

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ  
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА  
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

другого (магістерського) рівня освіти

на тему:

**„СИСТЕМА КОМБІНОВАНОГО ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ  
ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБЛАДНАННЯ  
ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ”**

Виконав: студент 2 курсу групи Ен-62  
спеціальності 141 „Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка”

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Дуфанець Т.І.

(підпис)

(Прізвище та ініціали)

Керівник: \_\_\_\_\_ Кригуль Р. Є.

(підпис)

(Прізвище та ініціали)

Рецензент: \_\_\_\_\_ Пташник В.В.

(Прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА  
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) рівень  
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С. В.  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я**

на кваліфікаційну роботу студенту  
Дуфанцю Тарасу Ігоровичу

1. Тема роботи: "СИСТЕМА КОМБІНОВАНОГО ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБЛАДНАННЯ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ"

Керівник роботи: Кригуль Роман Євгенович, к.т.н., доцент

Затверджена наказом по університету від 28.02.2025 року № 140/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 05.12.2025 року.

3. Вихідні дані: Навчальна, наукова, методична та довідкова література. Матеріали мережі "Internet".

4. Перелік питань, які необхідно розробити

4.1. Характеристика об'єкта та інженерних систем.

4.2. Аналіз споживання енергії та оцінка потенціалу відновлюваних джерел енергії.

4.3. Інженерно-технічна реалізація комбінованої системи енергозабезпечення об'єкта.

4.4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

4.5. Обґрунтування прийнятих рішень.

Висновки і пропозиції.

Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Ілюстрації до доповіді виконані у формі презентації.

6. Консультанти розділів роботи:

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта                                            | Підпис, дата   |                  | Відмітка про виконання |
|--------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------------------|------------------------|
|        |                                                                                      | завдання видав | завдання прийняв |                        |
| 4      | Городецький І. М. к.т.н., доцент кафедри управління проектами та безпеки виробництва |                |                  |                        |

7. Дата видачі завдання: 28.02.2025 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| Пор. № | Назва етапів кваліфікаційної роботи                                           | Строк виконання етапів роботи | Відмітка про виконання |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------|
| 1      | Характеристика об'єкта та інженерних систем                                   | 28.02.2025 – 31.03.2025       |                        |
| 2      | Аналіз споживання енергії та оцінка потенціалу відновлюваних джерел енергії   | 1.04.2025 – 31.05.2025        |                        |
| 3      | Інженерно-технічна реалізація комбінованої системи енергозабезпечення об'єкта | 01.06.2025 – 31.08.2025       |                        |
| 4      | Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях                             | 01.09.2025 – 30.09.2025       |                        |
| 5      | Обґрунтування прийнятих рішень                                                | 01.10.2025 – 31.10.2025       |                        |
| 6      | Завершення оформлення ілюстративної частини роботи                            | 01.11.2025 – 30.11.2025       |                        |
| 7      | Завершення роботи в цілому                                                    | 01.12.2025 – 05.12.2025       |                        |

Студент \_\_\_\_\_ Дуфанець Т. І.  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Кригуль Р. Є.  
(підпис)

УДК 620.9:697.7:621.311.243

Дуфанець Т. І. "Система комбінованого енергопостачання житлового будинку з використанням обладнання відновлюваної енергетики". Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський НУВМБ, 2025. 63 с. текстової частини, 13 рисунків, 15 таблиць, 14 джерела.

В кваліфікаційній роботі здійснено розробку структури та обґрунтування параметрів структурних компонентів гібридної системи електропостачання індивідуального житлового будинку, яка реалізується на базі вітроелектричної та фотоелектричної установок з системою накопичення електроенергії. Обґрунтування параметрів енергетичного обладнання виконано на основі аналізу поточного споживання електроенергії досліджуваним об'єктом та оцінки енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії в регіоні дослідження. Для підбраного енергетичного обладнання побудовано енергетичні баланси, які дали змогу обґрунтувати раціональні їх параметри стосовно спільної роботи в складі гібридної установки. Виконано аналіз стану безпеки праці при експлуатації електроенергетичних установок, та розроблено відповідні заходи щодо його покращення. Також розглянуто питання захисту в надзвичайних ситуаціях. На основі економічної оцінки запропонованих варіантів структурних схем виконано кінцеве обґрунтування раціональної структури гібридної установки електропостачання.

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ГІБРИДНА УСТАНОВКА,  
ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, ВІТРОЕЛЕКТРИЧНА УСТАНОВКА,  
ФОТОЕЛЕКТРИЧНА УСТАНОВКА, УСТАНОВКА НАКОПИЧЕННЯ  
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                | Стор.     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| ВСТУП                                                                                                          | 7         |
| <b>1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ТА ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ</b>                                                           | <b>9</b>  |
| 1.1 Характеристика предмету і об'єктів дослідження                                                             | 9         |
| 1.2 Обґрунтування актуальності теми роботи                                                                     | 13        |
| <b>2 АНАЛІЗ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ ТА ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ<br/>ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ</b>                       | <b>15</b> |
| 2.1 Визначення обсягів споживання енергетичних ресурсів житловим<br>будинком                                   | 15        |
| 2.2 Визначення рівня споживання теплової енергії досліджуваним<br>об'єктом для системи гарячого водопостачання | 18        |
| 2.3 Дослідження потенціалу відновлюваних джерел енергії                                                        | 21        |
| <b>3 ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ КОМБІНОВАНОЇ<br/>СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТА</b>                     | <b>29</b> |
| 3.1 Розробка структури гібридної системи енергозабезпечення<br>об'єкта                                         | 29        |
| 3.2 Електрозабезпечення об'єкта за рахунок відновлюваних джерел<br>енергії                                     | 31        |
| 3.3 Енергозабезпечення об'єкта за рахунок гібридної енергетичної<br>системи                                    | 38        |
| 3.4 Обґрунтування параметрів системи накопичення електроенергії                                                | 42        |
| <b>4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</b>                                                     | <b>45</b> |

|     |                                                                                                              |    |
|-----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1 | Аналіз виробничих небезпек під час експлуатації електроенергетичного обладнання                              | 45 |
| 4.2 | Моделювання процесів формування і виникнення виробничих небезпек під час експлуатації енергетичних установок | 47 |
| 4.3 | Розробка заходів запобігання травм і аварій під час енергозабезпечення індивідуального житлового будинку     | 51 |
| 4.4 | Безпека в надзвичайних ситуаціях                                                                             | 52 |
| 5   | ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ                                                                               | 54 |
|     | ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ                                                                                        | 59 |
|     | ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ                                                                                      | 62 |

## ВСТУП

Відновлювана енергетика стає все більш важливим напрямком, який потребує як вивчення, так і розвитку. Переваги цієї галузі енергетики стають все більш очевидними, що зумовлює дуже серйозне ставлення до неї. Динаміка розвитку альтернативних електрогенерувальних систем свідчить, що світова спільнота правильно розуміє, що цей напрямок повинен мати найвищий пріоритет і увагу.

Серед найбільш вживаних енергетичних систем, які відносяться до відновлюваних, і які демонструють найбільшу позитивну динаміку, можна виділити вітроелектричну та фотоелектричну установки. Саме тому в даній роботі прийнято рішення використати енергетичні установки саме цього типу.

Мета роботи – розробка структури та обґрунтування раціональних параметрів структурних компонентів гібридної системи електропостачання індивідуального житлового будинку. Дана система буде реалізована з використанням обладнання відновлюваної енергетики, зокрема, вітроелектричної та фотоелектричної установок. Застосування такої гібридної системи дозволить забезпечити зниження споживання електричної енергії у житловому будинку та підвищить рівень надійності його електропостачання.

Для реалізації поставленої мети кваліфікаційної роботи необхідно здійснити наступне:

1. дослідити обсяги споживання електроенергії у досліджуваному житловому будинку;
2. дослідити наявний природний енергетичний потенціал вітрового потоку та сонячного випромінювання;
3. розробити структуру гібридної системи електропостачання житлового будинку у складі вітроелектричної та фотоелектричної установок;
4. за результатами розробки структури гібридної системи електропостачання житлового будинку та розрахунку параметрів

енергетичних засобів, а також побудови відповідних енергетичних балансів установок, обґрунтувати їх раціональні енергетичні та конструктивні параметри;

5. виконати аналіз стану з охорони праці під час експлуатації енергетичних установок відновлюваної енергетики та розробити відповідні заходи з її покращення;
6. на основі виконаних економічних розрахунків завершити обґрунтування параметрів гібридної системи електропостачання житлового будинку.

**Об’єкт дослідження** – процес власного виробництва та накопичення електроенергії, організований з метою зниження рівня споживання електроенергії з зовнішньої електромережі.

**Предмет дослідження** – структура гібридної системи електропостачання індивідуального житлового будинку, що реалізована на базі обладнання відновлюваної енергетики, зокрема вітроелектричної та фотоелектричної установок, а також обладнання накопичення електроенергії.

# 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ТА ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ

## 1.1 Характеристика предмету і об'єктів дослідження

### 1.1.1 Аналіз регіону розташування об'єкта

Досліджуваний об'єкт – житловий будинок знаходиться у селі Дмитре Львівського району Львівської області. Органом місцевого самоврядування є Щирецька селищна рада.

Географічно село знаходиться на південь від обласного центру на відстані близько 35 км. Так само на південь село знаходиться від центру місцевого самоврядування – села Щирець на відстані 6 км. До найближчого великого міста Миколаїв, відстань становить 13 км (рис. 1.1).

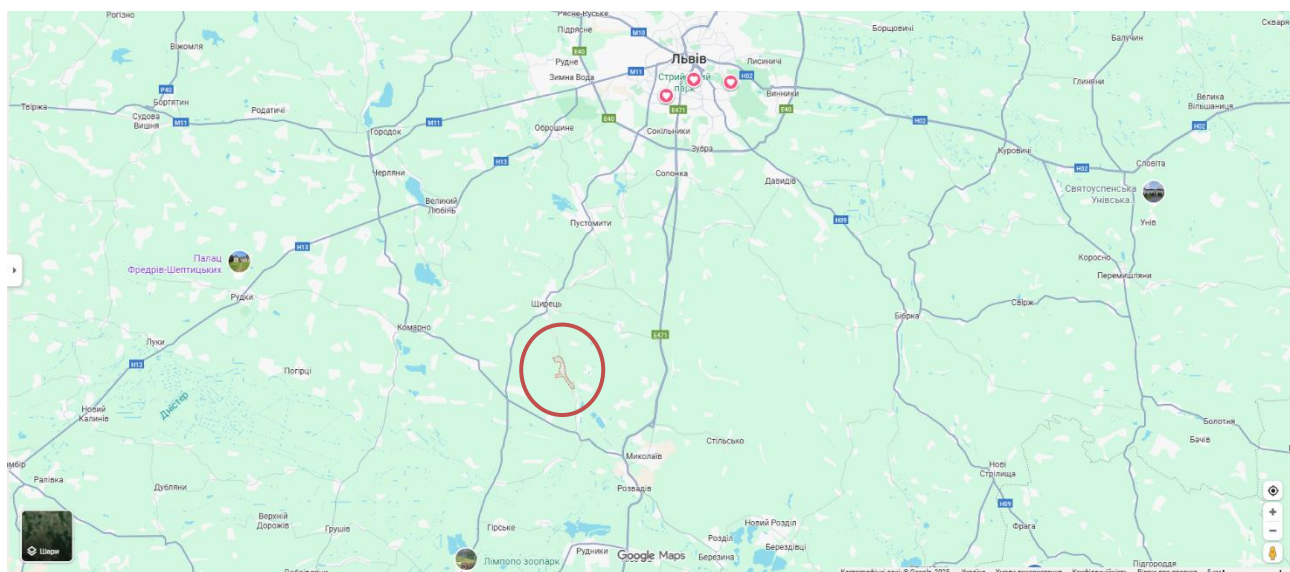


Рисунок 1.1 – Розташування села Дмитре у Львівському районі Львівської області

Село є доволі маленьким. Тут мешкає близько 680 осіб. Хоча історія села розпочалася ще у 15 столітті. Перша згадка про село датується 1417 роком. У польських реєстрах 1515 року було вказано, що у селі обробляється понад 420 га землі та є став, який живиться річкою Щирка.

Досліджуваний об'єкт розміщений південній частині щільної забудови села (рис. 1.2).

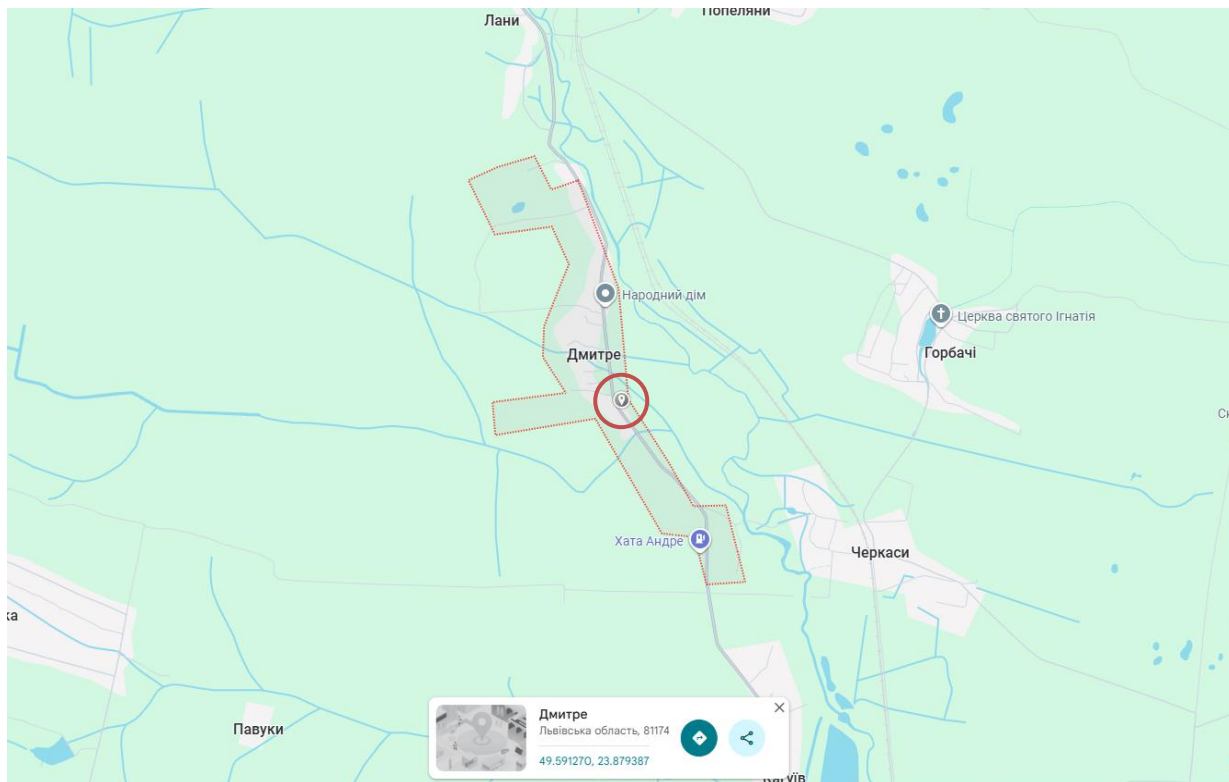


Рисунок 1.2 – Розташування приватного будинку у селі Дмитре

Околиці села Дмитре належать до помірно континентального клімату з помітним впливом Атлантичного океану, що зумовлює м'яку зиму, прохолодне літо та достатню кількість опадів протягом року. Такий тип клімату характерний для західних регіонів України, де переважають повітряні маси морського походження, які приносять вологу та порівняно невеликі сезонні коливання температур.

Температурний режим є доволі помірним. Так, середня температура січня становить близько  $-3...-4$  °С, проте іноді можливі короточасні морози до  $-15$  °С. В літній період спостерігається помірна температура. Так, середня температура липня  $+18...+19$  °С, у спекотні дні температура може сягати  $+30$  °С. Середньорічна температура повітря становить близько  $+7,5$  °С.

Безморозний період триває приблизно 220–230 днів, що позитивно впливає на сільськогосподарські угіддя.

Відомо, що Львівська область характеризується найвищою кількістю опадів серед міст-обласних центрів України. Зокрема, річна кількість опадів становить у середньому 700–800 мм, що є одним із найвищих показників в Україні і підтверджує дощовий клімат досліджуваної території. Найбільше опадів зазвичай випадає влітку (червень–серпень), часто у вигляді злив із грозами. Тоді, як найменше опадів припадає на лютий–березень. Тобто кінець зими та початок весни є доволі сухими. Снігу випадає відносно мало. Так, упродовж року спостерігається лише 70–90 днів із сніговим покривом.

