зниження ймовірності виникнення однофазного замикання та міжфазного короткого замикання провідників сонячних фотоелектричних установок мають бути застосовані надійні ізоляції. Таким чином, знижується

ймовірність виникнення замикання струмопровідних частин фотоелектричних станцій.

Як завжди, коротке замикання в електроустановках призводить до суттєвого зростання електричного струму в електричних мережах, що сприяє спрацювання захисних апаратів: спрацювання теплового реле та автоматичних вимикачів; перегорання плавких вставок запобіжників.

Усі захисні апарати фотоелектричних станцій повинні діяти селективно. Для забезпечення селективності подальших захистів необхідно вести їхнє узгодження. Селективність захисних апаратів напругою до 1 кВ здійснюють за часом і струмом спрацювання.

Проектування, виготовлення та експлуатація сонячних панелей здійснюють з обов'язковим дотриманням вимог основних технічних заходів забезпечення електробезпеки у установках постійного струму.

Установка та обслуговування сонячних електричних станцій повинні виконуватись лише висококваліфікованим технічним персоналом, який має доступ до роботи з електроустановкою напругою понад 1 кВ.

### **Розрахунок заземлення ФЕС**

Ступінь електробезпеки об'єктів енергетичного призначення визначається при врахуванні факторів, що впливають на електротехнічні стани електрообладнання різного виду та призначення. При визначенні ступеня електробезпеки сонячних фотоелектричних установок потрібно більше всього приділяти увагу на технічний стан заземлювальних пристроїв та на стан ізоляції силових кабелів. Оскільки рівень напруги до інвертора не вважається небезпечним тіла людини.

Визначаємо корозійність ЗУ, що перебуває в експлуатації протягом 2 років з наступними параметрами:

- довжина вертикального електрода  $L_B = 4$  м;
- кількість вертикальних електродів  $n_B = 4$ ;

- перетин вертикального електрода  $S_B = 23760 \text{ мм}^2$ ;
- сумарна довжина горизонтальних електродів 6 м;
- переріз горизонтальних електродів  $S_r = 50,27 \text{ мм}^2$ ;
- середнє значення вологості ґрунту за період експлуатації у місці знаходження заземлювальних електродів 16,5%;
- середнє значення струмів, що протікають по заземлюючих електродів (блукаючі струми або струми нульової послідовності).

Загальна довжина вертикальних електродів:

$$L_{\Sigma e} = L_e \cdot n_e = 4 \cdot 4 = 16 \text{ м}.$$

Загальна маса вертикальних електродів:

$$m_e = L_{\Sigma e} \cdot S = 16 \cdot 23,76 = 380,16 \text{ кг}.$$

Загальна маса горизонтальних електродів:

$$m_z = L_z \cdot S = 6 \cdot 4 = 24 \text{ кг}.$$

Загальна маса вертикальних та горизонтальних електродів:

$$m_{\Sigma} = m_e + m_z = 380,16 + 24 = 404,16 \text{ кг}.$$

Визначаємо кодоване значення вологості ґрунту та блукаючого струму.

Кодоване значення вологості ґрунту:

$$X_1 = \frac{x_{in} - x_{i0}}{\lambda_i} = \frac{16,5 - 0}{30} = 0,55.$$

Кодоване значення блукаючого струму:

$$X_2 = \frac{x_{in} - x_{i0}}{\lambda_i} = \frac{113 - 0}{150} = 0,753.$$

Визначення втрати маси електродів, що заземлюють, і зміна опору розтіканню струму для десяти діб проводяться за рівняннями ( $y_1$  і  $y_2$ ):

$$y_1 = 0,1525 - 0,0205 \cdot 0,55 - 0,02359 \cdot 0,753 + 0,0138 \cdot 0,55^2 - 0,0568 \cdot 0,753^2 - 0,08338 \cdot 0,55 \cdot 0,753 = 0,081326\%$$

$$y_2 = 5,932 - 0,76928 \cdot 0,55 - 1,01368 \cdot 0,753 + 0,0138 \cdot 0,55^2 - 0,0568 \cdot 0,753^2 - 2,72325 \cdot 0,55 \cdot 0,753 = 2,07309\%$$

Визначаємо коефіцієнт часу для  $y_1$  та  $y_2$ .

$$k_{e1} = \frac{y_1}{n} = \frac{0,081326}{10} = 0,008133\%/добу$$

$$k_{e2} = \frac{y_2}{n} = \frac{2,07309}{10} = 0,207309\%/добу$$

Визначаємо втрату маси ЗУ, що перебуває в експлуатації протягом 2-х років.

$$\Delta m = k_{e1} \cdot T = 0,008133 \cdot 730 = 5,93709\%$$

Таким чином, можна зробити висновок, що заземлювальні електроди, що знаходяться в експлуатації протягом 2-х років, при вищевказаній вологості ґрунту і наявності блукаючих струмів через корозію втратять масу приблизно на 6 відсотків.

