

**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:

**„ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ПАРАМЕТРІВ  
ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ СИСТЕМИ  
ЕНЕРГООЩАДНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПС 220КВ  
"БОРИСЛАВ"»**

Виконав: студент 2 курсу групи Ен-61з  
спеціальності 141 „Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка”  
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

\_\_\_\_\_ **Вінцовський В.Р.**  
(підпис) (Прізвище та ініціали)

Керівник: \_\_\_\_\_ **Сиротюк С. В.**  
(підпис) (Прізвище та ініціали)

Рецензент: \_\_\_\_\_ **Тригуба А.М.**  
(Прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЗАОЧНОЇ  
ТА ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ  
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  
Вінцковському Віктору Романовичу

1. Тема роботи: "ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ПАРАМЕТРІВ  
ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ СИСТЕМИ ЕНЕРГООЩАДНОГО  
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПС 220КВ "БОРИСЛАВ"

Керівник роботи: Сиротюк Сергій Валерійович, 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. Актуальність теми, мета і завдання дослідження.

4.2. Теоретичні основи розрахунку систем енергозабезпечення об'єктів з  
використанням відновлюваних джерел енергії.

4.3. Інженерна реалізація системи енергозабезпечення об'єкта з  
використанням сонячної електростанції.

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      | Актуальність теми, мета і завдання дослідження                              | 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 гібридної 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 \_\_\_\_\_ Вінцовський В. Р.  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Сиротюк С. В.  
(підпис)

УДК 621.311.243:621.316.925:620.9

Вінцовський В. Р. "Обґрунтування структури та параметрів фотоелектричної установки системи енергоощадного електропостачання ПС 220кВ "Борислав". Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський НУВМБ, 2025. 55 с. текстової частини, 15 рисунків, 8 таблиць, 14 джерел.

В кваліфікаційній роботі обґрунтовано структуру та параметри гібридної сонячної електростанції для електропостачання досліджуваного об'єкта. Розробка такої системи була виконана на основі аналізу рівня споживання електроенергії, а також на основі оцінки енергетичного потенціалу сонячного випромінювання в регіоні дослідження. Оцінка відповідності параметрів сонячної електростанції була виконана на основі побудови енергетичного балансу. Зокрема в процесі обґрунтування параметрів було визначено параметри інвертора, системи акумулювання електроенергії, засобів захисту та комутації. Проаналізовано стан охорони праці в процесі експлуатації електрогенерувального обладнання, розроблено заходи щодо його покращення, а також розроблено заходи із захисту цивільного населення в умовах надзвичайних ситуацій. Економічна оцінка дозволила визначити суто економічну складову ефективності застосування запропонованих енергетичних рішень для досліджуваного підприємства.

СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ГІБРИДНА ЕНЕРГЕТИЧНА УСТАНОВКА, ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, УСТАНОВКА НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ, ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                | Стор. |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Вступ                                                                                                          | 7     |
| 1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ                                                               | 9     |
| 1.1 Характеристика предмету і об'єктів дослідження                                                             | 9     |
| 1.2 Аналіз існуючих типів сонячних електростанцій                                                              | 14    |
| 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ | 18    |
| 2.1 Визначення енергетичних потреб досліджуваного об'єкта                                                      | 18    |
| 2.2 Оцінка енергетичного потенціалу сонячного випромінювання в регіоні дослідження                             | 20    |
| 3 ІНЖЕНЕРНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТА З ВИКОРИСТАННЯМ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ              | 24    |
| 3.1 Обґрунтування структури сонячної електростанції                                                            | 24    |
| 3.2 Обґрунтування параметрів основних компонентів фотоелектричної станції                                      | 27    |
| 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ                                                            | 43    |
| 4.1 Аналіз виробничих небезпек під час експлуатації електроенергетичного обладнання                            | 43    |
| 4.2 Оцінка рівня небезпеки виникнення аварій і травм під час електрозабезпечення об'єктів                      | 44    |

|                                                                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.3 Моделювання процесів формування і виникнення виробничих небезпек під час обслуговування сонячної фотоелектричної установки | 45 |
| 4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях                                                                                           | 47 |
| 5 ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ                                                                                               | 49 |
| ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ                                                                                                          | 52 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ                                                                                                       | 54 |

## ВСТУП

Розвиток електроенергетики неминуче стикнеться з головними проблемами, серед яких є шкода екології, вартість та доступність викопних видів палива тощо. Ці чинники зумовлюють поступове зростання тарифів на електричну енергію. З іншого боку, паралельним курсом розвивається альтернативний напрямок електроенергетики, який базується на використанні відновлюваних джерел енергії, зокрема на енергії сонячного випромінювання. Цей вид енергії характеризується винятковою екологічністю, невичерпністю первинного енергетичного джерела, хоча й не позбавлений вад, таких як годинна, добова та сезонна нерівномірність.

Світова тенденція розвитку сонячної електроенергетики свідчить про її виняткову перспективність, тому цей напрямок в Україні також повинен отримати серйозний поштовх для розвитку, що фактично і спостерігається.

**Метою даної роботи** є забезпечення вискоєфективного генерування електричної енергії за рахунок використання фотоелектричних установок для реалізації сонячного енергетичного потенціалу регіону дослідження.

### **Завдання дослідження:**

- провести аналіз загальної ситуації на ринку відновлюваної енергетики та сонячної електроенергетики зокрема;
- провести аналіз існуючих схем електрогенерації з використанням сонячних фотоелектричних установок;
- провести загальний аналіз регіону дослідження;
- виконати підбір відповідної ділянки для влаштування сонячної фотоелектричної станції;
- провести оцінку енергетичного потенціалу сонячного випромінювання для конкретної зони використання фотоелектричної станції;
- обґрунтувати раціональну структуру та розробити електричну схему сонячної фотоелектричної станції;

- здійснити обґрунтування параметрів основних структурних елементів сонячної електростанції;
- здійснити обґрунтування параметрів допоміжних структурних елементів сонячної електростанції;
- провести комплексний аналіз та розробити заходи щодо безпечної експлуатації фотоелектричної станції;
- провести аналіз електричної продуктивності сонячної електростанції та техніко-економічних показників її функціонування.

**Предметом дослідження** є процес генерування електроенергії сонячною фотоелектричною станцією та встановлення характеру взаємозв'язків між її структурними елементами.

**Об'єктом дослідження** є обґрунтована структура системи електричної генерації з використанням фотоелектричних установок.

## РОЗДІЛ 1

### АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### 1.1 Характеристика предмету і об'єктів дослідження

##### 1.1.1 Загальна характеристика галузі відновлюваної енергетики

Відновлювана енергетика невпинно нарощує свої потужності, які свідчать про все зростаючий її вплив на розвиток енергетичного сектору загалом. Намагання країн світу знизити негативний вплив діяльності людства на навколишнє середовище та усунення чинників глобального потепління вже давно є пріоритетом національних програм розвитку енергетичного сектору.

Зважаючи на зростання попиту на електричну та теплову енергію, яка зазвичай виробляється із використанням викопних видів палива, які стають щораз важкодоступними, скеровування поглядів у сторону відновлюваної енергетики є перспективним. Сучасні тенденції енергетичної галузі свідчать про значну динаміку розвитку відновлюваної енергетики. На це вказують серед іншого серйозні інвестиції, які вливаються у цю галузь. Так, за даними [7] загальні інвестиції у відновлювану енергетику сягнули 728 млрд. доларів США. При цьому незаперечним лідером з інвестицій у відновлювану енергетику є Китай, який вклав 290 млрд. доларів США (рис. 1.1). Європейський союз разом з Великобританією інвестували всього 114 млрд. доларів США. Сполучені штати Америки дещо знизили рівень інвестицій у відновлювану енергетику і які становлять 97 млрд. доларів США.

Слід також зауважити, що незважаючи на те, що деякі країни та регіони дещо знизили рівень інвестування у відновлювану енергетику, загальний обсяг загалом має позитивну тенденцію, що свідчить про послідовну політику країн.

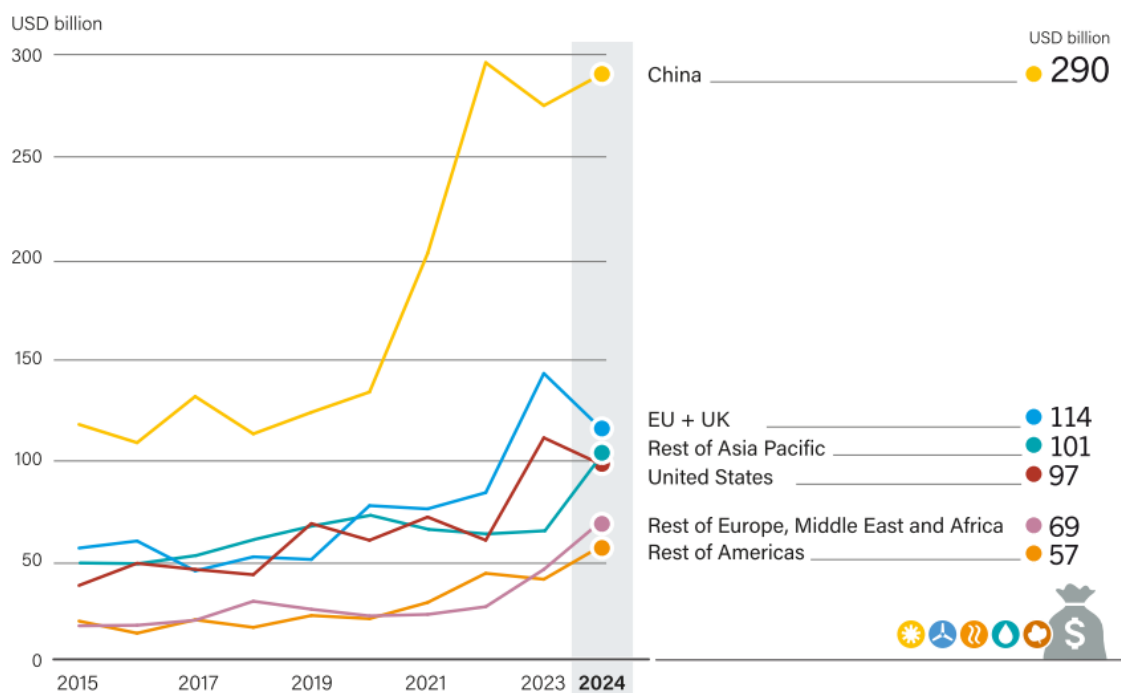


Рисунок 1.1 – Загальні інвестиції у відновлювану енергетику в розрізі країн та регіонів світу

Щодо галузей, то найбільшої динаміки вдалося досягнути фотоелектриці (рис. 1.2).