Щодо вологості повітря, то середня відносна вологість повітря становить близько 75–80 %, і може підвищуватися до 85–90 % в зимовий період. Переважаючими вітрами є західні та північно-західні, які приносять вологе повітря з Атлантики. Саме цим можна пояснити такий м'який клімат території. Середня швидкість вітру на висоті флюгера становить 4,15 м/с, а на висоті 50 м становить 6,13 м/с. Така швидкість є цілком задовільною для спорудження малогабаритного вітряка. Тривалість сонячного сяйва становить приблизно 1700–1800 годин на рік, що позитивно може відобразитися на енергетиці сонячної електростанції, яку заплановано спорудити.

Отже, клімат території села є сприятливий як для сільського господарства, так і для розвитку відновлюваної енергетики, проте характеризується підвищеною вологістю, частими опадами й мінливою погодою, особливо навесні та восени.

#### 1.1.2 Загальна характеристика досліджуваного об'єкта

Досліджуваний індивідуальний житловий будинок є спорудою, типовою для сільських поселень, і виконаний із типових матеріалів, які є доступними в регіоні. Зокрема, будинок має один повноцінний поверх з нежитловим піддашшям. Горище використовується як тимчасовий склад для харчових та нехарчових продуктів, речей сім'ї тощо. Для уникнення втрат теплоти підлога

горища має теплову ізоляцію, яка виконана керамзитною засипкою між лагами, на які закріплено підлогу з дошки.

Стіни будинку виконані з керамзитоблоків з товщиною 40 см, і додатково утепленим полістирольними плитами товщиною 10 см. Тобто, теплоізоляційні властивості будинку є цілком задовільні для комфортного перебування, і з незначними витратами на опалення.

Саме опалення реалізоване на базі газового котла, оскільки в селі близько десяти років тому провели централізоване газопостачання. В резерві використовується твердопаливний котел. Дрова для твердопаливного котла заготовляються в місцевому лісгоспі з річним природним сушінням.

Гаряче водопостачання реалізоване з використанням комбінованого бойлера ємністю 150 л, який в зимовий період часу отримує теплову енергію від газового котла, а в літній період – від вбудованого ТЕНа потужністю 2 кВт. Холодне водопостачання реалізоване від індивідуальної насосної установки, оскільки в селі відсутнє централізоване водопостачання. Зокрема, виконано буріння водяної свердловини глибиною 22 м, з встановленням обсадних труб. Подача води здійснюється глибинним водяним насосом, потужністю 1,5 кВт.

Електропостачання реалізоване за класичною схемою, підведенням зовнішніх електромереж по стовпах з напругою 380 В. В будинок виконаний ввід трифазної електромережі з допустимою ввідною потужністю 10 кВт. Ввідний щиток з обліку електроенергії виконаний з використанням ввідного автомата 32 А, трифазного електронного лічильника використаної електроенергії, і який розміщений на електроопорі. В будинку організований внутрішній електрощит, де відбувається розділення потоків на будинок та на господарські будівлі. В будинку використовується однофазна електромережа, а в господарських будівлях та гаражі – трифазна.

## 1.2 Обґрунтування актуальності теми роботи

Споживання енергетичних ресурсів у приватних помешканнях зазвичай не викликають особливих труднощів, за винятком вартісної складової. Система теплопостачання реалізована з використанням відносно ефективних засобів, а утеплення будинку, яке було виконано декілька років тому сприяють ощадному використанню природного газу.

Дещо більшою проблемою є система гарячого водопостачання, яка в літній період часу потребує значних обсягів електроенергії, оскільки вода гріється вбудованим ТЕНом.

Щодо використання електроенергії, то її споживання складно визнати ощадливим, оскільки середньомісячна витрата електроенергії становить понад 400 кВт·год. Причому, основне споживання електроенергії припадає не на саме помешкання, а на господарські будівлі.

Підвищення рівня ефективності використання енергетичних ресурсів, а також забезпечення його надійності є ключовим завданням, яке слід вирішити стосовно досліджуваного об'єкта. Ефективність споживання енергоресурсів може бути вирішено, з одного боку, виконанням організаційних заходів. З другого боку, є очевидним допустити власну генерацію, наприклад, електричної енергії, і тим самим знизити рівень її споживання з зовнішньої електромережі.

Щодо надійності енергопостачання, то, наприклад, система газопостачання є доволі надійним джерелом енергії для потреб теплопостачання в зимовий період. Інша справа електропостачання. Тут існує ризик виникнення бек-аутів, які спричинені руйнуванням інфраструктури електрогенерувальних та електротранспортувальних компаній під час ракетних та шахедних атак з боку росії. Тому, для підвищення рівня надійності електропостачання доцільно запроваджувати системи власної децентралізованої електрогенерації, яка б базувалася на засобах

відновлюваної енергетики із застосуванням систем накопичення електроенергії.

Відновлювана енергетика може стати рушієм не лише створення бізнес-проектів мегаватного класу з комерційного виробництва електроенергії, а й для створення локальних розпорошених енергетичних систем електропостачання об'єктів будь-якого типу, що дозволить знизити навантаження на централізовану електромережу, покращить параметри електричної енергії у централізованій електромережі, підвищити рівень надійності та автономності об'єктів тощо.

Основними напрямками відновлюваної енергетики, які заслуговують на створення локальних систем електропостачання є вітрова та сонячна електроенергетика. Крім того, що ці об'єкти відновлюваної енергетики є доволі доступними та відносно простими в монтажі та експлуатації, вони мають низку переваг відносно інших напрямків. Перш за все, це стосується їх динамічних характеристик помісячної продуктивності, яка визначається природним рівнем доступності відновлюваного енергетичного ресурсу – вітру та сонячної радіації. Якщо, сонячна електростанція добре себе показує у весняно-осінній період, то вітроелектрична установка краще працює у осінньо-весняний період. Тобто, у цих установок спостерігається обернена динамічна характеристика, що може бути позитивно використано для стабілізації виробництва електроенергії.

## **2 АНАЛІЗ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ ТА ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ**

### **2.1 Визначення обсягів споживання енергетичних ресурсів житловим будинком**

Виконання розрахунків щодо заміщення частини споживання енергетичних ресурсів, або ж повного переходу на альтернативне енергозабезпечення вимагає здійснення первинного аналіз поточного обсягу споживання відповідного виду енергетичного ресурсу. Тобто слід виконати дослідження поточної динаміки споживання електричної та теплової енергії в індивідуальному житловому будинку.

В нашому випадку, з врахуванням того, що визначення розмірів енергетичних систем повинен виконуватися на основі помісячних та річних даних, немає сенсу встановлювати засоби моніторингу, які б дозволили чітко проявити динамічні характеристик споживання електроенергії. Тобто, достатнім буде проаналізувати помісячний режим споживання, на основі якого і будуть виконуватися енергетичні розрахунки. Крім того, помісячний аналіз дозволить виявити сезонну динаміку зміни обсягів споживання енергетичних ресурсів, що дозволить більш якісно виконати розробку структури енергетичної системи, а також підібрати відповідне енергетичне обладнання необхідної потужності.

Отже, за даними помісячних рахунків зі сплати за використання енергетичних ресурсів можемо сформувати табличку обсягів споживання електроенергії та природного газу на потреби індивідуального будинку (табл. 2.1).

Отже, за даними табл. 2.1, можна зробити висновок, що обсяги споживання природного газу є відносно невеликими.

Таблиця 2.1 – Споживання електричної енергії та природного газу на потреби індивідуального житлового будинку

| Місяць року  | Електроенергія, кВт·год. | Природний газ, м <sup>3</sup> |
|--------------|--------------------------|-------------------------------|
| Січень       | 604                      | 260                           |
| Лютий        | 550                      | 171                           |
| Березень     | 511                      | 165                           |
| Квітень      | 479                      | 134                           |
| Травень      | 563                      | 88                            |
| Червень      | 297                      | 4                             |
| Липень       | 215                      | 82                            |
| Серпень      | 305                      | 24                            |
| Вересень     | 291                      | 48                            |
| Жовтень      | 366                      | 88                            |
| Листопад     | 327                      | 130                           |
| Грудень      | 438                      | 211                           |
| Разом за рік | 4946                     | 1405                          |

Теплова енергоефективність, в першу чергу, пов'язана із виконанням заходів із утеплення будинку. Так, максимальне споживання природного газу в обсязі 260 м<sup>3</sup> спостерігається у січні місяці. Мінімальне ж значення 4 м<sup>3</sup> припадає на літній місяць червень. Загалом можна виявити, що впродовж року від 24 до 88 м<sup>3</sup> природного газу використовується не для опалення, а для приготування їжі. Відповідно до цього, споживання природного газу у січні на рівні 172 м<sup>3</sup> на потреби опалення можна вважати більш як ощадливим.

Щодо електричної енергії, то даний об'єкт загалом споживає її багато. Середній обсяг місячного споживання електроенергії становить 385 кВт·год. Максимум припадає на січень зі значенням 604 кВт·год., в той час як мінімум на липень зі значенням 215 кВт·год.

Для аналізу сезонної динаміки споживання енергетичних ресурсів виконаємо побудову графічної залежності за даними табл. 2.1 (рис. 2.1).

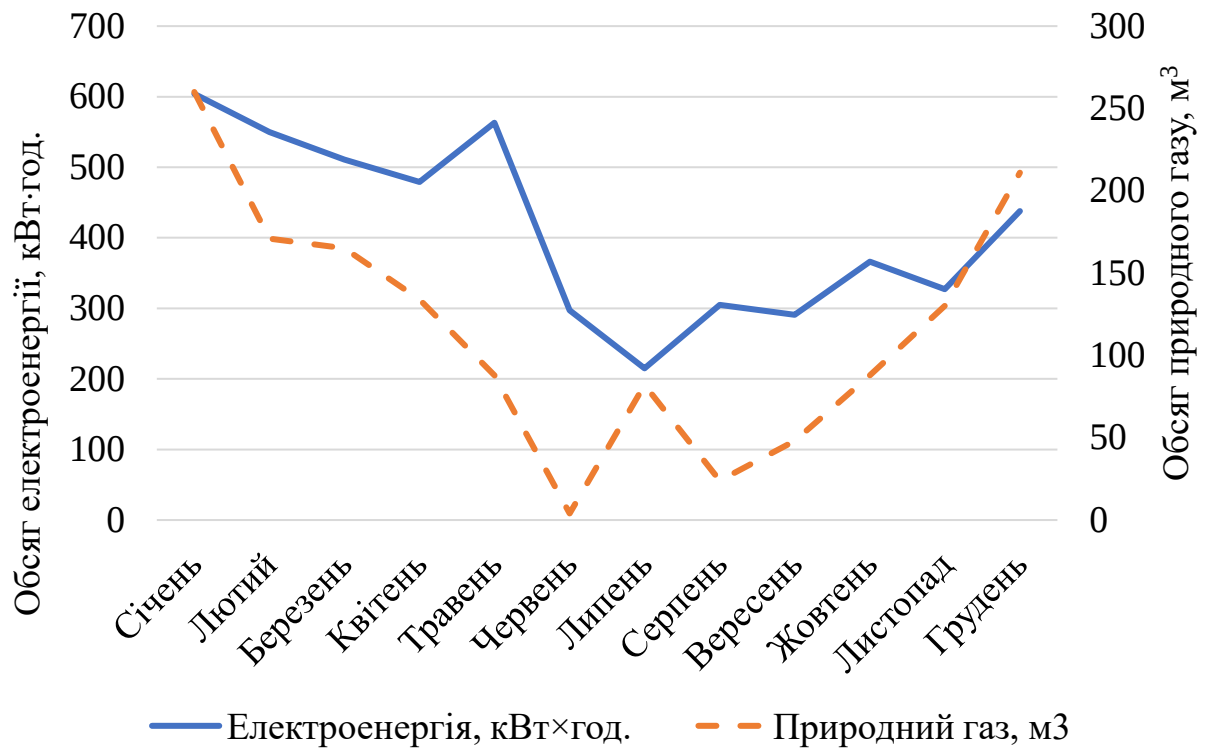


Рисунок 2.1 – Динаміка споживання електричної енергії та природного газу в індивідуальному житловому будинку

Як видно з рис. 2.1, спостерігається чітка тенденція щодо зниження обсягів споживання як електричної енергії, так і природного газу у літні місяці, з відповідним зростанням у зимові. Тобто, більше навантаження припадає на початок і кінець календарного року. В подальшому, доцільно буде оцінювати помісячну динаміку надходження природних енергетичних ресурсів – вітрового потоку та сонячної радіації, щоб оцінити їх відповідність споживанню.

Зважаючи на те, що динаміка надходження сонячної радіації на сприймаючу поверхню має велику різницю впродовж місяців року, і яка може становити майже в три рази, то зрозуміло, що у ці періоди буде виникати значний надлишок. Необхідно вживати певних заходів для його утилізації. Найкращим варіантом утилізації надлишку виробленої електроенергії є перенаправлення її на інші енергетичні процеси, які можуть бути заміщені за

рахунок цього виду енергії. Наприклад, це може бути система гарячого водопостачання, яка, як було вказано раніше, організована на базі комбінованого бойлера з вбудованим електричним ТЕНом. Тобто, такий варіант є цілком прийнятним для умов отримання певного надлишку виробництва електроенергії, зважаючи на те, що в літні місяці для потреб гарячого водопостачання не використовується природний газ. З іншого боку, за наявності надлишку електроенергії в осінні та весняні місяці цілком доцільно було б застосувати надлишок електроенергії для зменшеного рівня споживання природного газу. Тобто, нам слід провести розрахунок помісячного рівня споживання енергії для нагріву води, що дозволить виявити ту частку енергії, яка може бути перенаправлена у випадку формування надлишку гібридної енергетичної системи.

## **2.2 Визначення рівня споживання теплової енергії житловим будинком для системи гарячого водопостачання**

В основі технологічного розрахунку систем гарячого водопостачання є процедура визначення обсягів споживання теплової енергії, яку необхідно спожити для нагріву води від початкового значення, яке визначається температурою ґрунту до заданої або нормативної температури, яку потребує користувач гарячої води.

Добова тепла потреба в тепловій енергії (природний газ, або електроенергія) для системи гарячого водопостачання може бути визначена за формулою:

$$Q_{\text{гв}}^i = 1,2 \cdot c_p \cdot \rho \cdot V \cdot (t_{\text{гв}} - t_{\text{хв}}) \cdot k_c, \text{ кДж.} \quad (2.1)$$

де  $c_p$  – 4,19 кДж/кг·град – питома теплоємність води;  $\rho$  = 1,0 кг/л – густина води;  $V$  – обсяг споживання гарячої води досліджуваним об'єктом впродовж доби, л;  $t_{\text{гв}}$  = 55 °С – температура гарячої води, яку необхідно забезпечити в баку-акумуляторі, °С;  $t_{\text{хв}}$  – температура холодної води (на взоді в бак), °С;  $k_c$  – коефіцієнт сезонної нерівномірності споживання гарячої води.