Під час розробки проектів сонячних станцій обов'язково має передбачатися конфігурація заземлювачів та його основні параметри. З цілю забезпечення електробезпеки в мережах, що мають сонячні станції, необхідно розглядати:



- заземлення металевих оболонок силових кабелів, підключених після інверторного перетворювача;
- заземлення металевих частин електрообладнання, які можуть опинитися під впливом атмосферного та комутаційного перенапруги.

Для забезпечення надійного контакту з землею та вирівнювання потенціалів необхідно насамперед розглядати можливість використання природних заземлювачів.

Якщо на фотоелектричній панелі використовується подвійна ізоляція, то застосування пристроїв заземлення не вважається обов'язковим. Також, застосування заземлюючих пристроїв при низькій ймовірності атмосферного перенапруги вважається обов'язковим.

Як було зазначено вище, силові кабелі (постійного та змінного струму) заземлювальних пристроїв повинні бути заземлені, оскільки є ймовірність попадання атмосферних напруг у їх оболонку. Відсутність заземлення в цих частинах сонячних станцій можуть призвести до появи понад високої напруги, яка може порушувати всі струмопровідні частини електрообладнання і створити небезпеку обслуговуючого персоналу.

Для забезпечення умови електробезпеки один полюс усіх сонячних панелей повинні бути наглухо заземлені.

Для того щоб уникнути від корозійного руйнування елементів заземлювальних пристроїв і конструктивних частин сонячних станції необхідно заземлювати позитивний полюс постійного струму (до інверторного перетворювача).

Застосування заземлювальних пристроїв у сонячних електричних мережах спрощує схеми захист від замикання та коротких замикань на землю.

### **Техніка безпеки при монтажі ВЕУ**

Обертові лопасті є найбільшим механічним джерелом небезпеки. Лопасті ротора вітрогенератора виготовлені з дуже міцного склопластику. Швидкість

руху кінцевих точок лопастей перевершує 400 км/год. При такій швидкості кінці лопастей майже невидимі і можуть завдати серйозних травм. Ні в якому разі не слід встановлювати турбіну в таких місцях, де можливий контакт людини з рухомими лопастями ротора.

Не можна встановлювати турбіну в місцях проживання рідкісних птахів або на шляху їх імміграції.

При установці вітрогенератора потрібно враховувати шумові вібрації. Не можна встановлювати ВЕС в безпосередній близькості житлових будинків. При установці на відкритих територіях низькочастотний шум може змусити тварин і птахів покинути місця свого проживання. Це може привести до розмноження комах, в тому числі і шкідників.

Вітрогенератор обладнаний складними електронними пристроями, при розробці яких забезпечувався захист від електричних джерел небезпеки, пов'язаних з надмірними струмами. При підключенні цих та будь-яких інших електротехнічних пристроїв потрібно пам'ятати, що неминучі ризики, створювані для людей протіканням електричного струму.

Виділення тепла в системах електротехнічного монтажу часто є результатом протікання надмірного струму по проводах з недостатнім перерізом або через погані контакти.

Акумулятори можуть викидати струми небезпечної величини. У разі короткого замикання в проводах, що йдуть від акумулятора, може виникнути пожежа. Щоб усунути цей ризик, необхідно встановити в колах, що підключаються до акумулятора, плавкі запобіжники або автоматичні вимикачі відповідного номіналу.

Операції по установці слід виконувати на рівні землі. Протягом всього процесу установки акумулятори повинні бути від'єднані.

В процесі установки повинні бути дотримані наступні вимоги техніки безпеки: - для роботи потрібно вибрати безвітряний день (швидкість вітру 0 ... 4 м/с); - необхідно, щоб хтось був готовий надати допомогу в процесі установки; - від'єднати від акумулятора проводи, що йдуть від турбіни.

Перш, ніж підключати проводи до акумулятора, потрібно з'єднати між собою вихідні проводи вітротурбіни, щоб виключити можливість розгону ротора в ході установки.