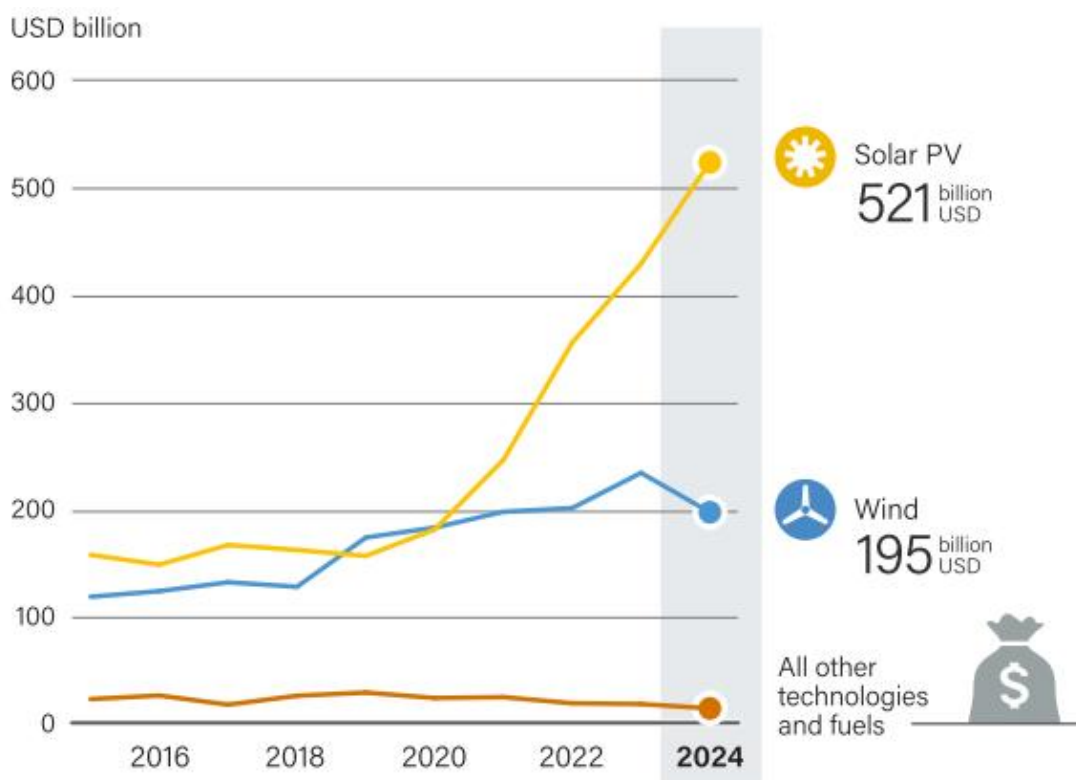


Рисунок 1.2 – Інвестиції у відновлювану енергетику за галузями

Як видно з рис. 1.2, основним напрямком інвестиційної діяльності припадає на сонячну електроенергетику з обсягом 521 млрд. доларів США, а друге місце займає вітроенергетика з обсягом інвестицій 195 млрд. доларів США. Причому, як видно з рис. 1.2, динаміка вітроенергетики є досить пологою з незначним спадом за останній період, а динаміка сонячної електроенергетики є стрімко зростаюча. Тобто, розвиток даної галузі є дуже перспективний.

Щодо такого параметру як потужність встановлених установок, то тут також беззаперечним лідером є сонячна електроенергетика, яка демонструвала найбільший приріст серед інших галузей (рис.1.3).

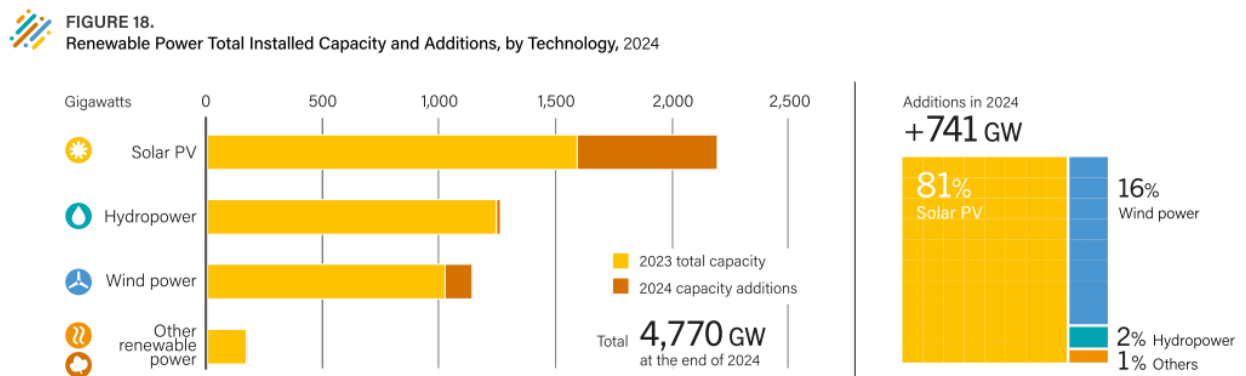


Рисунок 1.3 – Встановлена потужність об'єктів відновлюваної енергетики

Як видно з рис. 1.3, сонячна електроенергетика забезпечила приріст потужностей понад 80% від усіх галузей, які сукупно забезпечили введення в експлуатацію 741 МВт виробничих потужностей. Слід зауважити, що сонячна електроенергетика обійшла навіть гідроенергетику, яка завжди була лідером серед об'єктів відновлюваної енергетики. Другим напрямком, який демонструє позитивну тенденцію є вітроенергетика, яка забезпечили приріст 16% всього обсягу.

Іншим показником, який вказує на перспективність та динаміку розвитку галузей відновлюваної енергетики є зайнятість населення. Так, аналізуючи дані, подані на рис. 1.4, видно, що найбільша кількість осіб зайняті

саме у сонячній електроенергетиці, і становлять 2,2 млн. осіб. Загалом у сонячній енергетиці працює 44 % всіх працівників галузі відновлюваної енергетики.

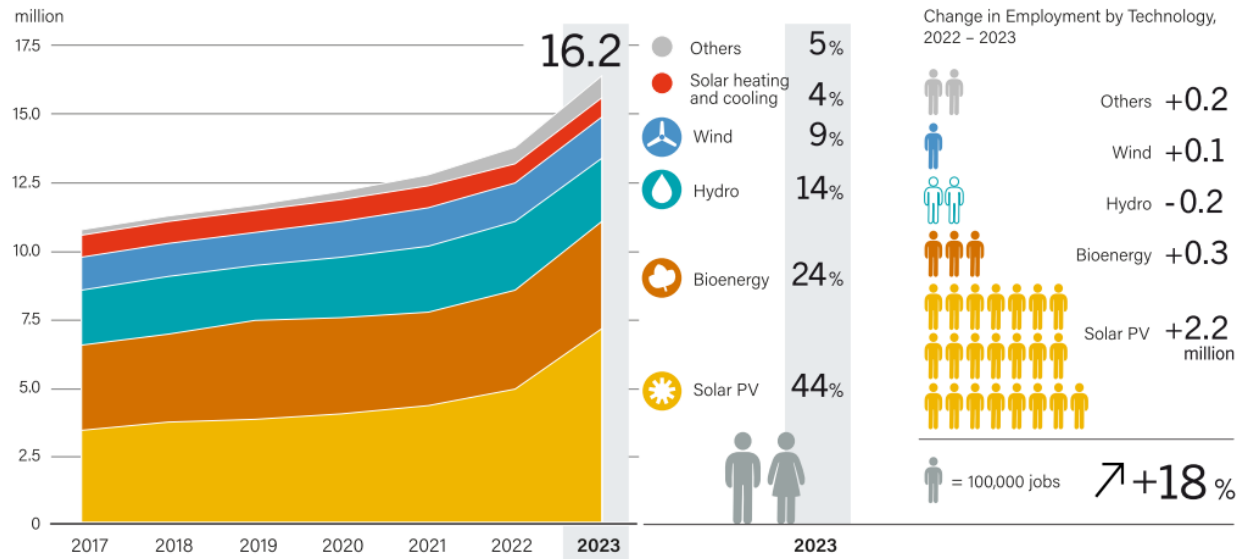


Рисунок 1.4 – Зайнятість у сфері відновлюваної енергетики

Щодо річного приросту зайнятості, то він становив 18%, що є доволі високим показником.

#### 1.1.2 Стан і перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні

Українська відновлювана енергетика також демонструє хороші темпи розвитку, незважаючи на війну, яку веде росія проти нашої країни. Зокрема, сумарна потужність об'єктів відновлюваної енергетики в Україні на кінець 2024 року становив 8,773 ГВт, при тому, що близько 3,5 ГВт потужностей знаходяться на тимчасово окупованих територіях. Загалом цей поступ забезпечують 1767 об'єктів відновлюваної енергетики, які обслуговують тисячі компаній.

Так, частка відновлюваної енергетики в енергетичному балансі країни становила 9,8 %.

У 2024 році сектор відновлюваної енергетики в Україні демонстрував зростання: виробництво з ВДЕ збільшилося на 6,4% і досягло майже 11% енергобалансу [4]. Найбільший приріст забезпечила сонячна енергетика –

близько 850 МВт нових потужностей, тоді як у вітровому секторі додано лише 20 МВт. На 2025 рік затверджено річні квоти: 33 МВт для СЕС, 250 МВт – для ВЕС та 47 МВт – для інших джерел. Граничні аукціонні ціни: 8 євроцентів/кВт·год для сонця і вітру, 12 євроцентів – для інших технологій.

Внаслідок війни пошкоджено до 75% об'єктів ВДЕ, а втрати вітроенергетики сягнули понад 50 млн євро прямих збитків і близько 500 млн євро – через простій. Уряд спрямовує відновлення за принципами «build back better/greener», роблячи акцент на модернізації, енергоефективності та зростанні частки чистої генерації.

Попри ризики, інвестиційна активність залишається високою. ДТЕК інвестує 450 млн євро у Тилігульську ВЕС – найбільший проєкт за роки війни. Загалом у секторі доступно понад 50 інвестиційних можливостей на 177 млрд грн, зокрема у розвиток сонячних і вітрових станцій, водневої енергетики та систем накопичення. Для зменшення ризиків діють механізми страхування та створено Фонд розвитку України за участі BlackRock і JPMorgan.

У 2025 році ключовим технологічним здобутком стало масштабне впровадження систем накопичення енергії: шість комплексів сумарною потужністю 200 МВт та ємністю 400 МВт·год забезпечать гнучкість енергосистеми та електропостачання до 600 тис. домогосподарств. Загальні інвестиції – 140 млн євро. Паралельно реалізується Концепція «розумних мереж» до 2035 року, що має знизити втрати електроенергії, скоротити витрати на обслуговування та зменшити тривалість перерв постачання.

Гібридні системи виробництва енергії стають пріоритетом, оскільки дають змогу зменшити капітальні й операційні витрати на 3–16%. Понад 25% нових систем накопичення інтегруються з об'єктами ВДЕ. Запроваджено норму, що вимагає встановлення накопичувачів потужністю не менше 25% від номіналу станції з можливістю чотиригодинного зберігання енергії.

У фінансовій сфері максимальні аукціонні ціни збережено на рівні 8–12 євроцентів/кВт·год. Оновлені «зелені» тарифи для домогосподарств з 2025

року становлять: 576,91 коп/кВт·год (СЕС), 407,37 коп/кВт·год (ВЕС), 466,24 коп/кВт·год (гібридні системи). Державний бюджет передбачає 54 млрд грн на енергетичні проекти, а ЄІБ виділяє 16,5 млн євро на модернізацію критичної інфраструктури. Найбільший приватний проєкт – друга черга Тилігульської ВЕС на 500 МВт.

Україна отримала право експортувати електроенергію ВДЕ до ЄС через «Гарантованого покупця». Запровадження гарантій походження підвищило довіру до української «зеленої» електрики, посилило конкурентоспроможність експорту та може забезпечити до 150 млн євро надходжень щомісяця.

У підсумку, відновлювана енергетика визначена одним із ключових напрямів післявоєнного відновлення: вона забезпечує енергетичну незалежність, сприяє інтеграції до європейського ринку та формує стійку енергосистему.

## **1.2 Аналіз існуючих типів сонячних електростанцій**

Виконаємо короткий аналіз існуючих типів сонячних електростанцій, на основі чого буде здійснюватися обґрунтування структури для досліджуваного підприємства.