Розрахунки проводимо для всіх місяців року і заносимо результати у табл. 2.2. Отже, для січня потреба в тепловій енергії для системи гарячого водопостачання, в добовому циклі, становитиме

$$Q_{\text{зб}}^{\partial} = 1,2 \cdot 4,19 \cdot 150 \cdot (45 - 7,6) \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 28,21 \text{ МДж.}$$

Таблиця 2.2 - Результати розрахунку споживання теплової енергії для системи гарячого водопостачання індивідуального житлового будинку

| Місяць року | Параметр                        |       |                                        |                                        |                                                        |
|-------------|---------------------------------|-------|----------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------|
|             | $t_{\text{хв}}, ^\circ\text{C}$ | $k_c$ | $Q_{\text{зб}}^{\partial}, \text{МДж}$ | $Q_{\text{зб}}^{\text{м}}, \text{МДж}$ | $Q_{\text{зб}}^{\text{м}}, \text{кВт}\cdot\text{год.}$ |
| січень      | 7,6                             | 1     | 28,21                                  | 874,51                                 | 243                                                    |
| лютий       | 7,4                             | 1     | 28,36                                  | 822,44                                 | 228                                                    |
| березень    | 8,1                             | 0,9   | 25,05                                  | 776,55                                 | 216                                                    |
| квітень     | 8,4                             | 0,9   | 24,84                                  | 745,2                                  | 207                                                    |
| травень     | 8,7                             | 0,7   | 19,16                                  | 593,96                                 | 165                                                    |
| червень     | 9,2                             | 0,5   | 13,5                                   | 405                                    | 113                                                    |
| липень      | 9,6                             | 0,5   | 13,35                                  | 413,85                                 | 115                                                    |
| серпень     | 10,2                            | 0,5   | 13,12                                  | 406,72                                 | 113                                                    |
| вересень    | 9,7                             | 0,6   | 15,97                                  | 479,1                                  | 133                                                    |
| жовтень     | 9,1                             | 0,9   | 24,37                                  | 755,47                                 | 210                                                    |
| листопад    | 8,6                             | 1     | 27,45                                  | 823,5                                  | 229                                                    |
| грудень     | 8,2                             | 1     | 27,75                                  | 832,5                                  | 231                                                    |
| Разом       | х                               | х     | х                                      | 7928,8                                 | 2203                                                   |

З врахуванням кількості днів у поточному місяці можна визначити місячне споживання теплової енергії за формулою:

$$Q_{\text{зб}}^{\text{м}} = Q_{\text{зб}}^{\partial} \cdot n, \text{кДж} \quad (2.2)$$

Отже, отримаємо

$$Q_{\text{зб}}^{\text{м}} = 28,21 \cdot 31 = 874,51 \text{ МДж.}$$

Якщо просумуємо місячні значення, то отримаємо загально річне споживання теплової енергії на потреби системи гарячого водопостачання індивідуального житлового будинку:

$$Q_{\text{гв}}^p = \sum_{i=1}^{12} Q_{\text{гв}}^m, \text{ МДж} \quad (2.3)$$

Отже, отримаємо

$$Q_{\text{гв}}^p = 874,51 + 822,44 + 776,55 + 745,2 + 593,96 + 405 + 416,85 + \\ + 406,72 + 479,1 + 755,47 + 823,5 + 832,5 = 7928,8 \text{ МДж.}$$

Оскільки, ми запланували використати утворювані надлишки електроенергії, які будуть утворюватися в результаті роботи гібридної енергетичної системи, для потреб системи гарячого водопостачання, то отримані результати помісячного споживання слід перетворити у зручний формат енергетичних одиниць – кВт·год. Для цього слід скористатися формулою:

$$Q_{\text{гвел}}^m = \frac{Q_{\text{гв}}^m}{3,6}, \text{ кВт·год.} \quad (2.4)$$

де 3,6 – коефіцієнт відповідності теплової енергетичної одиниці електричній.

Отже, отримаємо

$$Q_{\text{гвел}}^m = \frac{874,51}{3,6} = 243 \text{ кВт·год.}$$

Сумою всіх значень перетворених значень отримаємо потенційну річну потребу в електричній енергії для потреби системи гарячого водопостачання.

Отже,

$$Q_{\text{гв}}^p = 243 + 228 + 216 + 207 + 165 + 113 + 115 + \\ + 113 + 133 + 210 + 229 + 231 = 2203 \text{ кВт·год.}$$

Тобто, для потреб системи гарячого водопостачання потрібно всього 2203 кВт·год. електричної енергії.

Як видно, обсяг потенційного споживання електроенергії для потреб нагріву води є незначним, тому, можливо, буде потрібно шукати інші джерела споживання електроенергії.

## 2.3 Дослідження потенціалу відновлюваних джерел енергії

Зважаючи на те, що в даній роботі заплановано використання двох відновлюваних енергетичних ресурсів енергії вітрового потоку та енергії сонячного випромінювання. Ці енергетичні ресурси характеризуються високим енергетичним сенсом, оскільки вони є доступними в кожному куточку країни. Однією із особливостей даних енергетичних ресурсів є те, що вони не потребують сировинної логістики в процесі експлуатації. Крім того, за умови відносно малих потужностей, ці засоби можна буде встановити безпосередньо на даху досліджуваного об'єкта, і тому вони не будуть використовувати корисну площу, яка може бути використана за іншим призначенням.

### 2.3.1 Дослідження природного потенціалу вітрового потоку

Енергетичний потенціал вітрового потоку можна дослідити декількома способами:

- оцінка швидкості вітру за даними метеорологічних довідників з метеостанцій, які розташовані поблизу досліджуваного об'єкта;
- оцінка швидкості вітру за даними безпосереднього вимірювання та архівування даних з метеорологічної станції, яка встановлена на досліджуваному об'єкті;
- оцінка швидкості вітру за даними відкритого веб-ресурсу NASA.

Використання довідникових даних певною мірою є не дуже добрим, оскільки, вони зазвичай, охоплюють дані, які є певною мірою застарілими, оскільки процес вимірювання виконувався багато років тому. Хоча стосовно набору статистичних даних, то ними добре користуватися, оскільки вони охоплюють дані за великий період часу, що підвищує точність отриманих результатів розрахунків. Особливо це корисно, коли використовується методика оцінки енергетичного потенціалу на базі кривих розподілу швидкості вітру в регіоні дослідження. Щоправда ця методика нам не дуже

підійде, оскільки вона не оперує даними сезонного характеру. А нам необхідно мати уяву про сезонну динаміку зміни швидкості вітру. Тому, перший варіант дослідження швидкості вітрового потоку ми відкинемо.

При застосуванні другого методу нам необхідно мати в наявності метеорологічну станцію, яка повинна бути встановлена на термін, принаймні, не менше одного року. В нашому випадку, це здійснити було неможливо за браком часу на підготовку даного процесу.

Тому, ми скористаємося третім варіантом отримання даних про швидкість вітру, який навіть є і найпростішим та найшвидшим. Це метод отримання даних з відкритої бази даних Національного аерокосмічного агентства Сполучених Штатів Америки. Для отримання необхідних даних нам необхідно перейти за посиланням <https://power.larc.nasa.gov/>, вибрати елемент "Data Access Viewer", який відповідає за візуалізацію баз даних. Далі в лівій частині екрану виберемо вкладку "Single Point", де надалі і будуть вибиратися необхідні дані. Далі необхідно вкладку "Single Point" розширюємо донизу для зручності виконання подальших операцій.

У першому пункті цього вікна "User Community" у спливаючому меню вибираємо вид користувачів "Renewable Energy".

У другому пункті цього вікна "Temporal Level" вибираємо параметр усереднення "Climatology".

У третьому пункт цього вікна вибираємо координату місця, для якого необхідно отримати базу даних вибором точки на мапі із застосуванням відповідного значка. Для цього натисканням і утриманням лівої клавіші миші переміщуємо мапу на територію, для якої необхідно отримати метеорологічні дані (рис. 2.2). У пункті "Parameters" з дерева даних вибираємо необхідні, зокрема швидкість вітру на висоті 10 і 50 м.

У пункті "Data Download" вибираємо формат у якому повинна сформуватись база даних. Вибираємо формат CSV, який є максимально дружнім для читання у середовищі Microsoft Excel.

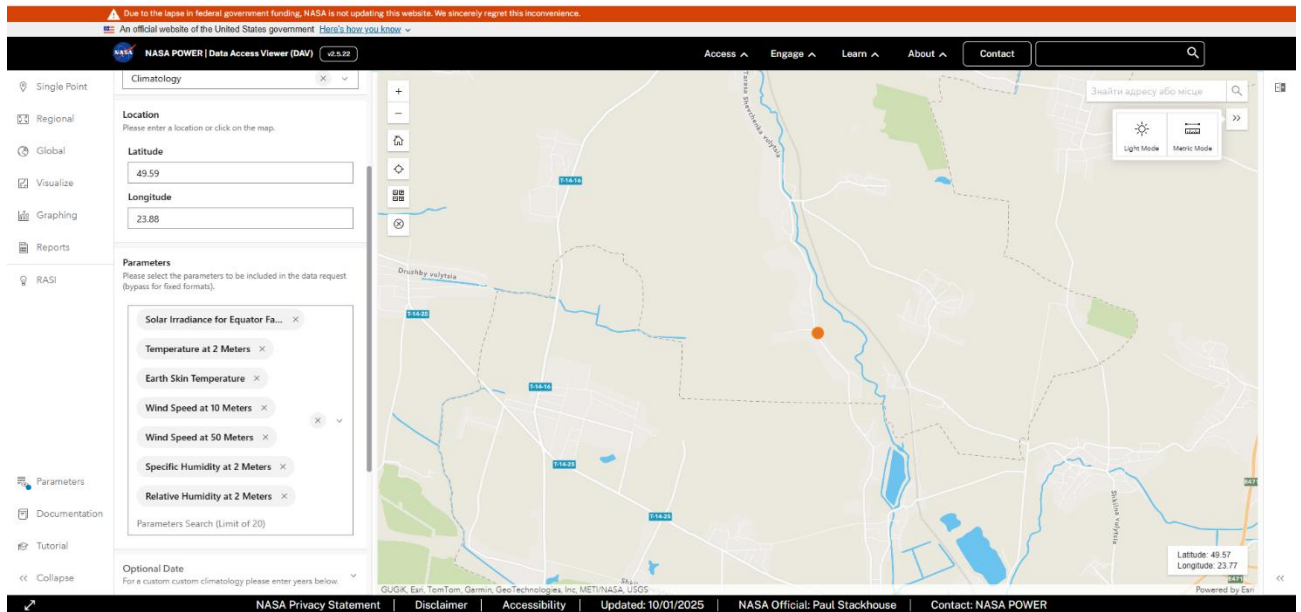


Рисунок 2.2 – Робоче вікно сервісу "Data Access Viewer" у закладці "Single Point" при виборі виду даних

І на кінець підтверджуємо вибір виду даних у пункті "Submit".

В результаті генерування даних буде запропоновано завантажити з файл із заданим типом даних у вибраному форматі.

З врахуванням того, що висота вежі для встановлення вітроелектричної установки становитиме 20 м, здійснимо перерахунок швидкостей вітру для цієї висоти. Результати середньомісячних швидкостей заносимо в табл. 2.3.

Перед виконанням розрахунків слід виконати перерахунок середніх швидкостей на розрахункову. Це пояснюється специфікою усереднення швидкості вітру, а також кубічною залежністю енергетичного потенціалу відносно швидкості вітру. Для умов Львівської області формулою, яка може бути використана для перерахунку є наступна:

$$v_p = 0,638 + 1,082 \cdot v_c, \quad (2.5)$$

де  $v_p$  – середня швидкість вітру, м/с.

Отже, для січня місяця розрахункова швидкість буде рівною

$$v_p = 0,638 + 1,082 \cdot 5,65 = 6,75 \text{ м/с.}$$

Таблиця 2.3 - Розрахункові значення вітрового енергетичного потенціалу в регіоні (для сприймаючої поверхні 1 м<sup>2</sup>)

| Місяць року | Середня швидкість вітру, м/с | Розрахункове значення швидкості вітру, м/с | Кількість днів в місяці | Енергія вітру за місяць, кВт·год |
|-------------|------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| 1           | 2                            | 3                                          | 4                       | 5                                |
| 1           | 5,65                         | 6,75                                       | 31                      | 139,58                           |
| 2           | 5,42                         | 6,51                                       | 29                      | 117,13                           |
| 3           | 5,34                         | 6,41                                       | 31                      | 119,53                           |
| 4           | 4,61                         | 5,63                                       | 30                      | 78,38                            |
| 5           | 4,20                         | 5,18                                       | 31                      | 63,08                            |
| 6           | 4,04                         | 5,01                                       | 30                      | 55,23                            |
| 7           | 3,83                         | 4,78                                       | 31                      | 49,57                            |
| 8           | 3,65                         | 4,59                                       | 31                      | 43,89                            |
| 9           | 4,14                         | 5,12                                       | 30                      | 58,95                            |
| 10          | 4,71                         | 5,74                                       | 31                      | 85,83                            |
| 11          | 4,98                         | 6,03                                       | 30                      | 96,3                             |
| 12          | 5,60                         | 6,7                                        | 30                      | 132,1                            |
| Разом       | 4,68                         | 5,7                                        | 365                     | 1039,57                          |

Тепер можна виконати розрахунок потенціалу вітрового потоку. Для цього скористаємося формуло

$$W_j = 0,645 \cdot S \cdot v_p^3 \cdot T_j, \quad (2.6)$$

де  $v_p$  – розрахункова швидкість вітру, м/с;  $T_j$  – тривалість  $j$ -го місяця, год.

Отже, отримаємо для січня місяця

$$W_{jm} = 0,645 \cdot 1 \cdot 6,75^3 \cdot 24 \cdot 31 \cdot 10^{-3} = 139,58 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Сумою всіх значень для кожного із місяців року отримаємо річний потенціал вітрового потоку, який визначається за формулою:

$$W_{\text{вк}} = \sum_{i=1}^{12} W_j. \quad (2.7)$$

Отже, отримаємо

$$W_{\text{вкр}} = 139,58 + 117,13 + 119,53 + 78,38 + 63,08 + 55,23 + 49,57 + 43,89 + \\ + 58,95 + 85,83 + 96,3 + 132,1 = 1039,57 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Всі результати для кожного із місяців року заносимо у табл. 2.2.

Отже, річний енергетичний потенціал вітрового потоку, який припадає на 1 м<sup>2</sup> поверхні сприймаючого елемента вітроустановки становитиме 1040 кВт·год. Всі подальші розрахунки будуть починатися саме з цього значення.

### 2.3.2 Визначення енергетичного потенціалу сонячної радіації

Для визначення енергетичного потенціалу сонячної радіації також зручно скористатися даними, які можна отримати з відкритої бази даних НАСА. Для цього виконуємо ті ж процедури вибору даних. У пункті "Parameters" вибираємо масив даних, який стосується середньоденного рівня надходження сонячної радіації на поверхню, яка зорієнтована у південному напрямку з різними кутами нахилу до горизонту.

З отриманого файла, який містить згенеровану базу даних можна сформувати табл. 2.4.

Таблиця 2.4 - Середньоденне надходження сонячної радіації на сприймаючу поверхню (кВт·год./м<sup>2</sup>/день)

| Lat 49.59<br>Lon 23.88             | Jan  | Feb  | Mar  | Apr  | May  | Jun  | Jul  | Aug  | Sep  | Oct  | Nov  | Dec  |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| SI_EF_TILTED_SURFACE_HORIZONTAL    | 0,92 | 1,60 | 2,77 | 4,10 | 4,91 | 5,28 | 5,25 | 4,84 | 3,43 | 2,12 | 1,07 | 0,71 |
| SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_MINUS15   | 1,47 | 2,23 | 3,39 | 4,46 | 4,90 | 5,09 | 5,15 | 5,15 | 4,11 | 2,99 | 1,70 | 1,24 |
| SI_EF_TILTED_SURFACE_LATITUDE      | 1,60 | 2,34 | 3,41 | 4,26 | 4,53 | 4,63 | 4,71 | 4,86 | 4,06 | 3,11 | 1,83 | 1,38 |
| SI_EF_TILTED_SURFACE_LAT_PLUS15    | 1,65 | 2,34 | 3,26 | 3,86 | 3,98 | 4,02 | 4,10 | 4,36 | 3,81 | 3,07 | 1,87 | 1,43 |
| SI_EF_TILTED_SURFACE_VERTICAL      | 1,54 | 2,09 | 2,67 | 2,80 | 2,72 | 2,69 | 2,74 | 3,07 | 2,97 | 2,63 | 1,70 | 1,35 |
| SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL       | 1,65 | 2,36 | 3,42 | 4,48 | 5,06 | 5,35 | 5,36 | 5,20 | 4,12 | 3,12 | 1,87 | 1,44 |
| SI_EF_TILTED_SURFACE_OPTIMAL_ANGLE | 66   | 57   | 43   | 28   | 17   | 12   | 15   | 25   | 39   | 54   | 63   | 68   |

Тепер слід вибрати той кут, який будемо використовувати для подальших розрахунків. Справа в тому, що кут розміщення фотоелектричних панелей суттєво впливатиме на її продуктивність. Так, у випадку горизонтального розташування панелей річне середньоденне надходження становитиме у січні 3,08 кВт·год./м<sup>2</sup>/день, тоді як за вертикального їх розташування можна отримати 2,41 кВт·год./м<sup>2</sup>/день. За оптимального ж цілорічного кута, який відповідає географічній широті середньорічне надходження буде становити 3,39 кВт·год./м<sup>2</sup>/день. Однак, це буде не найефективніший варіант встановлення панелей. Для умови, коли панелі щомісяця розміщують під оптимальним кутом до горизонту можна отримати середньорічне надходження сонячної радіації на рівні 3,49 кВт·год./м<sup>2</sup>/день. Таке ж значення можна отримати, якщо розміщувати фотоелектричні панелі з кутом "SI\_TILTED\_AVG\_LAT\_MINUS15", тобто з кутом, який на 15° менший від географічної широти. В нашому випадку це кут 35°.