Підйом вітроагрегату проводити тільки в загальмованому стані, вітроколесо має бути прив'язане до вежі. Майданчик під вітроагрегат повинен бути не менше 15х15м і звільнений від сторонніх предметів. Не дозволяється, перебувати під вітроагрегатом під час його підйому або опускання.

### **Заходи з безпеки праці під час експлуатації вітроенергетичної установки**

Необхідно регулярно перевіряти опорні конструкції, лопасті і електричні системи.

Лопасті ротора дуже міцні, проте, якщо вони увійдуть в контакт з твердим предметом, вони можуть зламатися. Щоб забезпечити безпечну роботу, при виборі місця для турбіни необхідно виключити подібні контакти.

При виконанні періодичних перевірок або в будь-який час, коли доведеться опинитися на шляху руху лопастей, проводи електроживлення від акумуляторів потрібно від'єднати і з'єднати один з одним вихідні проводи вітротурбіни, щоб зупинити (загальмувати) обертання лопастей.

Для нових турбін потрібний короточасний період обкатки. Підшипникам, які встановлені як в осі поворотного пристрою турбіни, так і в роторі турбіни, потрібно 60-100 годин експлуатації при нормальній швидкості вітру (приблизно 8-9 м/с), і лише після цього вони досягнуть повної ефективності.

Під час експлуатації необхідно вживати заходів, що захищають вітрогенератор від природних явищ. Правильна установка фундаменту. Якщо фундамент вежі неправильно розрахований, або неправильно влаштований дренаж фундаменту, щогла від сильного пориву вітру може впасти.

При низьких температурах необхідно вжити заходів проти обмерзання.

Обледеніння здатне збільшити масу лопастей і знизити ефективність роботи вітрогенератора. Для експлуатації при низьких температурах частини вітрогенератора повинні бути виготовлені зі спеціальних морозостійких матеріалів. Рідини, що використовуються в генераторі, не повинні замерзати.

Може замерзнути обладнання, яким заміряють швидкість вітру. В цьому випадку ефективність вітрогенератора може серйозно знизитися. Через обледеніння прилади можуть показувати низьку швидкість вітру, і ротор залишиться нерухомим.

Удари блискавок: в вітрогенераторі передбачено грозовий захист. На гондолі вітрогенератора встановлений спеціальний загострений штир-блискавковідвід, а також влаштовано відповідне стандартам і нормативам заземлення. Необхідно стежити за станом заземлення. При порушеному заземленні удари блискавок можуть призвести до пожежі.

Пожежі: пожежа може виникнути через удар блискавки, тертя обертових частин всередині гондоли, витоку масла з гідравлічних систем, обриву кабелів і т.д. Пожежі вітрогенераторів рідкісні, але їх важко гасити через віддаленості вітряних електростанцій і великої висоти, на якій відбувається пожежа. На сучасних вітрогенераторах встановлюються системи пожежогасіння.

### **Безпека в надзвичайних ситуаціях**

Пожежа завдає величезної матеріальної шкоди. Всі працюючі повинні проходити спеціальну протипожежну підготовку:

- протипожежний інструктаж (первинний і вторинний);
- заняття з пожежно-технічного мінімуму за спеціальною програмою.

Причинами пожежі в електроустановках є:

- іскріння в електричних машинах і апаратах;
- струми короткого замикання і перевантаження, що приводять до займання ізоляції;
- іскріння від електростатичних розрядів і ударів блискавки;

- погані контакти в з'єднаннях проводів;
- електродуги між контактами комутаційних апаратів;
- електродуги під час зварювальних робіт;
- перевантаження або замикання в обмотках трансформатора при несправності релейного захисту;
- аварії з багатооб'ємними масляними вимикачами, що супроводжуються викидом продуктів розкладання масла і сумішей їх з повітрям.

Причинами пожеж неелектричних характеру можуть бути:

- необережне поводження з вогнем при газозварювальних роботах або роботах з паяльною лампою;
- несправності печей і опалювальних приладів;
- несправності виробничого обладнання (нагрів підшипників, механічне іскріння);
- самозаймання деяких матеріалів.

Якщо палаюча електроустановка не відключена і знаходиться під напругою, то гасіння її становить небезпеку ураження електричним струмом.

Як правило, гасити ручними засобами пожежу електроустаткування слід при нятій з нього напрузі. Якщо зняти напругу неможливо, то допускається гасіння установки, що знаходиться під напругою, але з дотримання особливих заходів.