Мережеві сонячні електростанції. Це найпоширеніший варіант сонячних станцій, який встановлюють у приватних домогосподарствах по всій Україні. До складу системи входять мережевий інвертор, фотомодулі, а також захисне й комутаційне обладнання. Оскільки станція не потребує акумуляторних батарей для зберігання енергії та підключається безпосередньо до електромережі, вона вирізняється високою надійністю та тривалим терміном служби. Усі її компоненти розраховані на багаторічну роботу без необхідності регулярної заміни будь-яких витратних матеріалів. Крім того, інтегрований у інверторі модуль моніторингу дає змогу дистанційно контролювати параметри

роботи станції та відстежувати виробіток електроенергії за день, місяць чи весь період експлуатації [3].

Такі станції встановлюють, щоб зменшити власне споживання електроенергії та продавати надлишок виробленої енергії за «зеленим» тарифом. Важливо врахувати, що ключовою умовою роботи мережевої СЕС є наявність зовнішнього електроживлення. У разі його відсутності станція не функціонує, тому для безперебійного або резервного живлення необхідно застосовувати додаткове обладнання чи обирати інший тип сонячної електростанції. Варіант такої сонячної електростанції подано на рис.1.5.

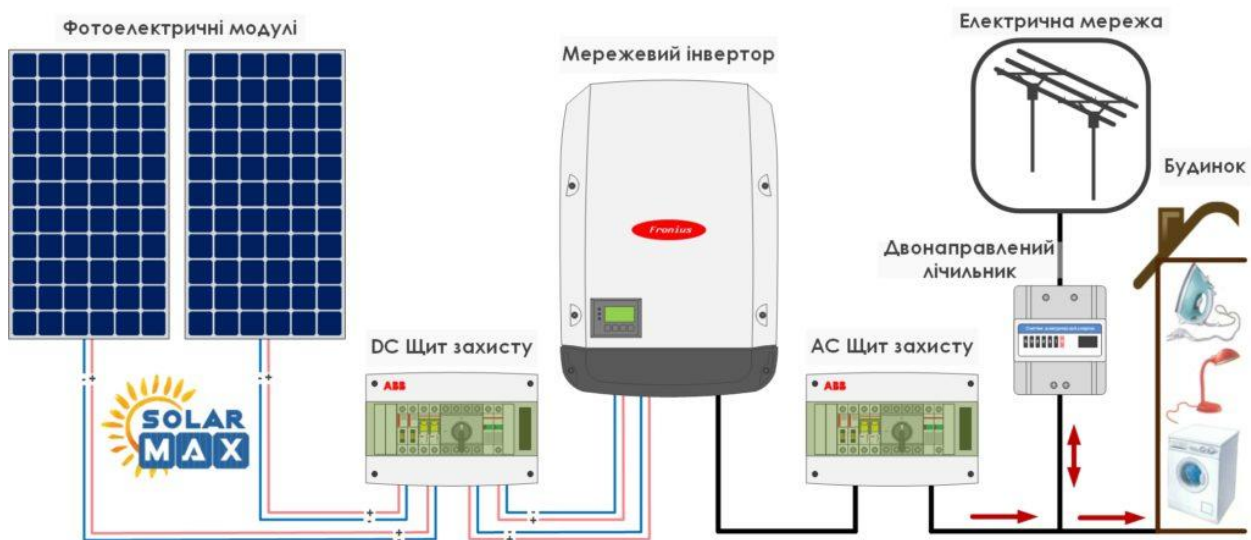


Рисунок 1.5 – Мережева сонячна електростанція

Гібридна сонячна електростанція. Гібридна сонячна електростанція має значно ширші можливості порівняно з класичною мережевою. До її складу входять гібридний інвертор, фотомодулі, акумуляторні батареї та додаткове обладнання. Завдяки наявності накопичувачів енергії така станція здатна працювати навіть за відсутності зовнішнього електропостачання, забезпечуючи безперервне живлення всіх підключених приладів у приватному будинку. У той час як власники мережевих СЕС під час аварійних вимкнень змушені шукати альтернативні джерела живлення, користувачі гібридних систем можуть продовжувати використовувати електроенергію в звичному

режимі. Водночас надлишок виробленої енергії, як і у випадку з мережевими станціями, також може продаватися за «зеленим» тарифом.

Варто зазначити, що наявність акумуляторних батарей суттєво підвищує вартість встановлення такої станції. Тому гібридні системи доцільно розглядати насамперед у ситуаціях, коли виникають постійні перебої в електроживленні або зовнішня мережа взагалі відсутня. Щоб уникнути проблем із швидким вичерпанням ресурсу свинцево-кислотних акумуляторів, ми одразу рекомендуємо встановлювати літієві батареї – вони забезпечують більш ніж десятирічний термін служби навіть у режимі регулярних циклів. Зі зниженням вартості літієвих накопичувачів популярність гібридних станцій буде лише зростати.

Підсумовуючи, гібридні СЕС встановлюють для зменшення власного споживання електроенергії, продажу надлишків за «зеленим» тарифом і забезпечення безперебійного живлення всіх електроприладів. Варіант такої установки подано на рис. 1.6.



Рисунок 1.6 – Гібридна сонячна електростанція

Автономна сонячна електростанція. Це найменш поширений тип сонячних станцій. Його зазвичай встановлюють для забезпечення автономного

або резервного живлення приватних будинків та інших об'єктів, які не мають доступу до зовнішньої електромережі. Через високу вартість систем акумулювання енергії потужність таких станцій зазвичай підбирають лише для живлення окремої лінії з найважливішими малопотужними споживачами.

Якщо станцію планується використовувати для повноцінної щоденної автономної роботи (без підключення до зовнішньої мережі), ми рекомендуємо застосовувати літієві акумулятори – вони забезпечують тривалий термін служби та стабільну роботу системи. Для надійної роботи в зимовий період бажано доповнити станцію бензиновим або дизельним генератором.

У разі, коли система призначена лише для резервного живлення й не працюватиме на щоденній основі, можна використовувати свинцево-кислотні акумулятори. Водночас важливо уникати їхнього глибокого розряду, оскільки це призводить до швидкої втрати ресурсу та передчасного виходу акумулятора з ладу. Варіант такої установки подано на рис. 1.7.

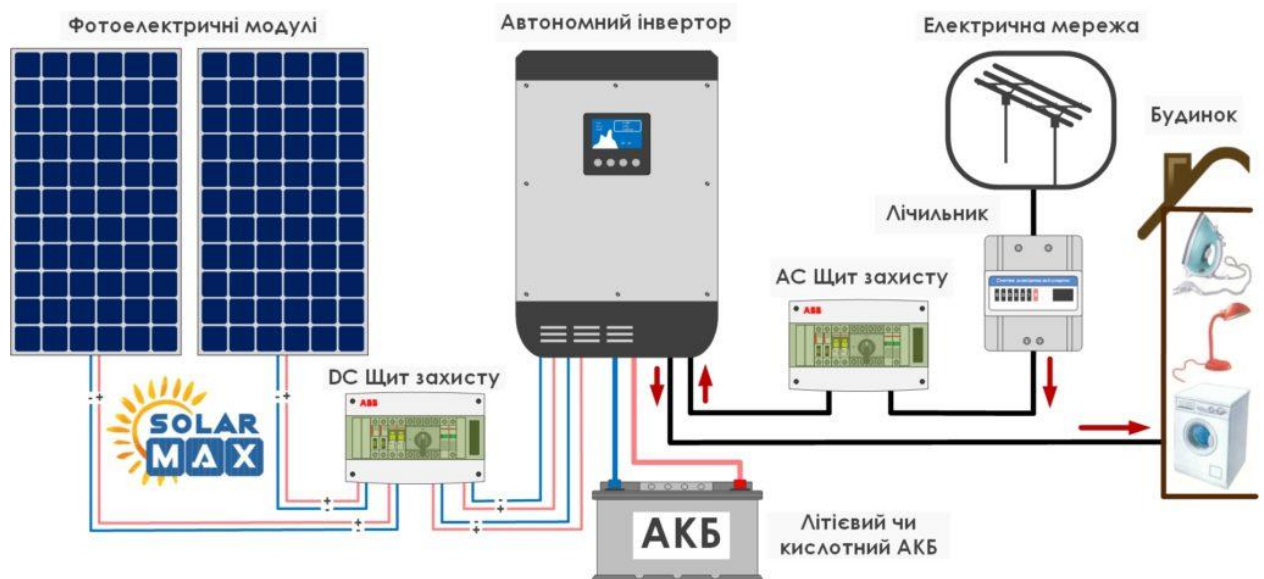


Рисунок 1.7 – Автономна сонячна електростанція

Як бачимо з огляду, для умов застосування в досліджуваному підприємстві, напевно буде найкращою, гібридна сонячна електростанція.

## **РОЗДІЛ 2**

### **ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ СИСТЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ**

#### **2.1 Визначення енергетичних потреб досліджуваного об'єкта**

Досліджуваний об'єкт є доволі специфічним об'єктом критичної інфраструктури, тому частина відомостей не може бути розголошена під час воєнного стану. Зокрема, обмежено доступ до показників структури, енергетичних параметрів, номенклатури обладнання тощо. Крім того, додатковим обмежувальним чинником є те, що тут відсутній пооб'єктний облік електроенергії. Тобто, є лише один ввідний лічильник споживання електроенергії на власні потреби, лише дані якого є доступними для оцінки рівня споживання енергетичних ресурсів.

На основі даних про місячне споживання електроенергії можемо зобразити графічну динаміку, яка подана на рис. 2.1.

Загалом споживання електроенергії досліджуваним об'єктом складно піддається технологічному розрахунку, через його різноплановість, сезонну особливість та залежність від погодних умов. Зокрема, на території об'єкта міститься три ввідно-розподільчі пристрої з напругою 220, 110 і 35 кВ. Вони використовуються на високовольтних трансформаторних підстанціях. До їх складу входять опорні конструкції для підвішування шин, підключення ліній електропередач та встановлення високовольтного обладнання, таких як вимикачі та трансформатори. Їх основною функцією є прийом електроенергії високої напруги та її розподіл між споживачами. Для цього на ВРП застосовують: опорні конструкції – сталеві або залізобетонні портали, які утримують струмоведучі частини та обладнання на висоті; комутаційне

обладнання – апарати для комутації (вмикання/вимикання) високовольтних ліній, наприклад, вакуумні або елегазові вимикачі; вимірювальні трансформатори – включають трансформатори струму (ТТ) і напруги (ТН) для вимірювання та захисту; система шинопроводу – забезпечує передачу електроенергії між різними елементами пристрою, часто має кілька ярусів шин; захист мережі - системи релейного захисту та протиаварійної автоматики (РЗА) для захисту від коротких замикань та перевантажень.