З врахуванням реальної геометрії даху індивідуального житлового будинку, який є предметом дослідження, кут скату становить близько 38°. тобто в наших розрахунках з мінімальною похибкою можна використовувати дані, які стосуються кута нахилу фотоелектричних панелей на рівні 35°. Навіть з врахуванням того, що можливо необхідно буде встановити частину панелей на наземній конструкції такий кут можна вважати найбільш оптимальним.

Місячне надходження сонячної радіації на сприймаючу поверхню для вибраного кута встановлення фотоелектричних панелей визначимо за формулою:

$$H_{\beta}^M = nH_{\beta}^{\circ}; \quad (2.8)$$

Отже, отримаємо для січня місяця

$$H_{\beta}^M = 31 \cdot 1,47 = 45,6 \text{ кВт·год./м}^2.$$

Отримані результати для всіх місяців року заносимо у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 - Середньоденне та середньомісячне надходження сонячної радіації на сприймаючу поверхню для вибраного кута встановлення фотоелектричних панелей (кВт·год./м<sup>2</sup>)

| Lat 49.59<br>Lon 23.88                | Jan  | Feb  | Mar   | Apr   | May   | Jun   | Jul   | Aug   | Sep   | Oct  | Nov  | Dec  |
|---------------------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
| SI_EF_TILTED_SUR-<br>FACE_LAT_MINUS15 | 1,47 | 2,23 | 3,39  | 4,46  | 4,90  | 5,09  | 5,15  | 5,15  | 4,11  | 2,99 | 1,70 | 1,24 |
| Місячне надходження сонячної радіації | 45,6 | 64,7 | 105,1 | 133,8 | 151,9 | 152,7 | 159,7 | 159,7 | 123,3 | 92,7 | 51,0 | 37,2 |

Отже, якщо просумувати середньомісячні значення для умов цілого року, то отримаємо значення 1277 кВт·год./м<sup>2</sup>. Дане значення є співмірним із потенціалом енергії вітрового потоку, який становить 1040 кВт·год. Тобто можна припустити, що співвідношення за розмірами установок вітроелектричної та фотоелектричної могло б бути 1:1. За такої пропорції кожна із систем внесла б свою половинну частку енергетичного потоку, який потребуватиме будинок. Щоправда, кінцеве рішення буде прийняте після побудови енергетичних балансів гібридної системи з різною структурою, а також після економічної оцінки вартості капіталовкладень у такі системи.

### 2.3.3 Оцінка динамічних потоків відновлюваних джерел енергії

Як було зазначено вище, вітровий потік та сонячна радіація характеризується приблизно однаковим потенціалом, який можна реалізувати на одиницю площі сприймаючої поверхні. Однак, ця рівність, хоч і є корисною для оцінки енергетичного потенціалу відновлюваних ресурсів, насправді має не таке важливе значення як динамічний потік, який має кожен із перелічених енергетичних ресурсів.

Для оцінки динамічних потоків впродовж року доцільно побудувати графічну їх залежність у одній системі координат. Це дозволить оцінити відповідність такого поєднання відносно умов застосування. Отже, здійснимо

побудову динаміки надходження сонячної радіації та вітрового потоку з розрахунку на 1 м<sup>2</sup> сприймаючої поверхні (рис. 2.3).

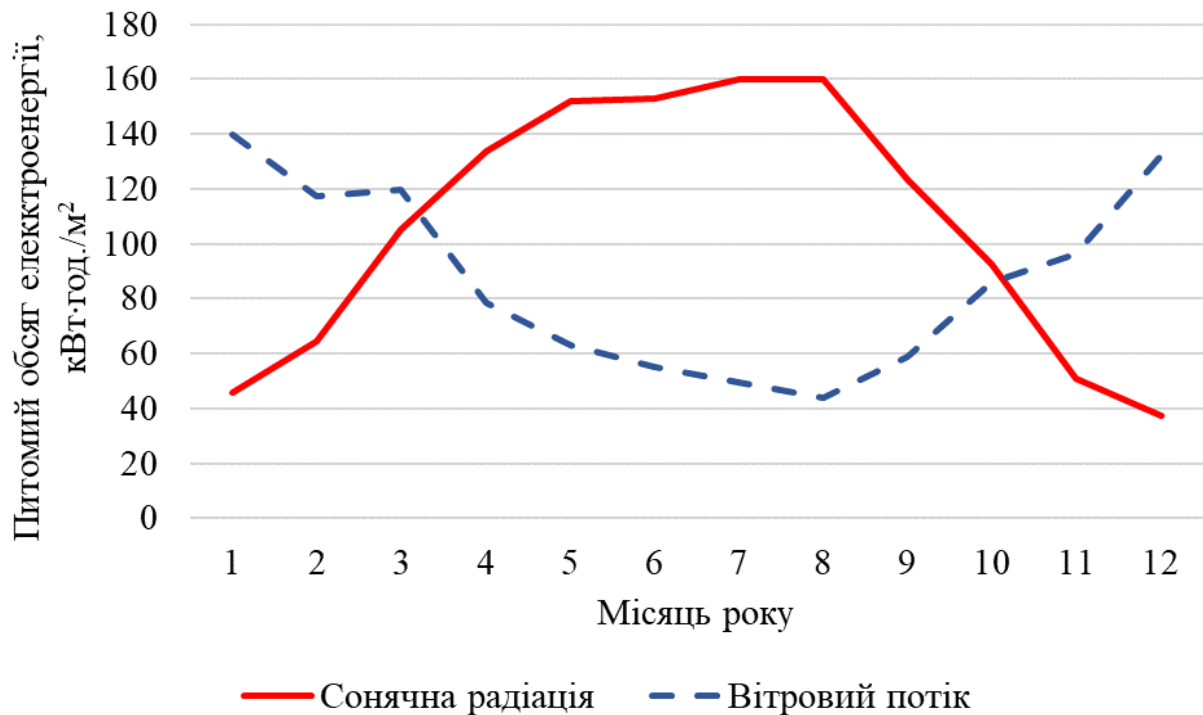


Рисунок 2.3 – Динаміка надходження відновлюваних джерел енергії на сприймаючу поверхню

Як видно з рис. 2.3, енергетичні потоки мають взаємно протилежну динаміку, що загалом позитивно повинно вплинути на можливість спільного використання засобів відновлюваної енергетики. Тобто, для стабілізації енергетичного потоку у вигляді виробленої електроенергії доцільно застосовувати гібридні енергетичні системи на базі вітроелектричних та фотоелектричних установок.

Слід однак зауважити, що на даному етапі ми виконали аналіз лише енергетичного потенціалу, який був поданий у зручній енергетичній одиниці. Фактичну ефективність та продуктивність енергетичного обладнання буде проаналізовано в наступному розділі, де буде здійснено вибір реальних установок з їх експлуатаційними та конструктивними особливостями.

### **3 ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТА**

#### **3.1 Розробка структури гібридної системи енергозабезпечення об'єкта**

Досліджуваний об'єкт – індивідуальний житловий будинок, споживає два види енергетичних ресурсів: природний газ для потреб опалення та гарячого водопостачання, а також електричну енергію для потреб електрообладнання, освітлення та інших потреб. Постійне зростання вартості енергетичних ресурсів зумовлює пошук альтернативних варіантів систем енергопостачання, які, за останній період, щораз більше звертаються до засобів перетворення відновлюваних джерел енергії. Зокрема йдеться про можливість зниження рівня споживання електроенергії за рахунок використання вітроелектричної та фотоелектричної установок. Крім того, цілком можливий варіант суттєвого зниження вартості приготування гарячої води за рахунок того, що цей процес буде включений до сфери інтересів гібридної енергетичної системи. Це може бути здійснено за рахунок використання надлишків електроенергії, які можуть виникати в певний період року, або в певні місяці року. В такому випадку, в зимовий період буде відбуватися зниження рівня споживання природного газу, а у літній період – буде відбуватися зниження рівня споживання електричної енергії. Стосовно імовірності появи надлишків, то вони можуть бути виявлені при побудові енергетичних балансів систем, які будуть комплектуватися вітроелектричною та фотоелектричною установками. Це пов'язане з тим, що ми маємо не лише сезонні та добові нерівномірності надходження відновлюваних джерел енергії на сприймаючі поверхні, а й динамічні характеристики й споживання енергетичних ресурсів, що накладає на новостворювану енергетичну систему

низку обмежень. Тому, при виборі енергетичного обладнання слід враховувати особливості використання виробленої електроенергії.

Особливістю пропонованої гібридної системи є наявність гібридного інвертора (рис. 3.1), який класично працює з фотоелектричними панелями та акумулятором. Типова напруга на вході інвертор становить від 150 до 500 В, що дозволяє сформувати значні масиви за потужністю. Система накопичення реалізована на елементах LiFePO<sub>4</sub> з напругою 48 В (низьковольтна батарея) для систем потужністю до 8 кВт або 200, 400, або 600 В (високовольтна батарея) для систем від 8 кВт.

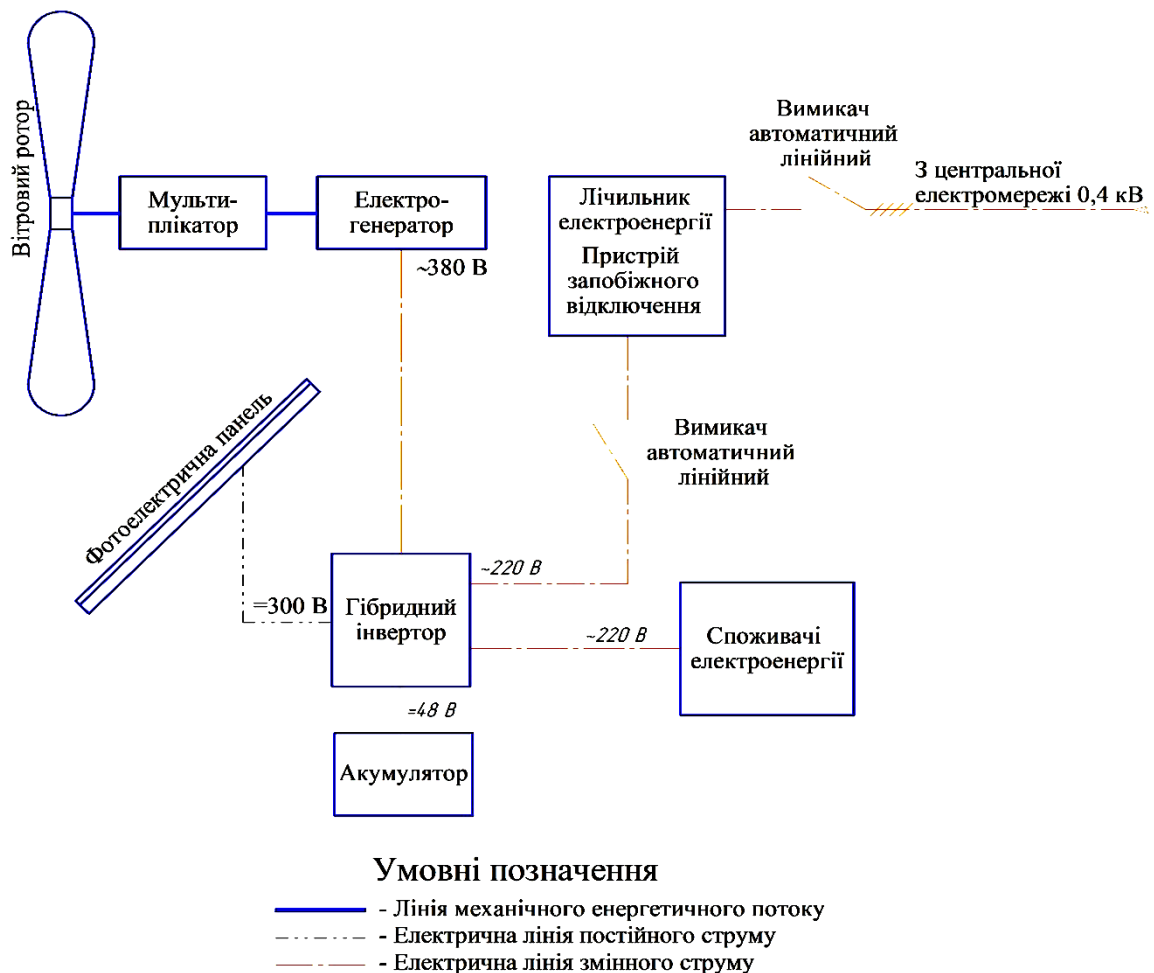


Рисунок 3.1 – Структурна схема гібридної енергетичної системи, реалізованої на базі вітроелектричної та фотоелектричної установок

Приєднання вітроелектричної установки до гібридного інвертора здійснюється через так званий генераторний вхід, який допускає приєднання генерувальної установки змінного струму. Споживачі у будинку приєднані до виходу гібридного інвертора. У випадку наявності потужного споживача, який не слід заживлювати від інвертора, його приєднують перед інвертором. Для можливості скидання частини надлишкової електроенергії на сторонні споживачі застосовують давач струму, який встановлюють перед інвертором, і перед цим споживачем. Тобто цей давач стоїть ближче до ввідного автомата з лічильником обліку електроенергії. Принципово схема приєднання енергетичного обладнання до внутрішньої електромережі побудована на тому, що все обладнання приєднується до гібридного інвертора, а він встановлюється в розриві лінії живлення будинку від зовнішньої електромережі. Таким чином, отримуємо доволі просту електричну схему приєднання енергетичного обладнання до внутрішньої електромережі житлового будинку.

На пропонованій схемі відсутні засоби захисту електромережі та обладнання, які передбачають встановлення запобіжників як постійного, так і змінного струму, вимикачів навантаження для ліній постійного струму та автомати для ліній змінного струму, засоби захисту від імпульсних перенапруг як постійного так і змінного струму.

### **3.2 Електрозабезпечення об'єкта за рахунок відновлюваних джерел енергії**

Для оцінки можливості живлення споживача засобами відновлюваної енергетики і виявлення рівня надійності такої системи, на першому етапі виконаємо розрахунок параметрів енергетичних засобів у моновалентному режимі роботи, тобто при застосуванні лише однієї установки, або вітроелектричної установки, або ж фотоелектричної установки.

### 3.2.1 Електрозабезпечення об'єкта за рахунок енергії вітрового потоку

Щоб визначити габаритні розміри вітроустановки, здатної забезпечити виробництво необхідного обсягу електричної енергії для потреб житлового будинку скористаємося формулою

$$S = \frac{E_p}{W_{\text{вк}} \cdot C_p \cdot \eta_m \cdot \eta_e}, \quad (3.1)$$

де  $E_p$  – річний обсяг споживання електроенергії у житловому будинку, кВт·год;  $W_{\text{вк}}$  – обсяг енергії, який потенційно може виробити вітровий ротор площею  $1 \text{ м}^2$  в кліматичних умовах регіону, кВт·год.;  $C_p$  – коефіцієнт потужності вибраного типу вітрового ротора;  $\eta_m$  і  $\eta_e$  – коефіцієнти корисної дії мультиплікатора та електрогенератора, відповідно.

Отже, отримаємо

$$S = \frac{4946}{1039,57 \cdot 0,35 \cdot 0,92 \cdot 0,85} = 17,38 \text{ м}^2.$$

Отримане значення заокруглимо до більшого цілого, і отримаємо 18 м.

Визначимо основний габаритний розмір вітроелектричної установки – діаметр вітрового ротора

$$D_{\text{вр}} = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}}. \quad (3.2)$$

Отже, отримаємо

$$D_{\text{вр}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 18}{3,14}} = 4,8 \text{ м}.$$

Номінальну потужність вітроелектричної установки визначимо за формулою

$$N_{\text{вр}} = 0,5 \cdot D_{\text{вр}}^2 \cdot v^3 \cdot C_p \cdot \eta_m \cdot \eta_e, \quad (3.3)$$

де  $v$  – швидкість вітрового потоку, м/с;  $\rho$  – густина повітря,  $\rho = 1,27 \text{ кг/м}^3$ .

$$N_{\text{вр}} = 0,5 \cdot 4,8^2 \cdot 8^3 \cdot 0,35 \cdot 0,92 \cdot 0,85 \cdot 10^{-3} = 1,61 \text{ кВт}.$$

Тобто, номінальна потужність вітроелектричної установки становитиме 1,6 кВт. Отже, в нашому випадку доцільно застосувати доволі маленьку установку. Тепер, знаючи габаритну площу вітрового ротора можна визначити продуктивність вітроелектричної установки впродовж року і побудувати енергетичний баланс її роботи. Результати подаємо у табл. 3.1, а візуалізацію енергетичного балансу на рис. 3.2

Таблиця 3.1 - Енергетичний баланс вітроелектричної установки живлення індивідуального житлового будинку

| Місяць року | Потреба в електроенергії, кВт·год. | Виробництво електроенергії, кВт·год. | Необхідне дублювання від електромережі, кВт·год. |
|-------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1           | 604                                | 687,65                               | 83,65                                            |
| 2           | 550                                | 577,05                               | 27,05                                            |
| 3           | 511                                | 588,88                               | 77,88                                            |
| 4           | 479                                | 386,15                               | -92,85                                           |
| 5           | 563                                | 310,77                               | -252,23                                          |
| 6           | 297                                | 272,1                                | -24,9                                            |
| 7           | 215                                | 244,21                               | 29,21                                            |
| 8           | 305                                | 216,23                               | -88,77                                           |
| 9           | 291                                | 290,42                               | -0,58                                            |
| 10          | 366                                | 422,85                               | 56,85                                            |
| 11          | 327                                | 474,43                               | 147,43                                           |
| 12          | 438                                | 650,8                                | 212,8                                            |
| ВСЬОГО      | 4946                               | 5121,54                              | -459,33                                          |

Величина необхідного дублювання визначалася як різниця виробленої електроенергії вітроелектричною установкою та потреби в електроенергії. У випадку позитивного результату, установка виробляє достатньо електричної енергії, тобто навіть є надлишок. Від'ємний результат свідчить про необхідність використання електроенергії із зовнішньої електромережі. Тобто у цей період є нестача електроенергії.