Порошковий вогнегасник типу ОПС-10 наповнений в якості вогнегасного засобу сухим порошком (кальцинована або двовуглекисла сода, поташ та ін.).

Вогнегасник складається з балона місткістю 10 л, заповненого вогнегасним порошком. До корпусу прикріплений балон з інертним газом (азот), що знаходиться під тиском близько 15 МПа. При відкриванні вентиля порошок з балона напором газу виштовхується в шланг, а потім через розтруб подається до вогнища загоряння.

Усі працюючі проходять спеціальну протипожежну підготовку:

- протипожежний інструктаж (первинний і вторинний);
- заняття з пожежно-технічного мінімуму за спеціальною програмою.

На підприємствах для працюючих навколишнім середовищем є повітря робочих зон і прилеглих до них територій. Дуже важливу роль відіграє мікроклімат виробничих приміщень, який характеризується діючим на організм людини поєднанням температури, вологості, швидкості руху повітря, а також тепловим і електромагнітними випромінюванням, вмістом в повітрі шкідливих речовин і наявністю певного рівня шуму і вібрацій.

Найважливішою складовою частиною повітря є кисень, необхідний для існування всієї живої природи. Основний виробник кисню рослинність. Тому для підтримки необхідної кількості кисню в атмосфері слід вживати заходів до збереження і розширення рослинного світу, в першу чергу лісів, необхідно збільшувати площі зелених насаджень в населених пунктах, а також на території захисних зон навколо виробничих будівель і промислових підприємств в цілому. З метою запобігання та обмеження негативного впливу вітроенергетичних установок необхідно проводити наступні заходи:

- враховувати характер ландшафту при розміщенні вітрогенераторів;
- при виборі місця розміщення вітрогенератора враховувати його вплив сприйняття під усіма відповідними кутами спостереження;
- підтримувати однаковий розмір і конструкцію вітрогенератора (наприклад, напрямок обертання, висоту);
- рівень шуму можна обмежити за рахунок використання турбін зі змінною швидкістю або лопастей із змінним кутом нахилу, що дозволяє знизити швидкість обертання.

## ДОДАТОК Б

### ПОТЕНЦІАЛ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ

Таблиця Б1 – Потенціал сонячної енергії

| Область           | Потенціал сонячної енергії,<br>МВт×год/рік    |                                               |                                                              |
|-------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|                   | Загальний<br>потенціал<br>(×10 <sup>6</sup> ) | Технічний<br>потенціал<br>(×10 <sup>7</sup> ) | Доцільно-<br>економічний<br>потенціал<br>(×10 <sup>5</sup> ) |
| Вінницька         | 30,8                                          | 14,8                                          | 2,3                                                          |
| Волинська         | 21,8                                          | 10,5                                          | 1,6                                                          |
| Дніпропетровська  | 37,6                                          | 18                                            | 2,8                                                          |
| Донецька          | 33                                            | 15,8                                          | 2,5                                                          |
| Житомирська       | 32,3                                          | 15,5                                          | 2,4                                                          |
| Закарпатська      | 15,5                                          | 7,5                                           | 1,2                                                          |
| Запорізька        | 34,8                                          | 16,7                                          | 2,6                                                          |
| Івано-Франківська | 16,4                                          | 7,9                                           | 1,2                                                          |
| Київська          | 31,5                                          | 15,5                                          | 2,4                                                          |
| Кіровоградська    | 28,8                                          | 13,8                                          | 2,2                                                          |
| Луганська         | 34                                            | 16,3                                          | 2,5                                                          |
| Львівська         | 25,4                                          | 12,2                                          | 1,9                                                          |
| Миколаївська      | 32,5                                          | 15,6                                          | 2,4                                                          |
| Одеська           | 45,4                                          | 21,8                                          | 3,4                                                          |
| Полтавська        | 31,9                                          | 15,3                                          | 2,4                                                          |
| Рівненська        | 21,8                                          | 10,5                                          | 1,6                                                          |
| Сумська           | 26                                            | 12,5                                          | 2,0                                                          |
| Тернопільська     | 16,3                                          | 7,8                                           | 1,2                                                          |
| Харківська        | 35,4                                          | 17                                            | 2,7                                                          |
| Херсонська        | 38,4                                          | 18,4                                          | 2,9                                                          |
| Хмельницька       | 24,3                                          | 11,6                                          | 1,8                                                          |
| Черкаська         | 24,2                                          | 11,6                                          | 1,8                                                          |
| Чернівецька       | 9,6                                           | 4,6                                           | 0,7                                                          |
| Чернігівська      | 34,2                                          | 16,4                                          | 2,6                                                          |
| АР Крим           | 36,5                                          | 17,5                                          | 2,7                                                          |
| Всього            | 718,4                                         | 345,1                                         | 53,8                                                         |