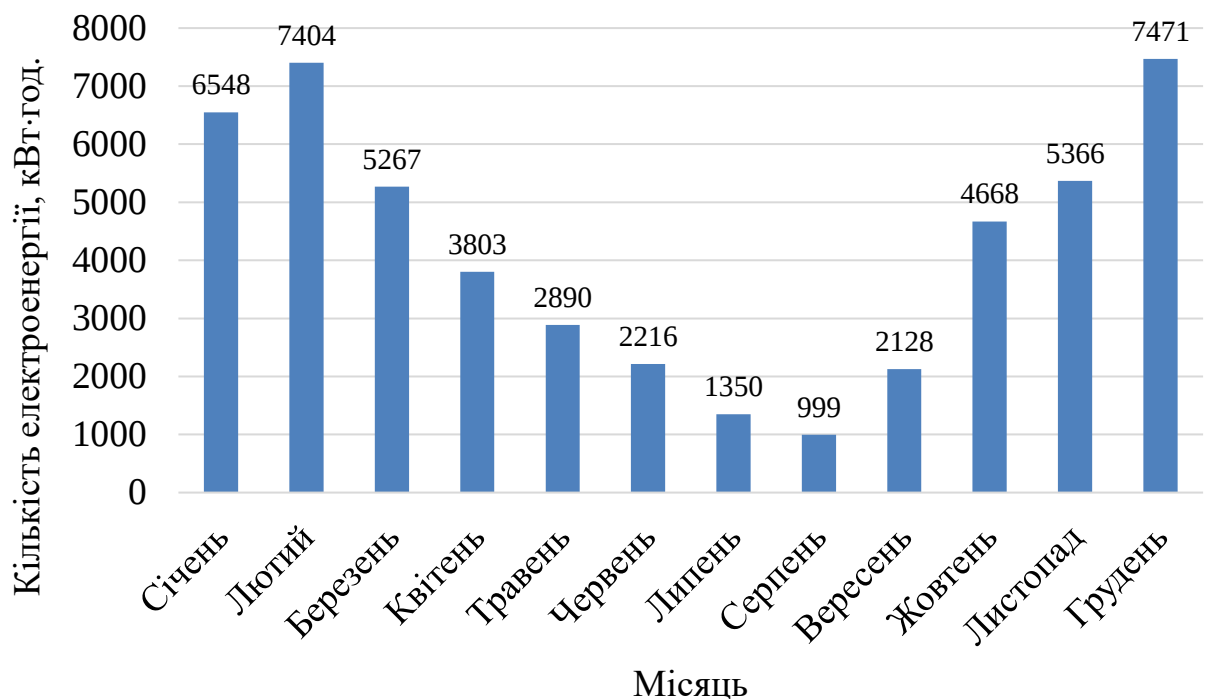


Рисунок 2.1 – Динаміка споживання електроенергії на власні потреби досліджуваним об'єктом

Вони потребують охолодження в літній період, а також обігрів масляних вимикачів у холодний період року.

Також на об'єкті міститься закритий розподільчий пристрій, який розміщується у приміщенні, де необхідно підтримувати оптимальну температуру, тобто у зимовий період забезпечувати обігрів. В будинку основного пункту управління необхідно забезпечити: обігрів акумуляторної в

холодну пору; обігрів приміщень; влітку охолодження; освітлення; живлення оргтехніки; живлення засобів обліку обладнання тощо.

В майстерні необхідно забезпечити: обігрів приміщення, при потребі використання зварки; живлення печі для сушіння цеоліту при виконанні капітальних ремонтів масляних вимикачів тощо.

Крім того, необхідно забезпечити електроживлення систем освітлення території, охоронних систем, систем відеоспостереження тощо.

## **2.2 Оцінка енергетичного потенціалу сонячного випромінювання в регіоні дослідження**

Для вирішення питання електропостачання досліджуваного об'єкта за рахунок використання сонячних фотоелектричних модулів необхідним є оцінка величини природного енергетичного потоку, який є базою для їх роботоздатності. Тобто, необхідно виявити величину рівня сонячного опромінення сприймаючої поверхні в реальних умовах у певний період сезону року. Для цього можна скористатися різною методикою. Одна з них передбачає встановлення метеорологічної станції, яка буде вимірювати рівень сонячної радіації впродовж не менше одного року. Надалі за спеціальною методикою з врахуванням даних за багаторічні вимірювання, які містяться у спеціальних метеорологічних довідниках здійснюється адаптація даних. За іншою, яка не потребує встановлення метеорологічної станції, можна одразу використати довідникові дані, однак тут може бути часова похибка. Третій метод, найпростіший, полягає у отриманні даних з інтернет-ресурсів, яким, наприклад, є сайт NASA.

Під час вивчення низки дисциплін напрямку відновлюваної енергетики, зокрема, "Проектування та обслуговування систем відновлюваної енергетики" дану методику було детально описано, і нею часто користувалися.

Отже, необхідно зайти на сайт Національного аерокосмічного агентства Сполучених Штатів Америки за посиланням: <https://power.larc.nasa.gov/>.

Далі слід вибрати вікно перегляду даних, де можна вибрати координату місцевості, для якої буде сформовано дані про рівень сонячної радіації. На рис. 2.2, подано фрагмент робочого вікна сайту Power Data Access Viewer з вказівкою місця розташування досліджуваного об'єкта.

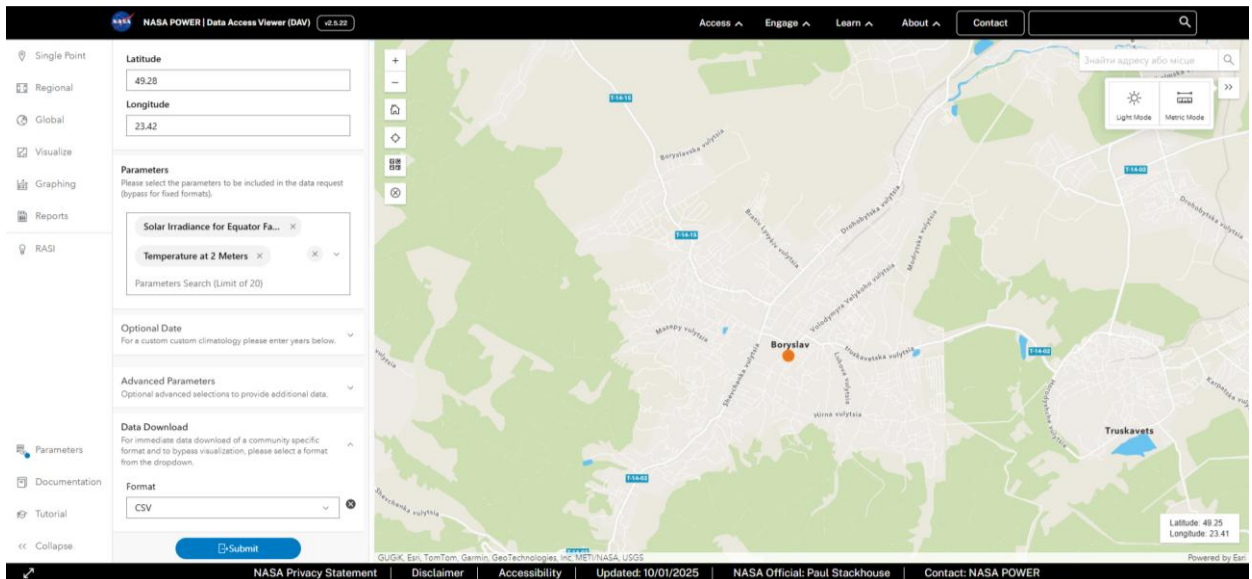


Рисунок 2.2 – Фрагмент робочого вікна сервісу Power Data Access Viewer

Як підсумок, було отримано файл з даними про рівень сонячної радіації для кожного із місяців року. Отримані дані заносимо в табл. 2.1.

Виконаємо аналіз отриманих результатів, які вміщено у табл. 2.1. Отже, для отримання максимальної продуктивності необхідно розташовувати фотомодулі з кутом нахилу до горизонту рівним SI\_TILTED\_AVG\_LAT\_MINUS15, тобто з кутом, який на  $15^\circ$  є меншим від географічної широти, тобто  $34^\circ$ . Для більш вирівняного рівня надходження сонячної радіації на фотомодулі впродовж року, доцільно їх встановлювати з кутом на  $15^\circ$  більшим від географічної широти, тобто з кутом  $64^\circ$ . А середній рівень, який є не прив'язаний до режиму використання електроенергії відповідає куту нахилу фотомодулів рівним географічній широті, тобто  $49^\circ$ .

Оскільки, горизонтальне та вертикальне розміщення є явно гірше від перелічених варіантів, то їх надалі розглядати не будемо.

Таблиця 2.1 – Середньодобове надходження сонячної радіації на фотоелектричний модуль, кВт·год./м<sup>2</sup>·день

| Місяць року | SI_TILTED_AVG_HORIZONTAL | SI_TILTED_AVG_LAT_MINUS15 | SI_TILTED_AVG_LATITUDE | SI_TILTED_AVG_LAT_PLUS15 | SI_TILTED_AVG_VERTICAL |
|-------------|--------------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------|
| Січень      | 0,92                     | 1,47                      | 1,6                    | 1,65                     | 1,54                   |
| Лютий       | 1,6                      | 2,23                      | 2,34                   | 2,34                     | 2,09                   |
| Березень    | 2,77                     | 3,39                      | 3,41                   | 3,26                     | 2,67                   |
| Квітень     | 4,1                      | 4,46                      | 4,26                   | 3,86                     | 2,8                    |
| Травень     | 4,91                     | 4,9                       | 4,53                   | 3,98                     | 2,72                   |
| Червень     | 5,28                     | 5,09                      | 4,63                   | 4,02                     | 2,69                   |
| Липень      | 5,25                     | 5,15                      | 4,71                   | 4,1                      | 2,74                   |
| Серпень     | 4,84                     | 5,15                      | 4,86                   | 4,36                     | 3,07                   |
| Вересень    | 3,43                     | 4,11                      | 4,06                   | 3,81                     | 2,97                   |
| Жовтень     | 2,12                     | 2,99                      | 3,11                   | 3,07                     | 2,63                   |
| Листопад    | 1,07                     | 1,7                       | 1,83                   | 1,87                     | 1,7                    |
| Грудень     | 0,71                     | 1,24                      | 1,38                   | 1,43                     | 1,35                   |
| Середнє     | 3,08                     | 3,49                      | 3,39                   | 3,15                     | 2,41                   |

Для покращеного сприйняття рівня сонячного випромінювання отримані результати подамо у вигляді графічних залежностей (рис. 2.3).

Як видно з рис. 2.3, зміщення кута нахилу відносно географічної широти у більшу сторону спричинює певне зниження рівня сонячного опромінення в літній період часу, натомість в зимовий період відбувається незначне, але збільшення рівня сонячного опромінення. З врахуванням того, що у літній період року зазвичай обсяг потенційної енергії сонячного випромінювання є у декілька разів вищим від необхідного обсягу, тому певне зниження рівня сонячного опромінення не буде шкідливим.

Таким чином, з точки зору кращої роботи фотоелектричних модулів у зимовий період, встановлення їх під більшим кутом нахилу до горизонту буде, напевно, виправданим.