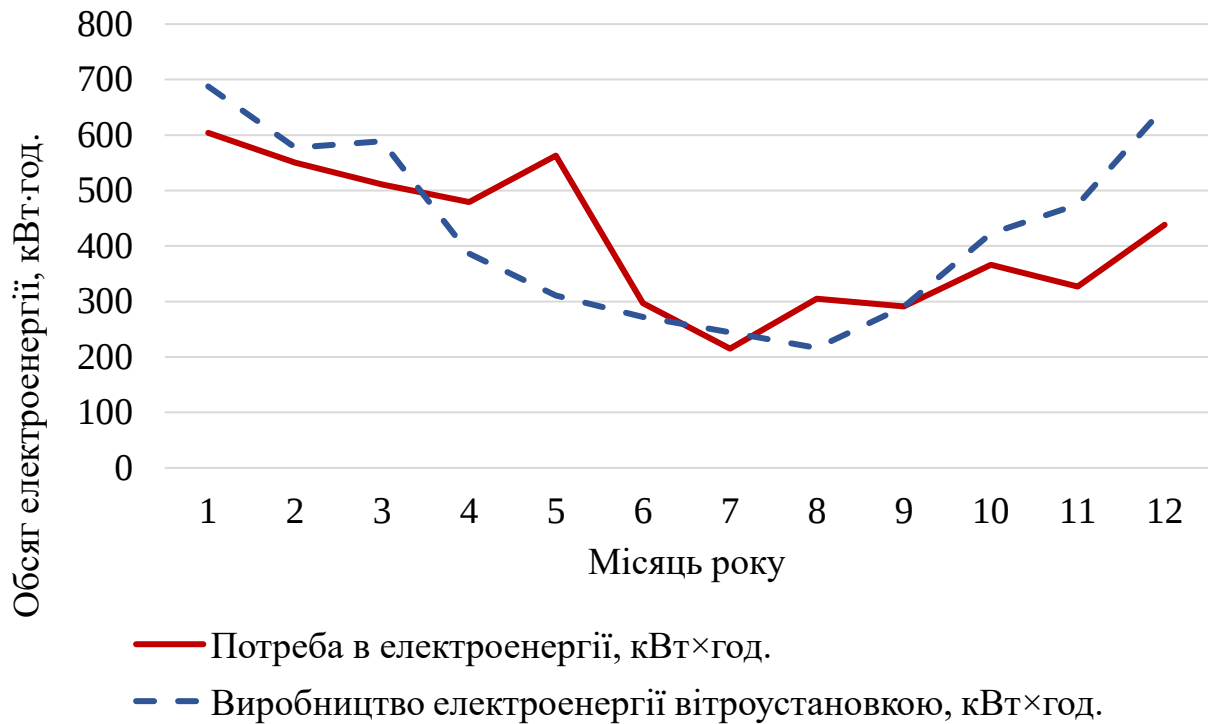


Рисунок 3.2 – Енергетичний баланс вітроелектричної установки живлення індивідуального житлового будинку

Як видно з графіка енергетичного балансу, поданого на рис. 3.2, динаміка споживання та динаміка виробництва електроенергії є доволі близькою. А загальний обсяг електроенергії, яку необхідно спожити з електромережі становить всього 459 кВт·год., тобто приблизно 10 % від загального обсягу споживання.

### 3.2.2 Електрозабезпечення об'єкта за рахунок енергії сонячного випромінювання

В даній частині виконаємо розрахунок можливості електропостачання індивідуального житлового будинку за рахунок тільки фотоелектричних установок. За основу виберемо фотопанелі типу LR5-66HTH-530M виробництва фірми Longi Solar (Китай), які є відомим та добрим брендом на ринку фотоелектрики як в світі, так і в Україні. Дана панель має номінальну потужність за стандартом STC 530 Вт, який передбачає рівень освітленості  $E=1000 \text{ Вт/м}^2$ .

За відомих значень середньодобового надходження сонячної радіації можна визначити добову, а за кількістю днів і місячну продуктивність однієї фотоелектричної панелі. Для цього скористаємося формулами:

$$W_{cd} = \eta \cdot H_{\beta} \cdot S \cdot \eta_i, \quad (3.4)$$

де  $\eta$  – паспортний коефіцієнт корисної дії вибраного типу фотоелектричної панелі;  $H_{\beta}$  – надходження сонячної радіації на сприймаючу поверхню, кВт·год./м<sup>2</sup>/день;  $S$  – робоча площа вибраного типу фотоелектричної панелі, м<sup>2</sup>;  $\eta_i$  – коефіцієнт корисної дії інвертора;

та

$$W_{mic} = W_{cd} \cdot n_{md}, \quad (3.5)$$

де  $n_{md}$  – кількість днів у поточному місяці, днів.

Отже, для січня місяця отримаємо

$$W_{cd} = 0,223 \cdot 1,65 \cdot 2,279 \cdot 0,92 = 0,77 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

$$W_{mic} = 0,77 \cdot 31 = 23,87 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Результати добового та помісячного розрахунку заносимо в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Середньодобова та місячна продуктивність фотоелектричної панелі типу LR5-66НТН-530М

| Параметр                 | Місяці |       |       |       |       |      |       |       |       |       |       |       |
|--------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                          | 1      | 2     | 3     | 4     | 5     | 6    | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    |
| $H_{\beta}$ ,<br>кВт·год | 1,65   | 2,34  | 3,26  | 3,86  | 3,98  | 4,02 | 4,10  | 4,36  | 3,81  | 3,07  | 1,87  | 1,43  |
| $W_{cd}$ ,<br>кВт·год    | 0,77   | 1,095 | 1,524 | 1,806 | 1,86  | 1,88 | 1,919 | 2,037 | 1,783 | 1,437 | 0,874 | 0,671 |
| $W_{mic}$ ,<br>кВт·год   | 23,87  | 31,76 | 47,24 | 54,18 | 57,66 | 56,4 | 59,49 | 63,15 | 53,49 | 44,55 | 26,22 | 20,13 |

Сумою помісячних продуктивностей визначимо річне виробництво електроенергії фотоелектричною панеллю LR5-66НТН-530М за формулою:

$$W_{pich} = \sum_{i=1}^n W_{mic_i}. \quad (3.6)$$

Отже, отримаємо

$$W_{p\dot{u}} = 23,87 + 31,76 + 47,24 + 54,18 + 57,66 + 56,4 + 59,49 + 65,15 + \\ + 53,49 + 44,55 + 26,22 + 20,13 = 538 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Як і у попередньому розділі, визначимо кількість необхідних фотоелектричних панелей за формулою

$$N_{cfn} = \frac{E_{op}}{W_{p\dot{u}}}. \quad (3.7)$$

Отже, отримаємо

$$N_{cfn} = \frac{4946}{538} = 9,19 \text{ шт.}$$

Тобто, для покриття потреб в електроенергії в індивідуальному житловому будинку достатньо використати 9 фотоелектричних панелей, які в сумі дадуть паспортну потужність 4,77 кВт.

Відповідно до визначеної кількості фотопанелей та їх продуктивності можна визначити продуктивність фотоелектричної установки, і на основі цих даних побудувати енергетичний баланс фотоелектричної установки. Результати розрахунків заносимо в табл. 3.3, а візуалізацію на рис. 3.3.

Як видно з табл. 3.3 та рис. 3.3, за використання тільки фотоелектричної установки є три місяці зі значним від'ємним балансом. Загалом від'ємний баланс становить 1131 кВт·год., що становить майже 23%, тобто вдвічі більше, ніж за використання тільки вітроелектричної установки.

Крім того, слід зауважити, що річна динаміка споживання електроенергії та динаміка генерування електроенергії фотоелектричною установкою не зовсім співпадають. Зокрема, спостерігається нестача виробництва електроенергії у зимові місяці, натомість, у літні є надлишок виробництва електроенергії.

Таблиця 3.3 - Енергетичний баланс фотоелектричної установки

| Місяць року | Потреба в електроенергії, кВт·год. | Виробництво електроенергії, кВт·год. | Необхідне дублювання від електромережі, кВт·год. |
|-------------|------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1           | 604                                | 215                                  | -389                                             |
| 2           | 550                                | 286                                  | -264                                             |
| 3           | 511                                | 425                                  | -86                                              |
| 4           | 479                                | 488                                  | 9                                                |
| 5           | 563                                | 519                                  | -44                                              |
| 6           | 297                                | 508                                  | 211                                              |
| 7           | 215                                | 535                                  | 320                                              |
| 8           | 305                                | 568                                  | 263                                              |
| 9           | 291                                | 481                                  | 190                                              |
| 10          | 366                                | 401                                  | 35                                               |
| 11          | 327                                | 236                                  | -91                                              |
| 12          | 438                                | 181                                  | -257                                             |
| ВСЬОГО      | 4946                               | 4843                                 | -1131                                            |

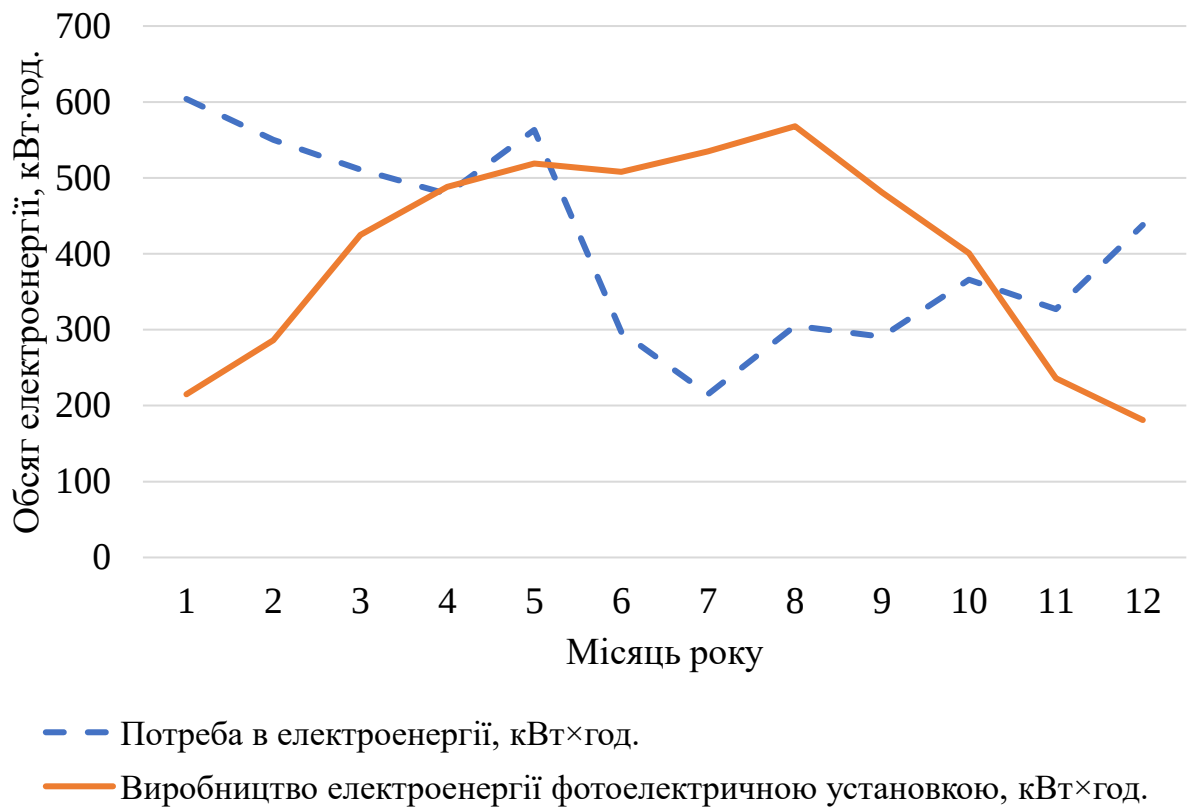


Рисунок 3.3 – Енергетичний баланс фотоелектричної установки

### **3.3 Енергозабезпечення об'єкта за рахунок гібридної енергетичної системи**

Як свідчать розрахунки, проведені вище, загалом моноенергетичне використання не є дуже поганим, особливо, коли мова йде про вітроелектричну установку. Інша справа – фотоелектрична установка, яка має обернену динаміку виробництва електроенергії відносно динаміки споживання. Але вартісні показники фотоелектричної установки є кращими. Тобто, тут є неоднозначний вибір. Крім того, слід, напевно спробувати знайти раціональне поєднання вітроелектричної установки з фотоелектричною, за якого буде максимально вироблятися необхідний обсяг електроенергії. І також, можливо цей варіант може виявитися дешевшим за інші.

Отже, для комбінованого використання установок відновлюваної енергетики змодельємо ситуацію, коли дві енергетичні установки будуть використані в системі з різним рівнем заміщення обсягів електроенергії, яку потребує індивідуальний житловий будинок.

Найкраще таке моделювання виконати розрахунковим методом, який зводиться до розрахунку помісячного обсягу виробництва електроенергії гібридною установкою, де фотоелектрична установка та вітроелектрична установка будуть мати лише певну частку заміщення. Для покращеного розуміння результати розрахунку подамо у вигляді графіків спільного виробництва, які будуть суміщені з графіком споживання. Окремо буде виконано підрахунок обсягів електроенергії, яку необхідно буде придбати, оскільки в певні періоди можуть бути нижчі рівні виробництва відносно споживання.

На рис. 3.4-3.6, подано енергетичні баланси гібридних енергетичних систем, реалізованих на базі вітроелектричної та фотоелектричної установок з різним рівнем заміщення обсягів виробництва електроенергії.