Таблиця Б2 – Потенціал вітрової енергії

| № району | Середньорічна швидкість вітру, м/с | Висота, м | Природний потенціал вітру, кВт×год/м²×рік | Технічно-досяжний потенціал вітру, кВт×год/м²×рік |
|----------|------------------------------------|-----------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| 1        | менше 4,5                          | 15        | 1120                                      | 200                                               |
|          |                                    | 30        | 1510                                      | 280                                               |
|          |                                    | 60        | 2030                                      | 375                                               |
|          |                                    | 100       | 2530                                      | 460                                               |
| 2        | 4,5                                | 15        | 2010                                      | 390                                               |
|          |                                    | 30        | 2710                                      | 520                                               |
|          |                                    | 60        | 3640                                      | 700                                               |
|          |                                    | 100       | 4540                                      | 850                                               |
| 3        | 5,0                                | 15        | 2810                                      | 520                                               |
|          |                                    | 30        | 3790                                      | 690                                               |
|          |                                    | 60        | 5100                                      | 860                                               |
|          |                                    | 100       | 6350                                      | 975                                               |
| 4        | більше 5,0                         | 15        | 3200                                      | 620                                               |
|          |                                    | 30        | 4320                                      | 830                                               |
|          |                                    | 60        | 5810                                      | 1020                                              |
|          |                                    | 100       | 7230                                      | 1150                                              |

До району №1 належать Закарпатська, Івано-Франківська, Львівська, Волинська, Тернопільська, Чернівецька, Рівненська, Хмельницька, Житомирська, Вінницька, Київська, Чернігівська, Черкаська та Сумська області. До району №2 - Кіровоградська, Дніпропетровська, Полтавська та Харківська області. До району №3 належать Одеська, Херсонська, Запорізька, Донецька, Луганська та Миколаївська області. До району №4 – АР Крим та район Карпат.

Таблиця Б3 – Потенціал енергії низькопотенціальної теплоти ґрунту та ґрунтових вод

| Область           | Потенціал низькопотенціальної теплоти ґрунту та ґрунтових вод, тис. МВт·год/рік |                     |                                |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------|
|                   | Загальний потенціал                                                             | Технічний потенціал | Доцільно-економічний потенціал |
| Вінницька         | 4731                                                                            | 3379                | 513                            |
| Волинська         | 3321                                                                            | 2372                | 290                            |
| Дніпропетровська  | 15438                                                                           | 11027               | 424                            |
| Донецька          | 15422                                                                           | 11015               | 2656                           |
| Житомирська       | 3374                                                                            | 2410                | 428                            |
| Закарпатська      | 5093                                                                            | 3638                | 79                             |
| Запорізька        | 3833                                                                            | 2738                | 355                            |
| Івано-Франківська | 5532                                                                            | 3951                | 51                             |
| Київська          | 12966                                                                           | 9262                | 192                            |
| Кіровоградська    | 3720                                                                            | 2657                | 833                            |
| Луганська         | 10571                                                                           | 7551                | 1958                           |
| Львівська         | 11941                                                                           | 8529                | 203                            |
| Миколаївська      | 3441                                                                            | 2458                | 117                            |
| Одеська           | 4015                                                                            | 2868                | 195                            |
| Полтавська        | 9163                                                                            | 6545                | 162                            |
| Рівненська        | 3106                                                                            | 2219                | 225                            |
| Сумська           | 4492                                                                            | 3208                | 239                            |
| Тернопільська     | 3819                                                                            | 2728                | 194                            |
| Харківська        | 12125                                                                           | 8661                | 153                            |
| Херсонська        | 2597                                                                            | 1855                | 172                            |
| Хмельницька       | 4438                                                                            | 3170                | 171                            |
| Черкаська         | 4286                                                                            | 3061                | 476                            |
| Чернівецька       | 2149                                                                            | 1535                | 123                            |
| Чернігівська      | 3930                                                                            | 2807                | 149                            |
| АР Крим           | 4027                                                                            | 2877                | 206                            |
| Всього            | 157530                                                                          | 112521              | 10564                          |