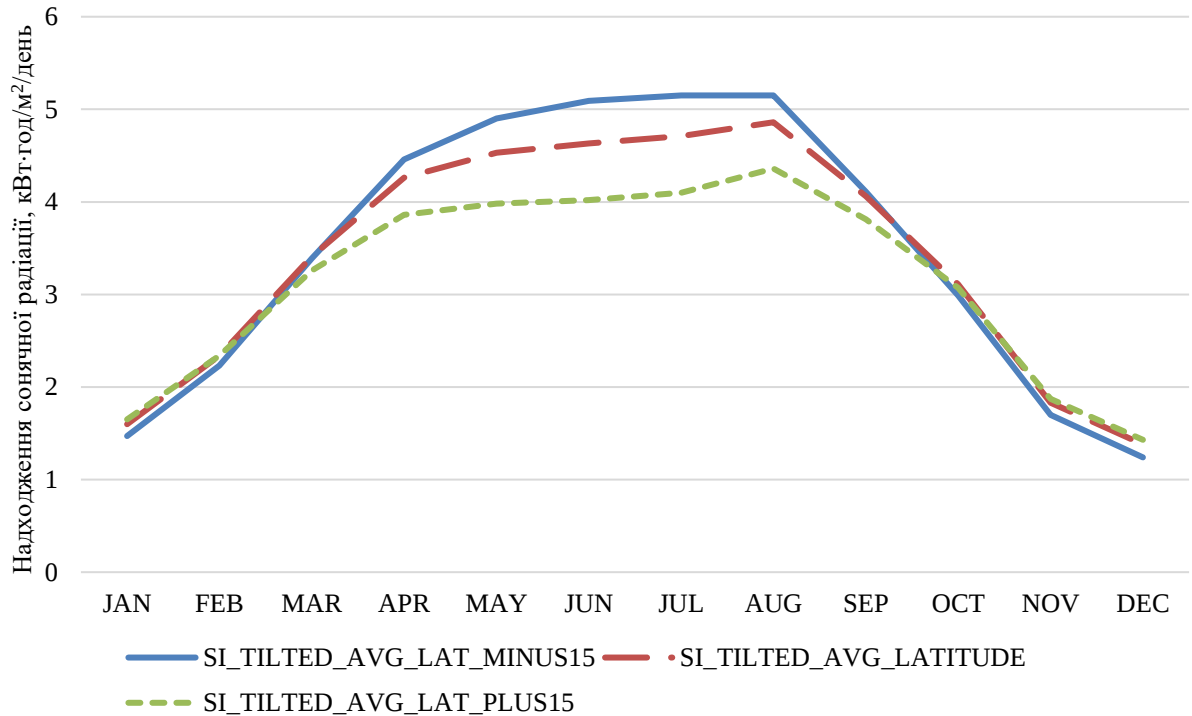


Рисунок 2.3 – Рівень сонячного випромінювання за місяцями року

З іншого боку, довільний кут встановлення фотоелектричних модулів можливий лише у тому випадку, коли проєктується наземна сонячна електростанція, коли кут нахилу можна встановити довільний. В нашому випадку, залежно від потужності сонячної станції можливе встановлення фотомодулів на даху, який вже має певний кут нахилу, і який може бути не такий оптимальний, як той, що його визнали раціональним.

## РОЗДІЛ 3

### ІНЖЕНЕРНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОБ'ЄКТА З ВИКОРИСТАННЯМ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

#### 3.1 Обґрунтування структури сонячної електростанції

Фотоелектрична станція, яку рекомендовано до застосування може бути реалізована різним способом, які будуть різнитися типом засобів, які будуть вибрані. Перш за все йдеться про тип інвертора та кут встановлення фотомодулів до горизонту. Кут встановлення фотомодулів до горизонту буде впливати на динамічну продуктивність за сезонами року, а тип інвертора на особливість роботи сонячної електростанції впродовж дня, чутливість до імовірних затінь, ефективність перетворення енергії постійного струму на змінний тощо.

З точки зору встановлення кута нахилу, то доцільним є проведення розрахунків з трьома кутами нахилу, які будуть відповідати кутам: географічна широта, кут на  $15^\circ$  меншим від географічної широти, і на  $15^\circ$  більшим від неї. Насправді тут навряд чи буде відчутна різниця у рівні продуктивності, але однак, може бути різниця, яка вказуватиме на більш чи менш оптимальний варіант для конкретного динамічного рівня споживання. Для того, слід буде будувати графіки енергетичного балансу, які це можуть підтвердити.

Щодо типу інвертора, то тут йдеться про застосування трьох типів інверторів: мікроінвертор (рис. 3.1,а), до якого приєднується від одного до чотирьох фотомодулів; стрінговий інвертор (рис. 3.1,б), до якого приєднується один або декілька стрінгів, залежно від потужності інвертора; центральний інвертор (рис. 3.1,в), до якого приєднуються всі стрінги фотоелектричного поля, що характерно для сонячних електростанцій мегаватного класу.

Причому стрінгом називають певну послідовність приєднання фотомодулів, які формують забезпечення високої напруги на вході в інвертор.

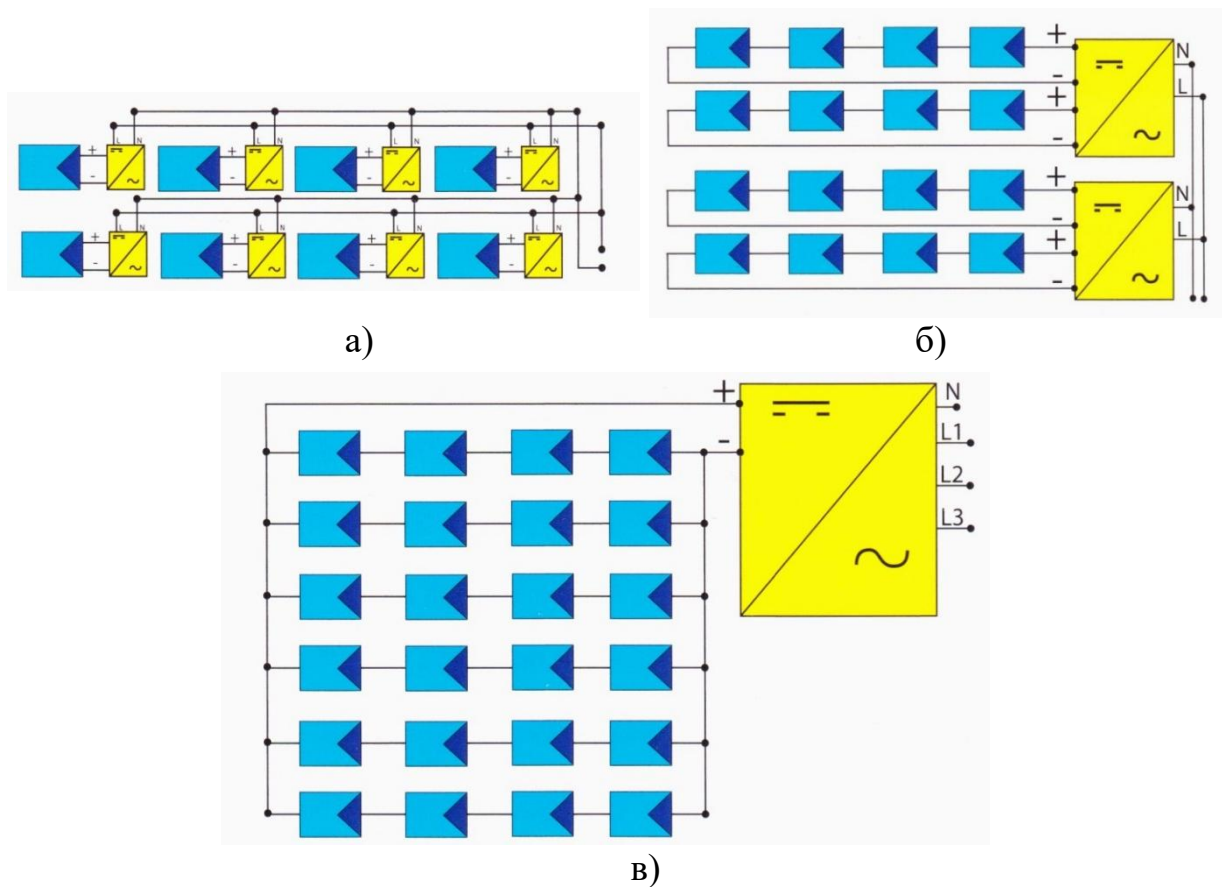


Рисунок 3.1 – Архітектура сонячних електростанцій за типом інвертора

Мікроінвертори матимуть перевагу у випадку встановлення фотомодулів на даху, який має складну конфігурацію і виникатимуть умови для хаотичного затінення фотомодулів. В цьому випадку, застосування мікроінверторів має перевагу над стрінговим. Однак у випадку значних потужностей та можливості встановлювати фотомодулі на наземній конструкції їх застосування не буде раціональним, перш за все через вищу вартість такої системи.

Щодо стрінгових інверторів, то вони також можуть бути різними. Можна застосувати один великий стрінговий інвертор, або декілька меншою потужності. Тут вибір повинен базуватися на величині загальної потужності сонячної електростанції.

Варіант з центральним інвертором навряд чи слід застосовувати, оскільки потенційна потужність сонячної електростанції буде не такою великою.

В нашому випадку, навіть така структура буде не зовсім відповідною, оскільки є потреба забезпечити мінімальні аварійні енергетичні потреби для підприємства. Такий варіант можливий додатковим встановленням систем акумулювання електроенергії. Тут також є варіанти, які можуть бути реалізовані, залежно від типу інвертора та схеми системи.

Зокрема, найпростішим варіантом є застосування гібридного інвертора, з яким в парі буде працювати відповідної ємності система акумулювання. Як варіант, можлива система, коли використовується мережевий інвертор, і окремо встановлена система акумулювання електроенергії, яка має власну систему керування (зарядний пристрій, захист від глибокого розряду, захист від перезаряду тощо). Другий варіант більш приданий для великих систем накопичення електроенергії, тому оптимальним в нашому випадку буде застосування мережевого гібридного інвертора.

Тоді принципова електрична схема фотоелектричної установки буде мати вигляд (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Схема фотоелектричної установки живлення досліджуваного об'єкта

## 3.2 Обґрунтування параметрів основних компонентів фотоелектричної станції

### 3.2.1 Визначення продуктивності фотомодулів

Визначення параметрів системи електропостачання, що працює на базі сонячної електростанції, полягає у розрахунку продуктивності однієї обраної фотоелектричної панелі та подальшому масштабуванні отриманого результату на кількість панелей, передбачених у системі. Ця методика розрахунку викладена в методичних рекомендаціях "Проектування і обслуговування сонячних систем електропостачання" дисципліни "Проектування і обслуговування систем відновлюваної енергетики" [24].

Отже, середньоденна продуктивність визначаємо за формулою [24]

$$W_{PV}^{\partial} = \eta \cdot H_{\beta}^{\partial} \cdot S \cdot \eta_{in}, \quad (3.1)$$

де  $\eta$  - коефіцієнт корисної дії фотомодуля;  $H_{\beta}^{\partial}$  - надходження сонячної енергії на фотомодуль, кВт·год.;  $S$  – площа фотомодуля, м<sup>2</sup>;  $\eta_{in}$  - коефіцієнт корисної дії інвертора.