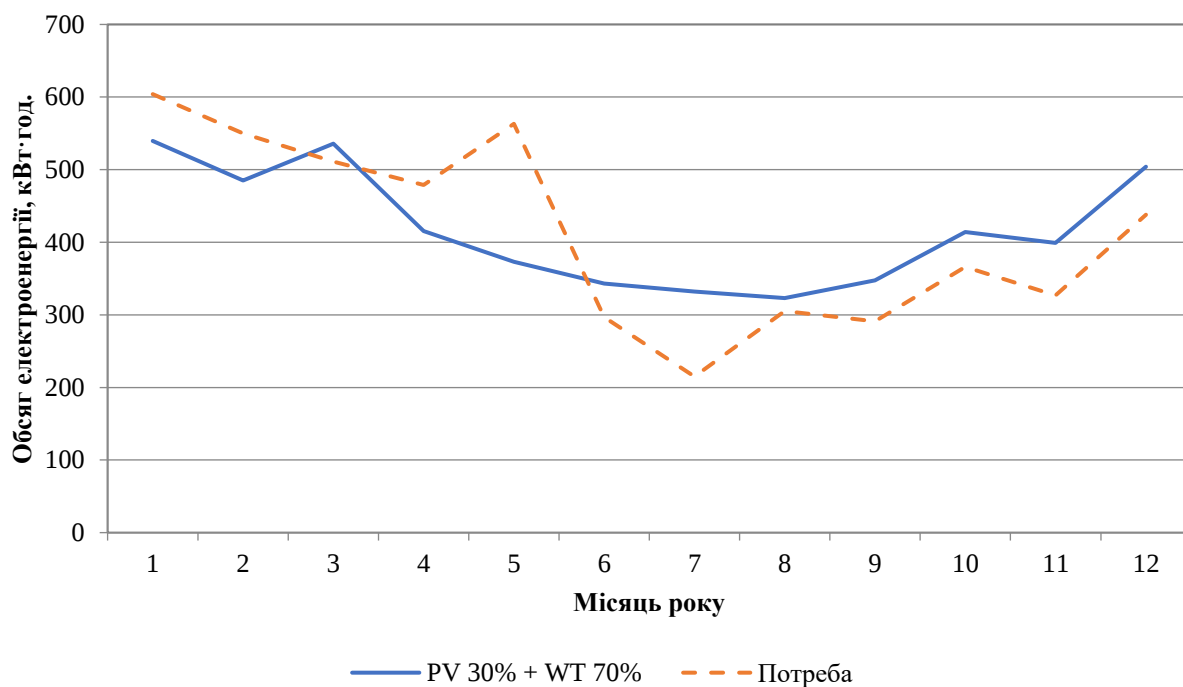


Рисунок 3.4 – Енергетичний баланс гібридної установки з рівнем заміщення фотоелектричною установкою 30%, а вітроелектричною установкою – 70%

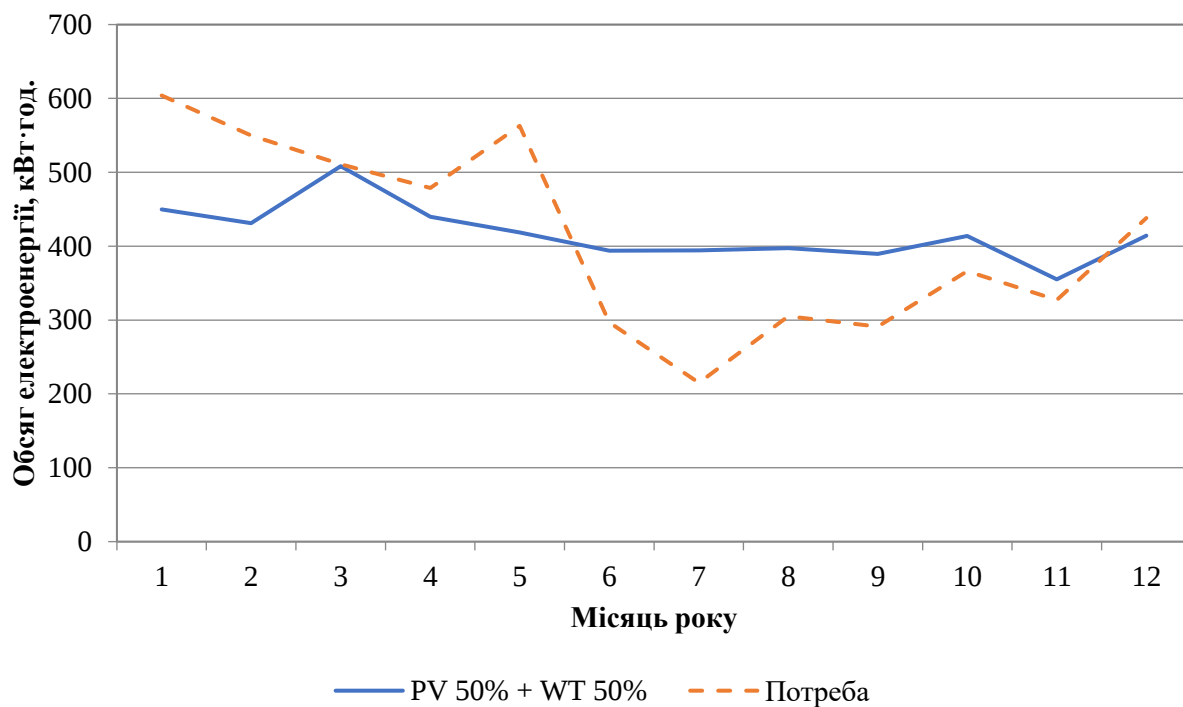


Рисунок 3.5 – Енергетичний баланс гібридної установки з рівнем заміщення фотоелектричною установкою 50%, а вітроелектричною установкою – 50%

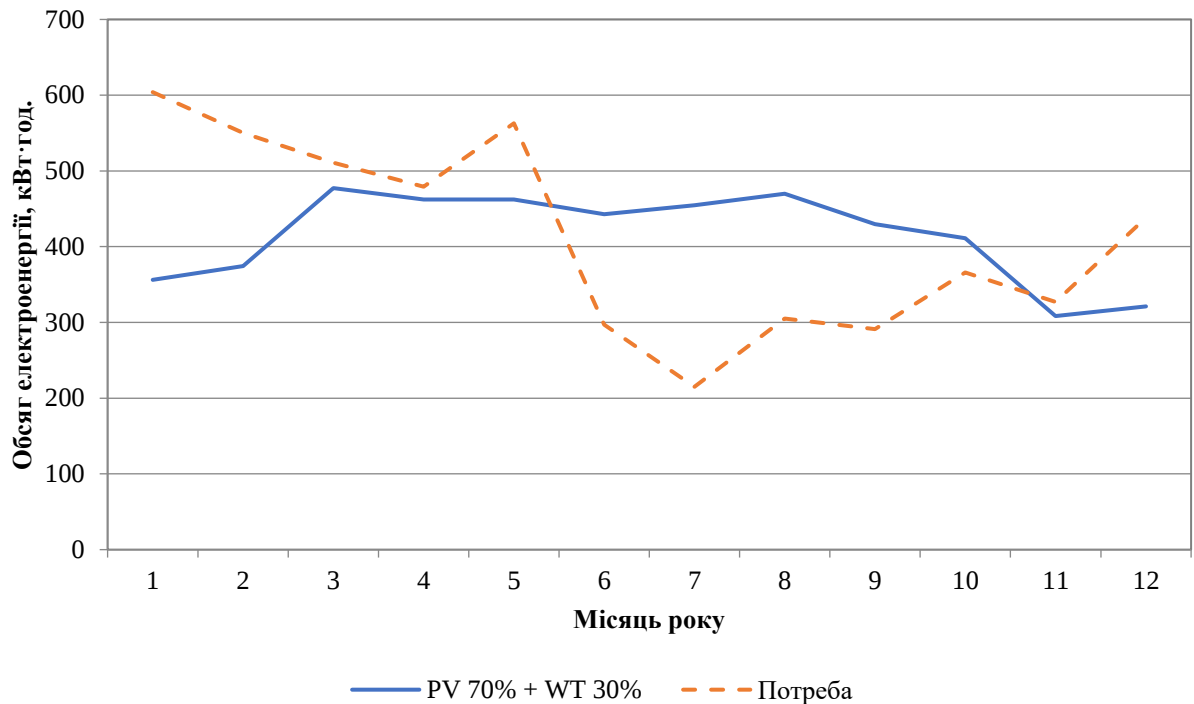


Рисунок 3.6 – Енергетичний баланс гібридної установки з рівнем заміщення фотоелектричною установкою 70%, а вітроелектричною установкою – 30%

Табличні дані цих трьох варіантів системи подано у табл. 3.4-3.6.

Таблиця 3.4 - Енергетичний баланс гібридної системи у складі вітроелектричної та фотоелектричної установок з рівнем заміщення 30%-70%

| Місяць року | Сумарна потреба в електроенергії, кВт·год. | Сумарне виробництво WT+PV, кВт·год. | Необхідне дублювання від електромережі, кВт·год. |
|-------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1           | 604                                        | 356                                 | -248                                             |
| 2           | 550                                        | 374                                 | -176                                             |
| 3           | 511                                        | 477                                 | -34                                              |
| 4           | 479                                        | 462                                 | -17                                              |
| 5           | 563                                        | 462                                 | -101                                             |
| 6           | 297                                        | 443                                 | 146                                              |
| 7           | 215                                        | 455                                 | 240                                              |
| 8           | 305                                        | 470                                 | 165                                              |
| 9           | 291                                        | 430                                 | 139                                              |
| 10          | 366                                        | 411                                 | 45                                               |
| 11          | 327                                        | 308                                 | -19                                              |
| 12          | 438                                        | 321                                 | -117                                             |
| ВСЬОГО      | 4946                                       | 4969                                | -710                                             |

Таблиця 3.5 - Енергетичний баланс гібридної системи у складі вітроелектричної та фотоелектричної установок з рівнем заміщення 50%-50%

| Місяць року | Сумарна потреба в електроенергії, кВт·год. | Сумарне виробництво WT+PV, кВт·год. | Необхідне дублювання від електромережі, кВт·год. |
|-------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1           | 604                                        | 450                                 | -154                                             |
| 2           | 550                                        | 431                                 | -119                                             |
| 3           | 511                                        | 508                                 | -3                                               |
| 4           | 479                                        | 440                                 | -39                                              |
| 5           | 563                                        | 419                                 | -144                                             |
| 6           | 297                                        | 394                                 | 97                                               |
| 7           | 215                                        | 394                                 | 179                                              |
| 8           | 305                                        | 397                                 | 92                                               |
| 9           | 291                                        | 389                                 | 98                                               |
| 10          | 366                                        | 414                                 | 48                                               |
| 11          | 327                                        | 355                                 | 28                                               |
| 12          | 438                                        | 414                                 | -24                                              |
| ВСЬОГО      | 4946                                       | 5005                                | -455                                             |

Таблиця 3.6 - Енергетичний баланс гібридної системи у складі вітроелектричної та фотоелектричної установок з рівнем заміщення 70%-30%

| Місяць року | Сумарна потреба в електроенергії, кВт·год. | Сумарне виробництво WT+PV, кВт·год. | Необхідне дублювання від електромережі, кВт·год. |
|-------------|--------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1           | 604                                        | 540                                 | -64                                              |
| 2           | 550                                        | 485                                 | -65                                              |
| 3           | 511                                        | 536                                 | 25                                               |
| 4           | 479                                        | 415                                 | -64                                              |
| 5           | 563                                        | 373                                 | -190                                             |
| 6           | 297                                        | 343                                 | 46                                               |
| 7           | 215                                        | 332                                 | 117                                              |
| 8           | 305                                        | 323                                 | 18                                               |
| 9           | 291                                        | 348                                 | 57                                               |
| 10          | 366                                        | 414                                 | 48                                               |
| 11          | 327                                        | 399                                 | 72                                               |
| 12          | 438                                        | 504                                 | 66                                               |
| ВСЬОГО      | 4946                                       | 5012                                | -383                                             |

З графічних залежностей, які подані на рис. 3.4-3.6, видно, що у випадку рівня заміщення PV-70% WT-30%, спостерігається не надто добре поєднання динамічних процесів. Кращі результати отримано у випадку застосування гібридної системи з рівнем заміщення PV-50% WT-50%, і ще кращі у системи з рівнем заміщення PV-30% WT-70%. Це підтверджують і табличні результати, які вказують на те, що у першому випадку слід буде придбати електроенергію у обсязі 710 кВт·год., у другому – 455, і у третьому – 383 кВт·год.

Тобто, кращі результати можуть бути отримані у випадку збільшеного рівня заміщення виробництва електроенергії за рахунок вітроелектричної установки. Причому, це не означає, що необхідно використовувати тільки вітроустановку, оскільки за такої умови обсяг нестачі виробництва електроенергії становитиме 459 кВт·год., що дещо більшим, ніж у випадку гібридизації.

Слід однак зауважити, що лише на цьому аналізі не варто робити остаточного вибору щодо структури гібридної енергетичної системи. Тут може також мати вплив економічна складова, яка може внести корективи у рівень ефективності застосування того, чи іншого варіанта. Цьому питанню буде приділено увагу у розділі обґрунтування прийнятих рішень.

### **3.4 Обґрунтування параметрів системи накопичення електроенергії**

Як було зазначено вище, індивідуальний житловий будинок потребує певного рівня надійності електропостачання, особливо це стосується сучасного періоду, коли зазнають бомбардування об'єкти критичної інфраструктури, що спричинює необхідність аварійного вимкнення споживачів. З іншого боку, процес власної електрогенерації не співпадає з споживанням електроенергії, отже виникає елементарна необхідність

часового узгодження цих процесів. Він може бути реалізований за рахунок встановлення системи акумулювання електроенергії.

Для обґрунтування параметрів системи накопичення електроенергії слід врахувати особливість її використання та параметри, які вона повинна забезпечити. Зокрема, система акумулювання повинна мати змогу прийняти весь обсяг електроенергії, виробленої засобами відновлюваної енергетики. Тобто, допустимий або максимальний струм зарядки акумулятора повинен бути вищим від можливого струму від електрогенерувальних засобів. Також слід врахувати й те, що акумулятор повинен мати змогу прийняти весь обсяг потенційно виробленої енергії від гібридної енергетичної установки. З іншого боку, основним критерієм вибору акумулятора є властивість накопичити необхідний об'єм електроенергії для потреби житлового будинку. Відповідно до поточного рівня споживання, яке у досліджуваному житловому будинку становить від 7 до 19 кВт·год., а також беручи до уваги те, що частина виробленої електроенергії буде використовуватися безпосередньо під час електрогенерації, раціональним буде застосувати накопичувач на 15 кВт·год.

Зазвичай системи накопичення формуються із окремих акумуляторних блоків ємністю 5 кВт·год. Проводити розрахунок послідовного приєднання акумуляторів не будемо, оскільки тут застосовуються готові блоки з напругою 48 В, і які обладнані індивідуальними системами вирівнювання зарядженості окремих банок. Таким чином, нам необхідно визначити кількість акумуляторів, які потрібно приєднати між собою паралельно. Для цього скористаємося формулою

$$N_{AK}^{nap} = \frac{T_{\partial} \cdot P_{oc} \cdot T_{\varepsilon}}{U_{ca} \cdot E_{AK} \cdot \eta_{AK} \cdot k_p \cdot k_x \cdot k_{\chi} \cdot \eta_{in}}, \quad (3.8)$$

де  $T_{\partial}$  – нормативний період використання електроенергії, год.;  $T_{\varepsilon}$  – необхідний або заданий період резервування споживання електроенергії, днів;  $U_{ca}$  – номінальна напруга акумулятора, В;  $E_{AK}$  – паспортна ємність акумулятора, А·год.;  $\eta_{AK}$  – к.к.д. акумулятора;  $k_p$  – коефіцієнт допустимої

глибини розряду акумулятора;  $k_x$  – коефіцієнт зниження ефективності роботи, викликаний зміною температури повітря навколишнього середовища;  $k_q$  – коефіцієнт зниження ємності впродовж року;  $\eta_{in}$  – к.к.д. гібридного інвертора.

Отже, отримаємо

$$N_{AK}^{nap} = \frac{8 \cdot 1,38 \cdot 1}{48 \cdot 100 \cdot 0,95 \cdot 0,9 \cdot 0,95 \cdot 0,99 \cdot 0,92 \cdot 10^{-3}} = 3,11 \text{ шт.}$$

Тобто, для нашого випадку необхідно буде застосувати три блоки акумуляторів по 5 кВт·год, кожна, що сумарно забезпечить накопичення електроенергії в обсязі 15 кВт·год.

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1 Аналіз виробничих небезпек під час експлуатації електроенергетичного обладнання**

При оцінці технологій виробництва електричної та теплової енергії з використанням засобів відновлюваної енергетики, зокрема, сонячних фотоелектричних та вітроелектричних установок, теплових pomp, потрібно розглянути окремо основні технологічні ланки системи, які в основному призводять до травм, аварій, небезпечних та шкідливих наслідків як для здоров'я людини так і для навколишнього середовища. При встановленні причинно-наслідкових зв'язків між подіями, що призвели до травми працюючого, необхідно розрізняти поняття "небезпечний виробничий фактор", "травматизм", "нещасний випадок" і "травма" тощо.

У процесі роботи людина може потрапляти в небезпечну зону внаслідок відсутності там необхідного там огороження, сигнальних пристроїв або попереджувальних знаків та написів, порушення відповідних правил, допущеної помилки або внаслідок аварії. При цьому виникає можливість дії на неї небезпечного виробничого фактору. Кожну дію, внаслідок якої людина потрапляє до небезпечної зони, позначено як небезпечну [8].

Для виявлення можливості виникнення травматичної ситуації на виробництві необхідно використовувати різні методи їх прогнозування. Одним із варіантів є логічне моделювання процесів формування, виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків.

Метод логічного моделювання процесів формування, виникнення небезпечних ситуацій та їх наслідків доцільно застосовувати для аналізу існуючих або потенційних небезпек, що виявлені при обстеженні робочих місць, окремих марок машин, агрегатів, а також споруд, виробничих процесів

і технологій. Але як показали дослідження, будь-яка аварія або катастрофа може бути наслідком однієї із багатьох потенційних небезпечних ситуацій або їх поєднання. Тому метод логічного моделювання не може бути застосований для моделювання складних процесів, що імітують формування і виникнення складних аварій.

Даний метод дає можливість шляхом побудови "дерева" відмов і помилок операторів різних систем вести математичну обробку моделі з метою одержання ймовірності виникнення таких подій, як аварія, травма і катастрофа. Обчисленням рівня небезпеки можна спрямувати удосконалення конструкції технічних засобів на зниження їх небезпек, а також вживати термінованих заходів для усунення небезпек з більш високим рівнем.

Метод "дерева несправностей" або "дерева помилок оператора" застосовують для аналізу складних систем [5]. Основні принципи побудови моделі такі: вивчається виробництво, на якому мали місце раніше або можуть мати місце аварії, виробничі травми.

Для побудови логіко-імітаційних моделей застосовують різні символи, що характеризують ті чи інші події. Як правило, побудова моделі починається з головної операції, а наступні розміщуються зверху вниз аж до базових подій (рис. 4.1).

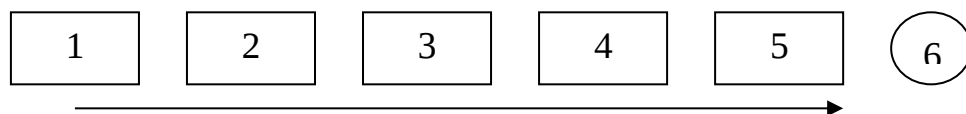


Рисунок 4.1 – Модель дерева помилок:

1-відмова системи – головна подія; 2-послідовність подій, що призводять до відмови ( аварія) системи;

3-послідовність подій зображується за допомогою логічних операторів "І", "АБО" та інші; 4-усі вхідні і вихідні події, що входять до моделі, зображуються у вигляді прямокутників з відповідними написами.;

5-послідовний підхід до базових подій, частоти виникнення яких відомі;

6-базові події зображують у вигляді кружечків із написами всередині, вони є межею аналізу побудованої моделі ("дерева помилок")

Кожен блок рисунка, позначений відповідним номером, означає подію або окремий етап побудови моделі [5].

Аналіз умов, обставин та причин різних аварій, виробничих травм та деяких катастроф показав, що процеси формування та виникнення цих явищ можна заздалегідь моделювати, застосовуючи метод побудови "дерева" відмов та помилок оператора людино-машинних систем у народному господарстві. Так побудовані операторні або логіко-імітаційні моделі травм.

#### **4.2 Моделювання процесів формування і виникнення виробничих небезпек під час експлуатації енергетичних установок**

Методикою оцінки рівня небезпеки робочих місць, машин, виробничих процесів та окремих виробництв передбачено пошук об'єктивного критерію (показника) рівня небезпеки для конкретного об'єкта. Для того, щоб оцінку рівня небезпеки певного об'єкта чи явища запровадити на виробництві, необхідний простий і доступний метод обчислення значень ймовірностей будь-якого випадкового явища. Основні принципи даного методу полягають у тому, що на основі обстеження робочого місця виявляють виробничі небезпеки аварійні та травмонебезпечні ситуації. При оцінці ситуації визначають події, які можуть стати головною подією при побудові логіко-імітаційної моделі. Після цього будують модель ("дерево помилок і відмов оператора"). При цьому важливе значення має правильний вибір головної випадкової події. Головна випадкова подія в даному випадку – травма, модель якої побудована на (рис. 4.2). Для побудови даної моделі ("дерева") травми використовують оператори "І" та "АБО", після цього виконують набір ситуацій, які призвели до цієї події, яку вибрано як головною, після визначення ситуації, що привела до травми визначаємо інші такі події, що входять до кожної такої ситуації. Процес побудови моделі триває поки не будуть здійснені усі базові події, що визначають межу моделі [5].

Після обчислення ймовірностей всіх подій, починаючи з лівої нижньої гілки "дерева", позначаємо номерами всі випадкові події, що увійшли до даної моделі. Потім модель представляємо до математичного виконання ймовірностей випадкових подій, застосовуючи формули:

1. Базові події з ймовірностями  $P_1$  і  $P_2$  за допомогою оператора "І" входять у наступну третю подію. Тоді ймовірність виникнення цієї події  $P_3$  можна визначити так:

$$P_3 = P_1 \cdot P_2. \quad (4.1)$$

Таблиця 4.1 – Ймовірності подій

| Шифр     | Назва події                                 | Ймовірність |
|----------|---------------------------------------------|-------------|
| $P_1$    | Відсутність захисного заземлення            | 0,02        |
| $P_2$    | Пошкодження захисного заземлення            | 0,04        |
| $P_3$    | Спрацювання складових установки             | 0,1         |
| $P_4$    | Неправильна експлуатація обладнання         | 0,02        |
| $P_5$    | Відсутність профілактичних заходів          | 0,2         |
| $P_6$    | Відсутність захисного щита                  | 0,12        |
| $P_7$    | Недотримання правил вибору взуття           | 0,15        |
| $P_8$    | Незнання правил техніки безпеки             | 0,1         |
| $P_9$    | Відсутність засобів індивідуального захисту | 0,2         |
| $P_{10}$ | Халатність                                  | 0,15        |

2. За допомогою оператора "І" три події з ймовірностями  $P_1$ ,  $P_2$  і  $P_3$  формують четверту випадкову подію. Тоді ймовірність цієї події  $P_4$  обчислюють так:

$$P_4 = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3. \quad (4.2)$$

3. Оператор "І" об'єднує  $n$  події з ймовірностями  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$ , ...,  $P_n$  тоді ймовірність вихідної події  $P$  буде

$$P = P_1 \cdot P_2 \dots P_n. \quad (4.3)$$

4. Дві базові події з ймовірностями  $P_1$  і  $P_2$  за допомогою оператора "АБО" входять до третьої події. Тоді ймовірність  $P_3$  буде

$$P_3 = P_1 + P_2 - P_1 \cdot P_2. \quad (4.4)$$

5. Оператор "АБО" об'єднує три базові події з ймовірностями  $P_1, P_2, P_3$ , які за допомогою цього оператора входять у наступні події з ймовірністю  $P_4$ . Тоді ймовірність цієї події можна визначити за формулою

$$P_4 = P_1 + P_2 + P_3 - P_1 \cdot P_2 - P_1 \cdot P_3 - P_2 \cdot P_3 + P_1 \cdot P_2 \cdot P_3. \quad (4.5)$$

6. Якщо до оператора "АБО" входять чотири і більше випадкових базових події з відомими значеннями ймовірностей, то для спрощення обчислень їх згруповують по дві або по три події і застосовують наведені формули. Після визначення ймовірностей вихідних подій кожної з таких груп, їх знову необхідно згрупувати і провести аналогічні обчислення, аж поки не залишаться дві або три події, над якими необхідно провести ті ж операції. Так поступово обчислюючи ймовірність вихідних подій кожного окремого розгалуження, наближаємось до головної події і обчислюємо ймовірність її виникнення.

Для проведення обчислень ймовірності травми використовуємо логіко-імітаційну модель процесу її формування (рис. 4.2).

Підставивши дані ймовірностей базових подій у формулу (4.4), одержимо ймовірність події 13:

$$P_{13} = 0,2 + 0,4 - 0,2 \cdot 0,4 = 0,0592.$$

Аналогічно обчислюємо ймовірність інших подій залежно від їх номера:

$$P_{11} = P_4 + P_5 - P_4 \cdot P_5 = 0,3 + 0,4 - 0,3 \cdot 0,4 = 0,118;$$

$$P_{12} = P_6 + P_7 - P_6 \cdot P_7 = 0,3 + 0,5 - 0,3 \cdot 0,5 = 0,252;$$

$$P_{16} = P_9 + P_{10} - P_9 \cdot P_{10} = 0,2 + 0,15 - 0,2 \cdot 0,15 = 0,264;$$

$$P_{14} = P_{11} \cdot P_5 = 0,118 \cdot 0,2 = 0,0236;$$

$$P_{15} = P_{12} \cdot P_8 = 0,252 \cdot 0,1 = 0,0252;$$

$$P_{17} = P_{13} + P_{14} - P_{13} \cdot P_{14} = 0,592 + 0,0236 - 0,0592 \cdot 0,0236 = 0,0814;$$

$$P_{18} = P_{15} \cdot P_{16} = 0,264 \cdot 0,0252 = 0,0065;$$

$$P_{19} = P_{17} + P_{18} - P_{17} \cdot P_{18} = 0,0065 + 0,0814 - 0,0065 \cdot 0,0814 = 0,0873.$$

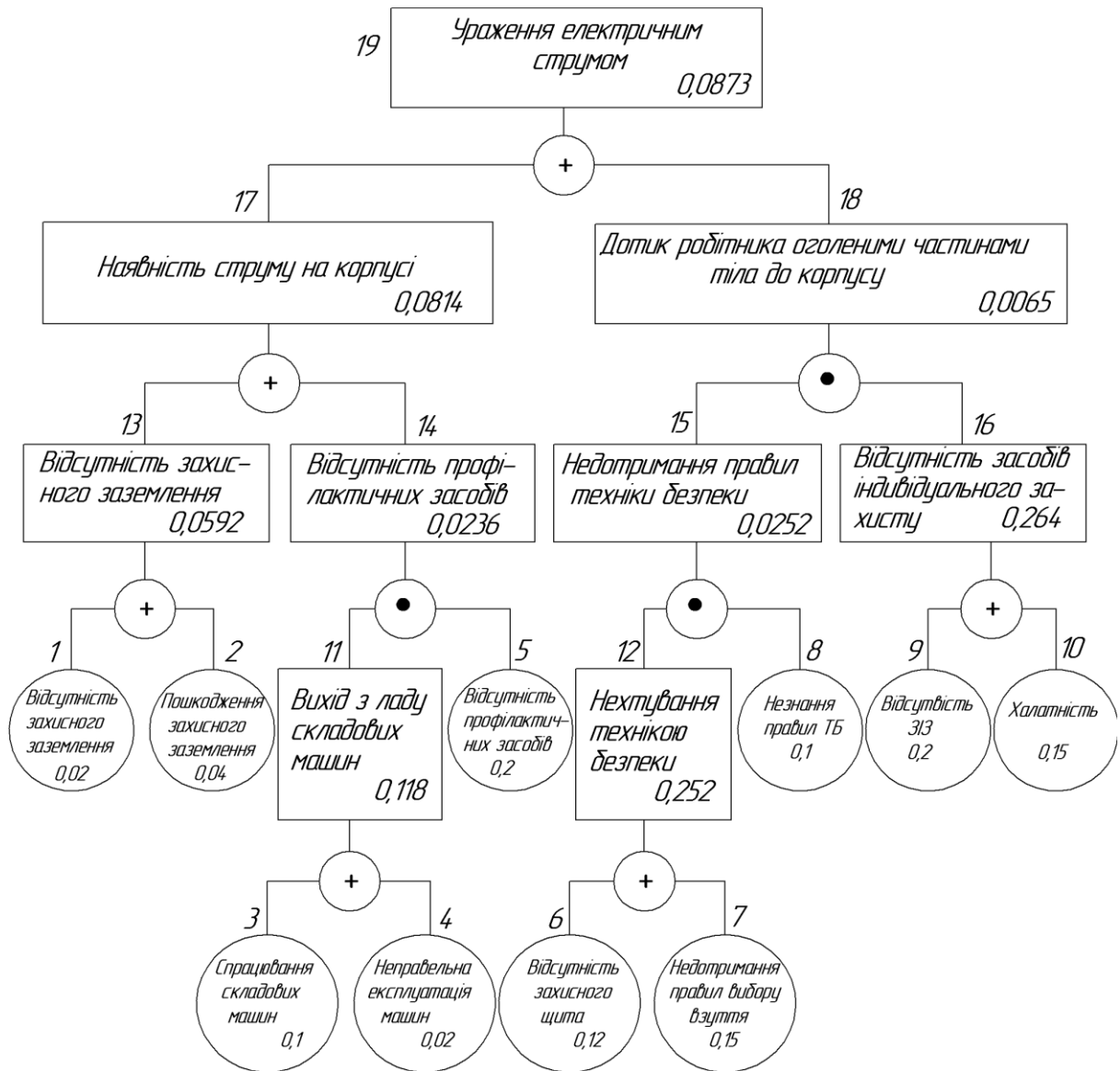


Рисунок 4.2 – Логіко-імітаційна модель процесу виникнення травм при експлуатації електрообладнання

Таким чином на під час роботи електрообладнання гібридної енергетичної установки при наявності тих недоліків з охорони праці, які відображені у базових подіях на 100 таких місць, можна очікувати 8,73 травми. Якщо зазначені недоліки негайно усунути (підвищити професійний рівень працюючих, поліпшити контроль та виготовити необхідну кількість ЗІЗ, профілактичних засобів за всіма вимогами безпеки), то можна побачити на моделі шляхом повторного розрахунку, що рівень небезпеки буде наближатися до 0, а рівень безпеки – до 1.

#### **4.3 Розробка заходів запобігання травм і аварій під час енергозабезпечення індивідуального житлового будинку**

Заходи щодо поліпшення умов праці здійснюються з метою створення безпечних умов праці шляхом: доведення до нормативного рівня показників виробничого середовища за елементами умов праці; захисту працівників від дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

До показників ефективності заходів щодо поліпшення умов праці належать: зміни стану умов праці: зміна кількості засобів виробництва, приведених у відповідність до вимог стандартів безпеки праці; покращання санітарно-гігієнічних показників; покращання психофізичних показників, зменшення фізичних і нервово-психічних навантажень, в т. ч. монотонних умов праці; покращання естетичних показників, раціональне компонування робочих місць і впорядкування робочих приміщень; соціальні результати заходів: збільшення кількості робочих місць, що відповідають нормативним вимогам; зниження рівня виробничого травматизму; зменшення кількості випадків професійних захворювань; зменшення плинності кадрів через незадовільні умови праці; престиж та задоволення працею.

Економічні результати заходів щодо поліпшення умов праці виражаються у вигляді економії за рахунок зменшення збитків внаслідок аварій, нещасних випадків і професійних захворювань у економіці в цілому та на кожному підприємстві зокрема.

При експлуатації енергогенеруючого обладнання, таких як сонячна фотоелектрична установка необхідно керуватися "Інструкцією з експлуатації сонячної фотоелектричної установки" та "Правилами технічної експлуатації електрогенерувальних установок".

Обслуговуючий персонал установки бути ознайомлений з інструкцією по експлуатації кожного виду обладнання. Кожен працюючий з енергетичною установкою, і особливо при роботі з фотоелектричною установкою повинен

бути проінструктований з техніки безпеки. Осіб, які не досягли 18 років не допускати до обслуговування установки. Забороняється допускати сторонніх осіб до робочого місця. Підтримувати робоче місце в чистоті. Забороняється доторкатися до електричних з'єднань енергоустановок вологими руками. При роботі з електрообладнанням енергетичних установок, яке знаходиться під напругою необхідно працювати на ізоляційному килимку.

Ремонтні роботи та роботи по обслуговуванню енергетичних установок, проводяться тільки коли вони вимкнені.

При порушенні вимог даної інструкції з техніки безпеки робітники несуть відповідальність згідно з важкістю наслідків і заподіяної ним шкоди. Порушення інструкції розглядається як невикористання правил внутрішнього трудового розпорядку.

#### **4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях**

Забезпечення захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій є одним з найважливіших завдань не лише підприємства, але й цілої держави. Актуальність проблеми забезпечення природо-техногенної безпеки населення і території зумовлена тенденціями зростання втрат людей і шкоди територіям, що спричиняються небезпечними природними явищами, промисловими аваріями і катастрофами.

Захист населення є системою загальнодержавних заходів, які реалізуються центральними і місцевими органами виконавчої влади, виконавчими органами влад, органами управління з питань надзвичайних ситуацій та цивільного захисту населення, підпорядкованими їм силами та підприємств, що забезпечують виконання організаційних, інженерно-технічних, санітарно-гігієнічних, протиепідемічних та інших заходів у сфері запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Загрози життєво важливих інтересів громадян, держави, суспільства поділяються на зовнішні та внутрішні і виникають під час надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру та воєнних конфліктів.

Зовнішні загрози безпосередньо пов'язані з безпекою життєдіяльності населення і держави у разі розв'язання сучасної війни або локальних збройних конфліктів, виникнення глобальних техногенних екологічних катастроф за межами України, які можуть спричинити негативний вплив на населення та територію держави.

Внутрішні загрози пов'язані з надзвичайними ситуаціями техногенного і природного характеру або можуть бути спровоковані терористичними діями.