На основі добової продуктивності фотомодуля можна розрахувати її місячну продуктивність за формулою [24]

$$W_{PV}^M = W_{PV}^{\partial} \cdot n_{om}, \quad (3.2)$$

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

Сума всіх місячних значень дозволить визначити річну продуктивність фотомодуля:

$$W_{PV}^P = \sum_{i=1}^{12} W_{PV_i}^M. \quad (3.3)$$

Виконаємо розрахунки за формулами (3.1) – (3.3) і визначимо річну продуктивність вибраного типу фотомодуля.

$$W_{PV}^{\partial} = 0,218 \cdot 1,932 \cdot 0,97 \cdot 1,47 = 0,6 \text{ кВт}\cdot\text{год.};$$

$$W_{PV}^M = 0,6 \cdot 31 = 18,6 \text{ кВт}\cdot\text{год.};$$

$$W_{pич} = 18,6 + 25,48 + 42,78 + 54,6 + 62 + 62,4 + 65,1 + \\ + 65,1 + 50,4 + 37,82 + 20,7 + 15,81 = 520,79 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Результати розрахунків для всіх інших місяців заносимо в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Продуктивність фотоелектричного модуля 182 Моно JTH-440W

| Місяць року | $H_b$ , кВт·год. | $W_{cd}$ , кВт·год. | $W_{mic}$ , кВт·год. |
|-------------|------------------|---------------------|----------------------|
| 1           | 1,47             | 0,6                 | 18,6                 |
| 2           | 2,23             | 0,91                | 25,48                |
| 3           | 3,39             | 1,38                | 42,78                |
| 4           | 4,46             | 1,82                | 54,6                 |
| 5           | 4,9              | 2                   | 62                   |
| 6           | 5,09             | 2,08                | 62,4                 |
| 7           | 5,15             | 2,1                 | 65,1                 |
| 8           | 5,15             | 2,1                 | 65,1                 |
| 9           | 4,11             | 1,68                | 50,4                 |
| 10          | 2,99             | 1,22                | 37,82                |
| 11          | 1,7              | 0,69                | 20,7                 |
| 12          | 1,24             | 0,51                | 15,81                |
| Разом       | 41,88            | 17,09               | 520,79               |

На основі продуктивності одного фотомодуля визначимо потрібну їх кількість для виробництва необхідного обсягу електроенергії за формуло [24]

$$N_{PV} = \frac{E_{op}}{W_{PV}^p}. \quad (3.4)$$

Отже, отримаємо

$$N_{PV} = \frac{50110}{520,79} = 96,22 \text{ шт.}$$

Скорегуємо рівень виробництва електроенергії фотоелектричною установкою за формулою:

$$W_{PVS}^M = W_{PV}^M \cdot N_{PV} . \quad (3.5)$$

Отже, для січня місяця отримаємо

$$W_{PVS}^M = 18,6 \cdot 97 = 1804,2 \text{ кВт·год.}$$

Розрахунки помісячного виробництва електроенергії фотоелектричною установкою подаємо в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Розрахунок виробництва електроенергії фотоелектричною установкою

| Місяць року | $W_{mic}$ , кВт·год. | $W_{фес}$ , кВт·год. |
|-------------|----------------------|----------------------|
| 1           | 18,6                 | 1804,2               |
| 2           | 25,48                | 2471,56              |
| 3           | 42,78                | 4149,66              |
| 4           | 54,6                 | 5296,2               |
| 5           | 62                   | 6014                 |
| 6           | 62,4                 | 6052,8               |
| 7           | 65,1                 | 6314,7               |
| 8           | 65,1                 | 6314,7               |
| 9           | 50,4                 | 4888,8               |
| 10          | 37,82                | 3668,54              |
| 11          | 20,7                 | 2007,9               |
| 12          | 15,81                | 1533,57              |
| Разом       | 520,79               | 50516,63             |

Далі нам необхідно визначити помісячні обсяги недовиробництва і перевиробництва електроенергії, які визначатимуть ефективність функціонування системи. Недовиробництво та перевиробництво електроенергії кожним джерелом окремо можна визначити за формулою:

$$\Delta W = W_{фес} - E , \quad (3.6)$$

Отже, для січня місяця отримаємо

$$\Delta W = 1804,2 - 6548 = -4743 \text{ кВт·год.}$$

Результати розрахунку по інших місяцях подамо в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Розрахунок обсягів перевиробництва і недовиробництва електроенергії сонячною фотоелектричною та вітроелектричною системами

| Місяць року | Потреба в електроенергії, кВт·год. | Виробництво електроенергії системою, кВт·год. | Енергетичний баланс, кВт·год. |
|-------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|
| 1           | 6548                               | 1804,2                                        | -4743,80                      |
| 2           | 7404                               | 2471,56                                       | -4932,44                      |
| 3           | 5267                               | 4149,66                                       | -1117,34                      |
| 4           | 3803                               | 5296,2                                        | 1493,20                       |
| 5           | 2890                               | 6014                                          | 3124,00                       |
| 6           | 2216                               | 6052,8                                        | 3836,80                       |
| 7           | 1350                               | 6314,7                                        | 4964,70                       |
| 8           | 999                                | 6314,7                                        | 5315,70                       |
| 9           | 2128                               | 4888,8                                        | 2760,80                       |
| 10          | 4668                               | 3668,54                                       | -999,46                       |
| 11          | 5366                               | 2007,9                                        | -3358,10                      |
| 12          | 7471                               | 1533,57                                       | -5937,43                      |
| ВСЬОГО      | 50110                              | 50516,63                                      | x                             |

В цій таблиці знак "+" свідчить, що є надлишок виробництва електричної енергії фотоелектричною установкою, а знак "-", що є нестача виробництва електроенергії.

Як видно з табл. 3.3, обсяг недовиробництва – 21089 кВт·год., що складає близько 40% від виробленого обсягу електроенергії. Це є непоганий варіант, враховуючи те, що річна динаміка виробництва електроенергії не зовсім відповідає річній динаміці споживання електроенергії. Крім того, в літній період відбуватиметься виробництво надлишкової електроенергії у розмірі 21495 кВт·год., який можна скеровувати до зовнішньої електромережі на умовах взаємозаліку.

Візуалізація енергетичного балансу фотоелектричної установки подано на рис. 3.3.

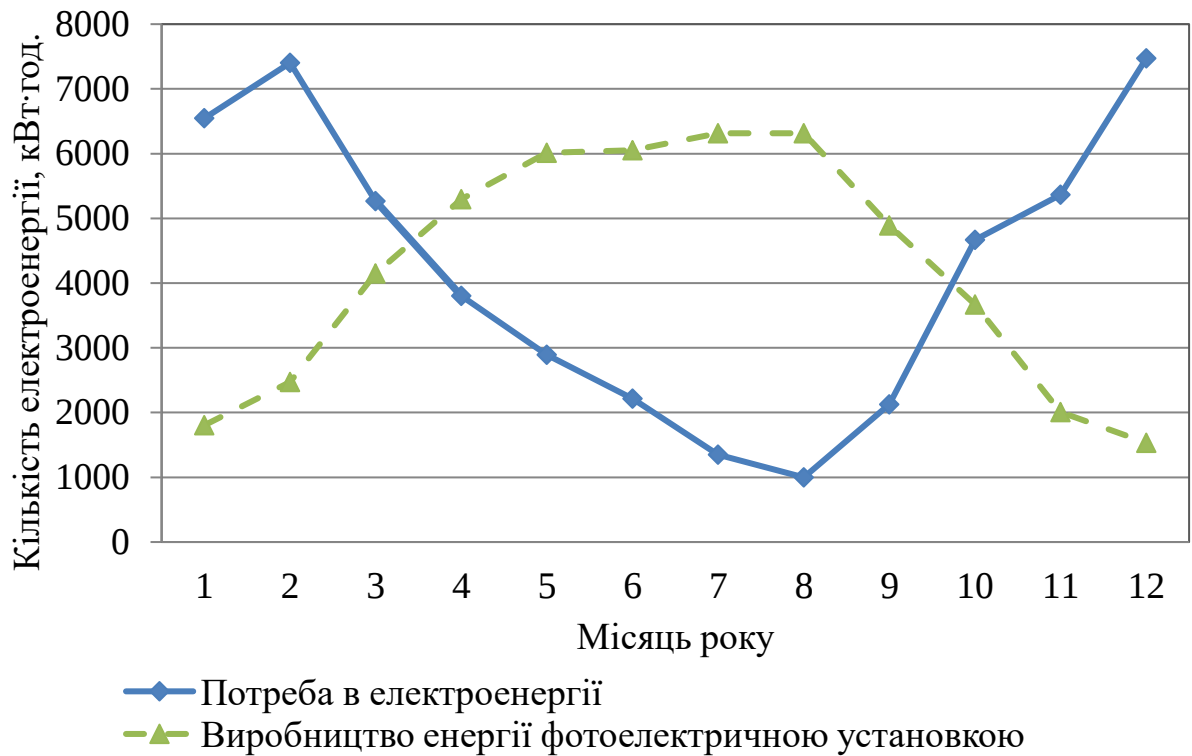


Рисунок 3.3 – Енергетичний баланс фотоелектричної установки

### 3.2.2 Обґрунтування параметрів інвертора

Оскільки конструктивні та площинні можливості даху зазвичай дозволяють встановити фотоелектричні модулі сумарною потужністю, що перевищує номінальну потужність інвертора, процес узгодження параметрів системи доцільніше здійснювати шляхом підбору потужності фотопанелей під вибраний інвертор, а не навпаки – підлаштовувати інвертор під заздалегідь визначену кількість модулів.

За умов високої інтенсивності сонячного випромінювання температура фотоелектричних панелей може зростати до 50–70 °С, що зумовлює зниження їхньої вихідної потужності на 5–15 % відносно номінального значення. Додатково слід враховувати втрати електричної енергії в кабельних лініях, а також зменшення генерації внаслідок забруднення поверхні модулів у процесі експлуатації. Сукупний вплив перелічених чинників, характерних для кліматичних умов України, призводить до того, що фактична пікова

потужність фотоелектричної установки лише епізодично та на короткий час може досягати близько 90 % від номінальної потужності PV-генератора, тоді як у тривалому робочому режимі вона, як правило, не перевищує 80 % від значення, визначеного за стандартних тестових умов (STC).

З огляду на це в інженерній практиці прийнято вважати доцільним, щоб встановлена потужність фотоелектричного генератора перевищувала номінальну потужність інвертора змінного струму у 1,05–1,15 рази, тобто була більшою на 5–15 %. Для мікроустановок, у яких забезпечення оптимального співвідношення між потужністю інвертора та PV-генератора часто ускладнене, допустимий діапазон цього співвідношення може бути ширшим і становити приблизно 0,90–1,18 відносно потужності інвертора.

Розрахуємо допустимий діапазон потужностей масиву фотомодулів для вибраного типу інвертора за формулами:

$$P_{PV \min} = P_{AC} \cdot k_{\min}, \quad (3.7)$$

$$P_{PV \max} = P_{AC} \cdot k_{\max}, \quad (3.8)$$

де  $P_{AC}$  – потужність інвертора на виході (змінний струм), Вт;  $k_{\min}$ ,  $k_{\max}$  – коефіцієнт мінімального і максимального навантаження інвертора за потужністю.

Отже, отримаємо

$$P_{PV \min} = 10000 \cdot 1,05 = 10500 \text{ Вт};$$

$$P_{PV \max} = 10000 \cdot 1,15 = 11500 \text{ Вт};$$

Перерахуємо отримані потужності на кількість фотомодулів за формулами:

$$N_{PV \min} = \frac{P_{PV \min}}{P_{PV}}, \quad (3.9)$$

$$N_{PV \max} = \frac{P_{PV \max}}{P_{PV}}. \quad (3.10)$$

Отже, отримаємо

$$N_{PV \min} = \frac{10500}{440} = 24 \text{ фотомодулів};$$

$$N_{PV \max} = \frac{11500}{440} = 26 \text{ фотомодулів}.$$

Для погодження вольт-амперних характеристик фотомодулів до інвертора необхідно перевірити ці значення з технічних характеристик (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Параметри основних енергетичних компонентів

| Параметри фотомодуля<br>182 Mono JTH-440W                           |       | Параметри інвертора<br>JTH-10K-H3P                       |       |
|---------------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------|-------|
| Максимальна потужність,<br>Вт                                       | 440   | Максимальна потужність<br>$P_{AC}$ , Вт                  | 10000 |
| Струм короткого<br>замикання, $I_{sc}$ , А                          | 9,5   | Максимальна напруга на<br>вході, $U_{\max}$ , В          | 800   |
| Напруга холостого ходу,<br>$V_{oc}$ , В                             | 58,55 | Нижня межа роботи в<br>режимі MPPT, $U_{MPPT \min}$ , В  | 200   |
| Струм в точці<br>максимальної потужності,<br>$I_{mpp}$ , А          | 8,97  | Верхня межа роботи в<br>режимі MPPT, $U_{MPPT \max}$ , В | 650   |
| Напруга в точці<br>максимальної потужності,<br>$V_{mpp}$ , В        | 49,06 | Номінальна напруга, $U_{nom}$ , В                        | 600   |
| Температурний показник<br>напруги холостого ходу, $b$ ,<br>%/°C     | 0,275 | Кількість незалежних MPPT<br>входів                      | 2     |
| Температурний показник<br>струму короткого<br>замикання, $g$ , %/°C | 0,045 | Максимальний струм $I_{\max}$<br>для кожного MPPT, А     | 22    |

### 3.2.3 Визначення напруги і струму в граничних температурних режимах роботи фотомодулів

Першим кроком є визначення зміни напруги на вибраному фотомодулі на 1 °C, Для цього в технічних характеристиках необхідно знайти значення температурного коефіцієнта напруги холостого ходу  $\beta$  (англ. Temperature Coefficient of  $U_{oc}$ ). З врахуванням даних на вибраний тип фотомодуля зміна

температури на 1 °C спричинить зміну напруги на -0,135 В, а струму - на 0,0062 А.