З метою захисту населення, зменшення втрат та шкоди економіці в разі виникнення надзвичайних ситуацій має право проводитися спеціальний комплекс заходів.

Спостереження і контроль за довкіллям, продуктами харчування і водою забезпечується створенням і підтримкою в постійній готовності загальнодержавної і територіальних систем спостереження і контролю з включенням до існуючих сил та засобів контролю незалежно від підпорядкованості.

## 5 ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

В даному розділі спробуємо виявити суто економічну оцінку доцільності застосування обладнання відновлюваної енергетики для електропостачання індивідуального житлового будинку. Дана оцінка може бути реалізована з використанням простих розрахунків економічної ефективності, до яких відноситься термін окупності капіталовкладень. Щоправда, цей розрахунок насправді не буде спрощеним. Тут ми врахуємо вартісні показники енергетичного обладнання – вітроелектричної та фотоелектричної установок, а також врахуємо вартість виробленої ними електроенергії.

Для визначення вартості виробленої електроенергії, яку має виробити гібридна установка скористаємося формулою:

$$B_{ел} = C_{ел} \cdot E_{ел}, \quad (5.1)$$

де  $C_{ел}$  – поточна ціна 1 кВт·год. електроенергії, грн.;  $E_{ел}$  – необхідний обсяг електроенергії для потреб індивідуального житлового будинку, кВт·год.

Отже,

$$B_{ел} = 4946 \cdot 4,32 = 21367 \text{ грн.}$$

Зважаючи на те, що гібридна енергетична установка повинна виробити необхідний обсяг електроенергії можна вважати, що дане значення і є економічним ефектом.

Тепер слід врахувати те, що у кожному із варіантів гібридної системи електропостачання є періоди, коли енергетична система виробляє замало електроенергії. Тобто в ці періоди необхідно частину електроенергії взяти із зовнішньої електромережі. Величина цих обсягів була вказана в табл. 3.2-3.6. Занесемо отримані значення у табл. 5.1, де також будуть подані результати розрахунку економічної ефективності гібридної енергетичної системи.

Таблиця 5.1 – Розрахунок економічної ефективності застосування комбінованих енергетичних установок без систем акумулювання електроенергії

| Варіант системи | К-сть нестачі електроенергії, кВт·год. | Вартість нестачі електроенергії, грн. | Вартість системи, грн | Загальна вартість, кВт·год. | Термін окупності, років |
|-----------------|----------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|
| WT 100%         | 459                                    | 1983                                  | 231783                | 233766                      | 10,94                   |
| PV 100%         | 1363                                   | 5888                                  | 107166                | 113054                      | 5,29                    |
| WT 30% - PV 70% | 710                                    | 3067                                  | 144170                | 147237                      | 6,89                    |
| WT 50% - PV 50% | 455                                    | 1966                                  | 169762                | 171728                      | 8,04                    |
| WT 70% - PV 30% | 382                                    | 1655                                  | 193381                | 195035                      | 9,13                    |

Отже, якщо працюватиме тільки вітроелектрична установка, обсяг купівлі електроенергії становитиме 459 кВт·год., а якщо тільки фотоелектрична установка – то 1363 кВт·год. У вартісному виразі це буде дорівнювати 1983 і 5888 грн, відповідно. У випадку застосування гібридної системи з різним рівнем заміщення від вітроелектричної та фотоелектричної установок, то обсяг купівлі електроенергії становитиме 382 кВт·год. для варіанта WT 70% - PV 30%, 455 кВт·год. для варіанта WT 50% - PV 50%, і 710 кВт·год. для варіанта WT 30% - PV 70%, що у грошовому виразі становитиме 1655, 1966 та 3067 грн, відповідно.

Слід також зауважити, що у кожному із варіантів є періоди, коли є нестача виробленої електроенергії. Цю нестачу слід отримати із зовнішньої електромережі за стандартною вартістю. Тобто, в кожному варіанті до вартості енергетичної системи було додано вартість електроенергії, яку слід купити.

Знаючи економічний ефект від роботи гібридної установки, а також її вартість можна розрахувати термін окупності капіталовкладень за формулою

$$T_{ок} = \frac{B_{г\ddot{и}р}}{\sum E_{г\ddot{и}р}}, \quad (5.2)$$

де  $B_{г\ddot{и}р}$  – загальна вартість гібридної енергетичної системи, грн., яка також містить вартість купівлі електроенергії.

Отже, отримаємо для фотоелектричної установки

$$T_{ок} = \frac{107166 + 5888}{21367} = 5,29 \text{ років.}$$

Результати розрахунків заносимо в табл. 5.1. Аналогічні розрахунки проводимо для всіх варіантів пропонованої гібридної системи. Як видно з табл. 5.1, незважаючи на найбільшу кількість електроенергії, яку слід купити в зовнішній електромережі, найефективнішим, з економічної точки зору, є варіант, коли вся електроенергія виробляється фотоелектричною установкою. За такого варіанта термін окупності становитиме 5,29 року. Використання тільки вітроелектричної установки є найдорожчим варіантом через високу її вартість. Серед гібридних варіантів найефективнішим є варіант WT 30% - PV 70%, коли термін окупності становить не повні сім років.

Слід зауважити, що ці розрахунки виконані лише для мережевого варіанта гібридної енергетичної системи. З врахуванням того, що встановлення системи накопичення електроенергії є дуже рекомендованим, виконаємо аналогічні розрахунки з врахуванням того, що буде додатково встановлений потужний акумулятор типу LiFePO<sub>4</sub>. Результати цих розрахунків подано в табл. 5.2.

Як видно з табл. 5.2, додавання до вартості енергетичної системи затрат на купівлю акумулятора не змінив загальну тенденцію у рівні ефективності. Зокрема, найдешевшим варіантом тут також є варіант, реалізований лише на базі фотоелектричної установки, хоча і термін окупності вже став доволі великим, майже 10 років. Найбільший термін окупності тут також є у варіанті з моноенергетичним використанням вітроелектричної установки, коли він становить 15,48 років.

Таблиця 5.2 – Розрахунок економічної ефективності застосування комбінованих енергетичних установок із системою акумулювання електроенергії

| Варіант системи | К-сть нестачі електроенергії, кВт·год. | Вартість нестачі електроенергії, грн. | Вартість системи, грн | Загальна вартість, кВт·год. | Термін окупності, років |
|-----------------|----------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|
| WT 100%         | 459                                    | 1983                                  | 328783                | 330766                      | 15,48                   |
| PV 100%         | 1363                                   | 5888                                  | 204166                | 210054                      | 9,83                    |
| WT 30% - PV 70% | 710                                    | 3067                                  | 241170                | 244237                      | 11,43                   |
| WT 50% - PV 50% | 455                                    | 1966                                  | 266762                | 268728                      | 12,58                   |
| WT 70% - PV 30% | 382                                    | 1655                                  | 290381                | 292035                      | 13,67                   |

Стосовно гібридних варіантів, то варіант WT 30% - PV 70% тут також є найефективнішим з терміном окупності у 11,43 роки.

Зважаючи на щораз більшу імовірність виникнення блек-ауту, вважаємо за доцільне таки встановити систему акумулювання, хоча її вартість і є доволі великою, та спричинює суттєве збільшення терміну окупності капіталовкладень.

Як було зазначено вище, система гарячого водопостачання реалізована на базі газового котла, який частину свого навантаження взимку скеровує на цю потребу. В літній період часу, коли система опалення не працює, нагрів води здійснюється від вбудованого ТЕНа, тобто застосовується електронагрів. Тому, частина електрогенерації, яка забезпечується гібридною енергетичною системою повинна компенсувати відповідну кількість електроенергії. Таким обсягом електроенергії є надлишок електровиробництва. Тобто, у випадку виникнення надлишку, не відбуватиметься зниження продуктивності інвертора, а весь надлишковий обсяг буде використаний з користю. В такому випадку загальна вартість енергетичної системи може бути зменшена на вартість надлишково виробленої і утилізованої у системі гарячого

водопостачання електроенергії. В табл. 5.3, подано результати розрахунку економічної ефективності застосування гібридної енергетичної системи з утилізацією надлишків.

Таблиця 5.3 – Розрахунок економічної ефективності застосування комбінованих енергетичних установок із системою акумулювання електроенергії та утилізацією надлишково виробленої електроенергії

| Варіант системи | К-сть надлишку електроенергії, кВт·год. | Вартість надлишку електроенергії, грн. | Вартість системи, грн | Загальна вартість, кВт·год. | Термін окупності, років |
|-----------------|-----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------|
| WT 100%         | 635                                     | 2743                                   | 330766                | 328023                      | 15,35                   |
| PV 100%         | 775                                     | 3350                                   | 210054                | 206704                      | 9,67                    |
| WT 30% - PV 70% | 734                                     | 3172                                   | 244237                | 241065                      | 11,28                   |
| WT 50% - PV 50% | 542                                     | 2343                                   | 268728                | 266385                      | 12,47                   |
| WT 70% - PV 30% | 449                                     | 1939                                   | 292035                | 290096                      | 13,58                   |

Як видно з табл. 5.1, відносно даних, які подані у табл. 5.2, відбулися незначні зміни у терміні окупності, оскільки вартість утилізації надлишку становить приблизно 1% від вартості енергетичної системи. Однак, це також означає, що індивідуальний житловий будинок досяг вищої незалежності та енергоефективності, оскільки було використано весь обсяг електроенергії, який продукує гібридна енергетична система.

## ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Енергетична криза в країні, викликана військовою агресією росії, зростання вартості традиційних енергоносіїв зумовлюють перехід на альтернативні енергетичні ресурси, якими є відновлювані джерела енергії. Крім суто енергетичного зиску, використання відновлюваних джерел енергії має ще й екологічну складову, яка є важливою в світлі сучасних екологічних трендів.

Об'єктом дослідження є індивідуальний житловий будинок, де робиться спроба оцінити можливість і доцільність забезпечити електропостачання з використанням обладнання відновлюваної енергетики. Зокрема, заплановано використання двох установок: вітроелектричної та фотоелектричної.

Насамперед було досліджено рівень споживання енергетичних ресурсів на потреби індивідуального житлового будинку. Зокрема, проаналізовано споживання електричної енергії, а також витрату природного газу на потреби тепlopостачання. Окремо було досліджено витрату енергії для забезпечення гарячого водопостачання, яке має сезонну специфіку використання енергетичних ресурсів для його енергозабезпечення.

Відповідно до бажаних типів енергетичних установок, було здійснено дослідження природного потенціалу вітрового потоку та енергетичного потенціалу сонячної радіації. Для цього було застосовано методику відбору даних з використанням відкритих інтернет-ресурсів, зокрема сайту NASA.

Також було проаналізовано динамічну характеристику надходження вибраних природних енергетичних ресурсів, що виявило їх сезонну взаємооберненість.

Для реалізації гібридної енергетичної системи було розроблено її структуру, яка передбачає також, крім використання вітроелектричної та фотоелектричної установок, системи накопичення електроенергії.

Дослідження можливості застосування обладнання відновлюваної енергетики для електропостачання індивідуального житлового будинку було розпочато із моновалентного їх використання. Зокрема, потужність вітроустановки становила 1,6 кВт, а потужність фотоелектричної установки – 4,77 кВт. Побудова енергетичних балансів відповідних систем засвідчило, що вітроелектрична установка більшою мірою відповідає динаміці споживання. В той час, як фотоелектрична установка має не зовсім відповідну сезонну динаміку.

Для побудови гібридної енергетичної системи було застосовано теоретичне моделювання параметрів, яке передбачало встановлення відповідного рівня заміщення для кожної із структурної одиниці. Так було застосовано наступні рівні заміщення: PV-30% WT-70%; PV-50% WT-50% і PV-70% WT-30%. Як базові варіанти також було застосовані моноенергетичні установки. Для вказаних варіантів енергетичних систем було виконано розрахунки їх продуктивності, обсягів нестачі виробленої електроенергії, а також обсяги надлишково виробленої електроенергії. На основі виконаних розрахунків були побудовані енергетичні баланси, які дозволили візуалізувати відповідність запропонованих варіантів енергетичних систем умовам застосування.

В результаті аналізу виявилось, що кращі результати можуть бути отримані у випадку збільшеного рівня заміщення виробництва електроенергії за рахунок вітроелектричної установки, оскільки її сезонна динаміка є близькою до динаміки споживання електроенергії. Також було обґрунтовано параметри системи акумулювання електричної енергії що дозволить усунути часову залежність періоду електрогенерації та електроспоживання.

Виконано аналіз виробничих небезпек під час експлуатації електроенергетичного обладнання, моделювання процесів формування і виникнення виробничих небезпек під час експлуатації енергетичних установок, розроблено заходи запобігання травм і аварій під час

енергозабезпечення індивідуального житлового будинку, а також опрацьовано питання безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Для кінцевого обґрунтування варіанта гібридної енергетичної системи виконано порівняльну економічну оцінку запропонованих варіантів з різним рівнем заміщення виробництва електроенергії за рахунок вітроелектричної та фотоелектричної установок. В основі економічного обґрунтування лежить методика розрахунку терміну окупності капіталовкладень в спорудження гібридної енергетичної системи.

Отже, за показником мінімізації терміну окупності найкращим варіантом видається моноенергетичне використання фотоелектричної установки. Однак така система характеризується найбільшою невідповідністю динамічних енергетичних потоків. З точки зору мінімізації обсягів недостатнього виробництва електроенергії, то найкращі результати дає гібридна система WT 70% - PV 30%, але вона має серед гібридних варіантів найвищий термін окупності.

Також було виконано оцінку ефективності систем із застосуванням засобів накопичення електроенергії. Тут було отримано аналогічні результати, оскільки система акумулювання для всіх варіантів симетрично збільшила термін окупності. З врахуванням того, що заплановано максимальний рівень утилізації виробленої гібридною енергетичною системою електроенергії, то також розглянуто варіант із врахуванням цього аспекту.

З врахуванням всіх розглянутих варіантів енергетичних систем та динамічних характеристик їх сезонної роботи, найбільш раціональним видається варіант із рівнем заміщення виробництва електроенергії PV-70% WT-30%.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Mukud R. Patel. Wind and Solar Power System. London, New York, Washington. CPC Press. 2019. 350 p.
2. POWER Data Access Viewer. Prediction Of Worldwide Energy Resource – [Electronic resource]. Загол. з титул екрану. Access mode: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.
3. Szymanski B. Instalacje fotowoltaiczne. Wydanie III. Krakow: Redakcja GLOBEnergia, 2014. 249 s.
4. Tytko R. Urządzenia i systemy energetyki odnawialnej. Wydanie piąte uzupełnione. Krakow: Wydawnictwo i Drukarnia Towarzystwa Słowaków w Polsce, 2014. 671 s.
5. Гальчак В. П., Боярчук В. М. Альтернативні джерела енергії. Енергія Сонця. Львів: вид. ЛНАУ, 2008. 135 с.
6. Гальчак В.П., Боярчук В.М., Сиротюк С.В., Коробка С.В., Станицький Т.О. Сонячна енергія та інсоляція: Монографія. Львів, Магнолія 2006, 2024. 242 с.
7. Коробко О. В., Троян Ю. І. Методичні вказівки до практичної роботи "Моделювання процесів формування та виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій на виробництві" з дисципліни "Охорона праці в галузі" для студентів всіх форм навчання. Запоріжжя : ЗНТУ, 2011. 18 с.
8. Кудря С. О., Головка В. М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії: навч. посіб. К. : НТУУ "КПІ", 2011. 184 с.
9. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: підруч. К. : НТУУ "КПІ", 2012. 492 с.
10. Серіков Я. О. Основи охорони праці: Навчальний посібник для студентів вищих закладів освіти. Харків : ХНАМГ, 2007. 227с.

- 11.Сиротюк С. В. Оцінка надходження відновлюваних джерел енергії на сприймаючу поверхню. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи з дисципліни "Проектування і обслуговування систем відновлюваної енергетики" для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Львів : ЛНАУ, 2015. 17 с.
- 12.Сиротюк С. В. Проектування і обслуговування вітроелектричних систем. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи з дисципліни "Проектування і обслуговування систем відновлюваної енергетики" для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Львів : ЛНАУ, 2015. 17 с.
- 13.Сиротюк С. В. Проектування і обслуговування сонячних систем електропостачання. Методичні рекомендації до виконання лабораторної роботи з дисципліни "Проектування і обслуговування систем відновлюваної енергетики" для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Львів : ЛНАУ, 2015. 17 с.
- 14.Сиротюк С. В., Боярчук В. М., Гальчак В. П. Альтернативні джерела енергії. Енергія вітру. Львів: "Магнолія 2006", 2017. 182 с.