Визначимо параметри напруги та струму в екстремально низьких та екстремально високих температурах навколишнього середовища. Для цього слід визначити температуру фотомодуля в цих умовах за формулою:

$$T_{\phi n} = T_{nc} + \frac{(T_{NOCT} - 20) \cdot E}{800}, \quad (3.11)$$

де  $T_{nc}$  – температура повітря навколишнього середовища, °C;  $NOCT$  – робоча температура фотомодуля за стандартних умов;  $E$  – нормативний рівень сонячної радіації, Вт/м<sup>2</sup>.

Отже, за температури навколишнього середовища 30 °C, температура фотомодуля буде рівною

$$T_{\phi n+30} = 30 + \frac{(42 - 20) \cdot 1000}{800} = 57,5^\circ\text{C},$$

а за температури навколишнього середовища -19 °C, температура фотомодуля буде рівною

$$T_{\phi n-19} = -19 + \frac{(42 - 20) \cdot 1000}{800} = 8,5^\circ\text{C},$$

Величину зміни напруги фотомодуля за рахунок зміни температури навколишнього середовища буде визначаємо за формулою

$$U_t = U + (T_{\phi n} - T_{stc}) \cdot \Delta U_t, \quad (3.12)$$

де  $U$  – напруга фотомодуля, В;  $\Delta U_t$  – нормативний температурний коефіцієнт зміни напруги під впливом зміни температури навколишнього середовища, В/°C.

Аналогічним чином визначаємо зміну сили струму фотомодуля за формулою:

$$I_t = I + (T_{\phi n} - T_{stc}) \cdot \Delta I_t, \quad (3.13)$$

де  $I$  – сила струму фотомодуля, А;  $\Delta I_t$  – нормативний температурний коефіцієнт зміни сили струму під впливом зміни температури навколишнього середовища, А/°С.

Отже, для заданих умов отримаємо

- напруга холостого ходу за екстремально високій температурі навколишнього середовища (+30 °С)  $U_{oc+30}$

$$U_{oc+30} = 58,55 - 0,111 \cdot (57,5 - 25) = 54,94 \text{ В};$$

- напруга в точці максимальної потужності за екстремально високій температурі навколишнього середовища (+30 °С)  $U_{mpp+30}$

$$U_{mpp+30} = 49,06 - 0,111 \cdot (57,5 - 25) = 45,45 \text{ В};$$

- напруга холостого ходу за екстремально низькій температурі навколишнього середовища (-19 °С)  $U_{oc-19}$

$$U_{oc-19} = 58,55 - 0,111 \cdot (8,5 - 25) = 60,38 \text{ В};$$

- напруга в точці максимальної потужності за екстремально низькій температурі навколишнього середовища (-19 °С)  $U_{mpp-19}$

$$U_{mpp-19} = 49,06 - 0,111 \cdot (8,5 - 25) = 50,89 \text{ В};$$

- струм короткого замикання при високих температурах (+30 °С)  $I_{sc+30}$

$$I_{sc+30} = 9,5 + (57,5 - 25) \cdot 0,0062 = 9,7 \text{ А};$$

- струм короткого замикання за екстремально низькій температурі навколишнього середовища (-19 °С)  $I_{sc-19}$

$$I_{sc-19} = 9,5 + (8,5 - 25) \cdot 0,0062 = -9,39 \text{ А}.$$

Тепер можна зробити перевірку кількості фотомодулів, які можливо приєднати до вибраного інвертора за формулою:

$$N_{PVnoc \min} = \frac{U_{mpp \min}}{U_{mpp+30}}. \quad (3.14)$$

Отже, отримаємо

$$N_{PVnoc \min} = \frac{200}{45,45} = 4,4 \text{ шт.}$$

Розраховане значення маємо заокруглити до більшого значення. Отже, до даного інвертора мінімальна кількість фотомодулів, які можна приєднати в стрінг становить 5 шт.

Максимальна кількість визначається напругами за мінімальних температур. Отже, отримаємо

$$N_{PV_{noc\ min}} = \frac{650}{50,89} = 12,77 \text{ шт.}$$

Тобто максимально в стрінгу можна приєднати 13 фотомодулів.

Отже, до одного MPPT входу можна приєднати до 13 фотомодулів, а загальна кількість фотомодулів буде становити 26 шт., що відповідає попередньо виконаному розрахунку. Тобто, кількість фотомодулів вибрано правильно.

Загалом для повного електропостачання досліджуваного об'єкта слід застосувати чотири інвертори. Загальна потужність генерації в такому випадку становитиме 40 кВт. За умови приєднання до одного інвертора 26 фотомодулів потужністю 440 Вт, загальна потужність сонячного поля становитиме 45,76 кВт.

З врахуванням уточнення кількості фотомодулів, які можуть бути використані для генерації необхідного обсягу електроенергії, які становлять 104 одиниці, виконаємо корекцію виробництва ними електроенергії. Результати розрахунків подаємо у табл. 3.5.

За таких умов обсяг недовиробництва буде становити 19960 кВт·год., що більш як на 1000 кВт·год. менше як у базового варіанта.

Якісний вибір основного енергетичного обладнання не гарантує якісну роботу системи. Оскільки ще необхідно підібрати допоміжне обладнання, яке також є важливим компонентом фотоелектричної установки. До таких компонентів відносяться кабелі постійного струму та змінного струму, а також засоби захисту та комутації.

#### 3.2.4 Обґрунтування параметрів системи накопичення електроенергії

Як було вказано у попередньому розділі, та під час обґрунтування структури фотоелектричної установки, система акумулювання електроенергії є невід'ємною частиною, і яка повинна бути певним чином обґрунтована.

Таблиця 3.5 - Розрахунок коригованого виробництва електроенергії фотоелектричною установкою

| Місяць року | $W_{\text{міс}}$ , кВт·год. | $W_{\text{фес}}$ , кВт·год. |
|-------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1           | 18,6                        | 1934,4                      |
| 2           | 25,48                       | 2649,92                     |
| 3           | 42,78                       | 4449,12                     |
| 4           | 54,6                        | 5678,4                      |
| 5           | 62                          | 6448                        |
| 6           | 62,4                        | 6489,6                      |
| 7           | 65,1                        | 6770,4                      |
| 8           | 65,1                        | 6770,4                      |
| 9           | 50,4                        | 5241,6                      |
| 10          | 37,82                       | 3933,28                     |
| 11          | 20,7                        | 2152,8                      |
| 12          | 15,81                       | 1644,24                     |
| Разом       | 520,79                      | 54162,2                     |

Зважаючи на те, що досліджуване підприємство є специфічним підприємством, і його електропостачання є практично гарантованим сакним видом діяльності. Однак, і тут виникатимуть умови, які потребуватимуть використання електроенергії у випадках її відсутності в зовнішній електромережі. Сама система накопичення електроенергії є швидше буферним засобом для підвищення ефективності роботи фотомодулів, а також резервним джерелом енергії у випадках виникнення аварійних ситуацій. Тому, надмірних вимог до обсягів електроенергії, яка має бути накопичена тут немає. Для нормального функціонування підприємства більш як достатньо забезпечити живлення ОПУ впродовж основного періоду роботи, а також забезпечити живлення систем охолодження та нагріву трансформаторів впродовж 1-2

годин для завершення перехідних процесів. Відповідно до цього можна вважати, що оптимальним обсягом електроенергії буде половина середньодобового споживання. Для визначення даної величини слід проаналізувати середньомісячне споживання, визначити помісячне добове, і на основі цих даних визначити середньодобове споживання електроенергії. Даний розрахунок зручно виконати у формі табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Середньомісячне та середньодобове споживання електроенергії досліджуваним об'єктом

| Місяць року | Місячний обсяг споживання електроенергії, кВт·год. | Добовий обсяг споживання електроенергії, кВт·год. |
|-------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Січень      | 6548                                               | 211                                               |
| Лютий       | 7404                                               | 264                                               |
| Березень    | 5267                                               | 170                                               |
| Квітень     | 3803                                               | 127                                               |
| Травень     | 2890                                               | 93                                                |
| Червень     | 2216                                               | 74                                                |
| Липень      | 1350                                               | 44                                                |
| Серпень     | 999                                                | 32                                                |
| Вересень    | 2128                                               | 71                                                |
| Жовтень     | 4668                                               | 151                                               |
| Листопад    | 5366                                               | 179                                               |
| Грудень     | 7471                                               | 241                                               |
| Середнє     | 4176                                               | 138                                               |

Отже, за середньодобового значення споживання електроенергії мінімальним обсягом, який слід накопичувати є 69 кВт·год.

Для накопичення необхідного обсягу електроенергії доцільно застосувати акумуляторні блоки того ж виробника, що і інвертора. В номенклатурі виробів виробника є два типорозміри акумуляторів на 10 і 15 кВт·год. З врахуванням того, що в нашій системі є чотири гібридні інвертори, то логічно, що б весь обсяг накопиченої електроенергії був симетрично розподілений між ними. Тобто, за умови застосування двох збірок по 10

кВт·год. для кожного із інверторів, загальний обсяг накопичення електроенергії становитиме 80 кВт·год., що цілком задовольняє наші вимоги. Таким чином, загалом слід буде використати вісім акумуляторів по 10 кВт·год.

### 3.2.5 Обґрунтування параметрів кабелів

Кабелі розраховуються за допустимим рівнем спадку напруги за відомого поперечного перерізу, або за нормативного допустимого спадку напруги визначається необхідний поперечний переріз кабелю. Здійснимо вибір кабелів з другої умови.

Нормативні втрати потужності для мережевих фотоелектричних установок обмежуються 1%, тому при розрахунку необхідно, щоб ця умова була виконана. Тоді, можемо визначити площу поперечного перерізу кабелю, який забезпечить передачу необхідної потужності з допустимим рівнем втрат за формулою:

$$S = \frac{P \cdot L_{\Sigma}}{U^2 \cdot k \cdot \Delta P} = \frac{I \cdot L_{\Sigma}}{U \cdot k \cdot \Delta P} = \frac{I \cdot L_{\Sigma}}{U \cdot k \cdot 0,01}, \quad (3.15)$$

де  $P$  – потужність кола постійного струму, Вт;  $L_{\Sigma}$  – сумарна довжина кабелю кола постійного струму, м;  $I$  – сила струму в колі постійного струму, А;  $U$  – напруга в колі постійного струму, В;  $k$  – питома провідність матеріалу кабелю, приймається для міді рівним 54 м/Ом·мм<sup>2</sup>;  $S$  – поперечний переріз провідника, мм<sup>2</sup>.  $\Delta P$  – допустимі втрати в провіднику, %.

Отже, для інвертора з двома незалежними МРРТ входами, до яких приєднано по 13 фотоелектричних модулів площа поперечного перерізу кабелю буде рівна

$$S = \frac{19,4 \cdot 25}{590 \cdot 54 \cdot 0,01} = 1,52 \text{ мм}^2;$$

Тобто, для даних електричних параметрів достатньо застосувати кабель з мінімально можливим перерізом у 2,5 мм<sup>2</sup>. Однак, з для покращення роботи фотоелектричної установки приймемо кабель з перерізом 4 мм<sup>2</sup>.

Таким же чином можна визначити параметри кабелю для кола змінного струму. Тут слід врахувати те, що передача потужності буде відбуватися по трифазному кабелю.

Отже, отримаємо

$$S_{AC} = \frac{15,2 \cdot 20}{380 \cdot 54 \cdot 0,01} = 1,48 \text{ мм}^2.$$

Тобто, для передачі необхідної потужності достатньо застосувати трифазний кабель з перерізом однієї жили  $1,5 \text{ мм}^2$ . З врахуванням умов роботи кабелю збільшимо переріз до  $2,5 \text{ мм}^2$ .

### 3.2.6 Обґрунтування параметрів системи захисту та комутації

Система захисту передбачає дворівневу структуру, яка застосовується для всіх електричних кіл: коло постійного та змінного струму.

Захист електричного кола постійного струму повинен забезпечити тривалу експлуатацію кабелів та іншої апаратури. Додатково до класичного компонента – запобіжника слід додати вимикач навантаження, який буде використано для розриву кола постійного струму.

Отже, перш за все виберемо параметри плавких вставок запобіжника постійного струму, який вибирається з умови:

$$U_n \geq U_{oc} \cdot 1,2 \text{ В}, \quad (3.16)$$

$$I_n = \frac{I_{sc}}{K} \cdot 1,4 \text{ А}, \quad (3.17)$$

де  $K$  – температурний коефіцієнт корекції, який вибирається з [13].

Отже, отримаємо

$$U_n \geq 662 \cdot 1,2 = 794,4 \text{ В},$$

$$I_n = \frac{9,7}{0,96} \cdot 1,4 = 14,15 \text{ А}.$$

Отже, для кола постійного струму можна застосувати плавку вставку запобіжника типу CH10×38 gPV UL2579 з такими параметрами  $U_n = 1000 \text{ В}$ ,  $I_n$

= 16 А. Даний запобіжник може бути вмонтований у роз'єднувач плавких запобіжників EFH 10 DC 2р фірми ETI (Словенія) [6].

Як вимикач навантаження можна застосувати пристрій типу LS16 SMA A2 1000V тієї ж фірми [6].

Захист кола постійного струму від імпульсних перенапруг може бути реалізований із використанням засобів типу II. Визначимо його параметри. Зокрема слід розрахувати максимальну пульсацію робочої напруги за формулою

$$U_{CPV} \geq U_{oc} \cdot 1,2. \quad (3.18)$$

Отже, отримаємо

$$U_{CPV} = 662 \cdot 1,2 = 794,4 \text{ В.}$$

В нашому випадку достатнім буде застосувати обмежувач напруги ETITEC S B-PV 1000/20 кА типу II. Його робоча напруга становить 1000 В, а номінальний струм 20 кА [6].

Захист по колу змінного струму вибирається з умови, що запобіжник повинен бути розрахований на більший струм як робочий, але меншим від подвійного короткочасного:

$$I_b \leq I_n \leq I_{k \max}. \quad (3.19)$$

Отже, отримаємо

$$16\text{А} \leq I_n \leq 32\text{А}$$

Тобто, для захисту кола змінного струму слід використати запобіжник з номіналом 25А. Для такого значення струму повинен бути і вимикач. Можна вибрати вимикач типу CLBS 25, який має номінальний робочий струм 25А [6].

Вибір засобів захисту від імпульсних перенапруг здійснюється аналогічно, як і для кола постійного струму.

Отже, максимальна пульсація напруги становитиме

$$U_{CII} = 380 \cdot 1,2 = 456 \text{ В.}$$

Умовам застосування відповідає обмежувач напруги ETITEC V T-2 690/20 4+1 RC типу II. Даний обмежувач перенапруг має робочу напругу 760 В та номінальний струм 20 кА [6].

Тепер можна остаточно сформувати електричну схему фотоелектричної установки, яка подана на рис. 3.4.

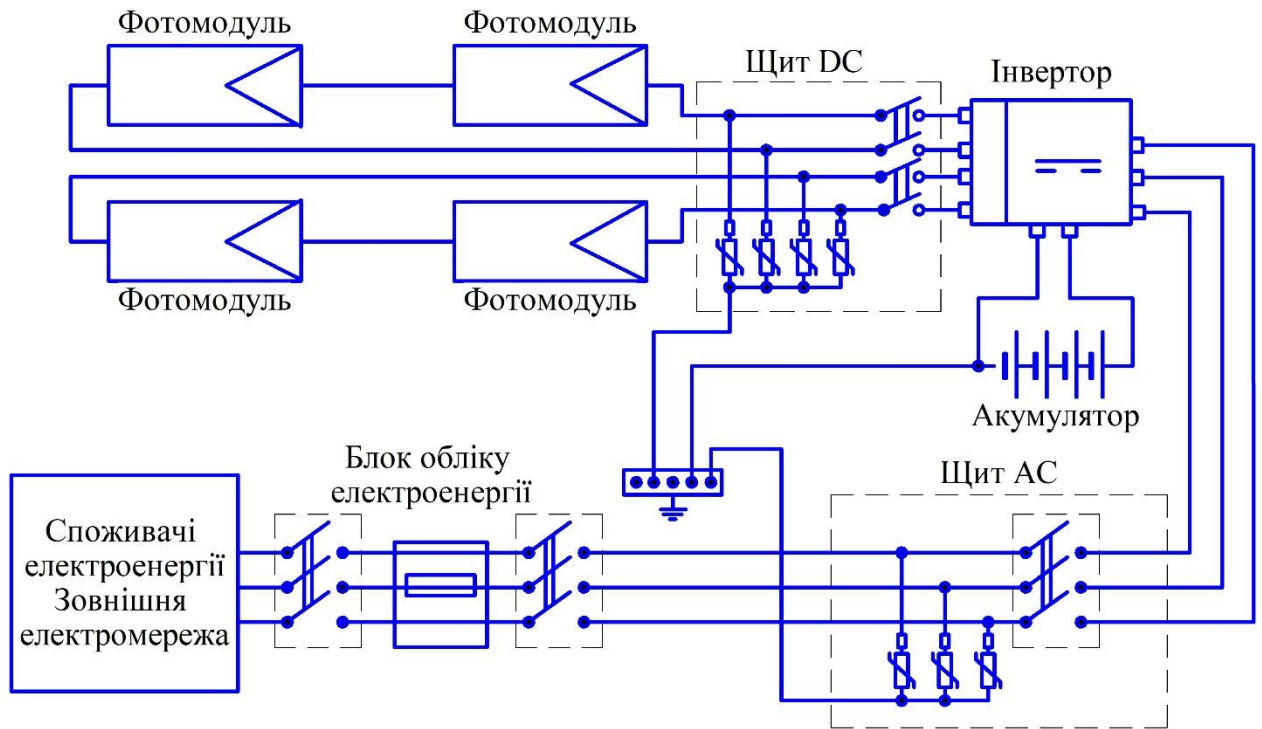


Рисунок 3.4 – Фрагмент електричної схеми фотоелектричної установки

Як видно з рис. 3.4, досліджуваний об'єкт живиться трифазним змінним струмом, який буде забезпечено за рахунок виробництва електроенергії фотоелектричними установками, які додатково обладнані системами накопичення електроенергії (на схемі позначено один з чотирьох таких модулів). Кожен енергетичний модуль формально можна розглядати як окрема сонячна станція, яка працює на спільну електромережу, і яка оснащена всіма необхідними структурними компонентами: основним енергетичним обладнанням, системою накопичення електроенергії та засобами комутації та захисту.

## **РОЗДІЛ 4**

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

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

Під час виконання робіт людина за допомогою певних знарядь діє на предмет праці в умовах різноманітних середовищ: механічні, хімічні, теплові, електричні, біологічні та інші. Організм людини здатний переносити без наслідків такі дії лише тоді, коли вони не перевищують певних рівнів і тривалості. За межами цих рівнів і тривалості виникає пошкодження організму, яке кваліфікується як нещасний випадок, травма тощо.

Той чи інший виробничий чинник за певною межею може не спричиняти негативних наслідків. Тому існує поняття гранично допустимого рівня виробничого чинника – дія встановленої тривалості, що не призводить до травми чи захворювання у процесі роботи та у після робочий період.

Відповідно до правил влаштування електроустановок від ураження струмом людей і сільськогосподарських тварин при дотиканні до струмопровідних частин основні вимоги до електроустановок такі: захист надійною електричною ізоляцією струмопровідних частин, недоступність для випадкового дотику до них, автоматична сигналізація про небезпеку дотику до струмопровідних частин або наближення до них на недопустиму віддаль, попереджуюча сигналізація, написи і плакати, захисні засоби і пристрої. Жодний з наведених засобів не може окремо гарантувати безпеки при дотиканні, тому в кожному конкретному випадку для створення безпечних умов експлуатації електроустановок застосовують комплекс таких засобів.

Недоступність струмопровідних частин обладнання досягається спеціальними огороженнями струмопровідних частин, встановленням їх на

недоступній для людей висоті і застосуванням блокувальних пристроїв. Сигнальні пристрої сповіщають людину про наближення до електричної установки напругою 380 В на відстань 1 м.

За призначенням захисні засоби поділяються на: ізолюючі, додаткові від дії світлового випромінювання, запобіжні від падіння з висоти тощо.

## **4.2 Оцінка рівня небезпеки виникнення аварій і травм під час електрозабезпечення об'єктів**

Розробка заходів з охорони праці розпочинається з визначення оцінюючих показників безпеки при роботі на обладнанні сонячних електростанцій.

Небезпечні умови, це такі умови, за яких існує загроза дії на організм людини небезпечних виробничих чинників. Наприклад, електричний струм може стати небезпечним чинником при пошкодженій ізоляції провідника; механізми, що рухаються, створюють загрозу травмування людини при відсутності огороження; отруйна речовина, як предмет праці, може потрапити в організм людини, якщо відсутні ЗІЗ тощо.

Основним заходом запобігання нещасним випадкам має бути усунення небезпечних умов у процесі виробничої діяльності. За відсутності небезпечних умов, травма або аварія ніколи не станеться, навіть при наявності кількох небезпечних чинників на конкретному робочому місці.

Між небезпечними умовами і небезпечними діями існує, у більшості випадків, взаємозв'язок, що стає причиною нещасних випадків.

Наприклад, конструктивні недоліки машин можуть призвести до втручання людини в роботу машини з порушенням правил безпеки. У цьому випадку небезпечна дія людини виникає внаслідок існування небезпечної умови, яка спричинила небезпечну дію.

У іншому випадку, службова особа, що дозволила працювати на несправній машині, допустила небезпечну дію, а несправна машина стала небезпечною умовою для виникнення небажаних наслідків.

Працюючий, що допускає небезпечні дії, може потрапити в небезпечні обставини, за яких на нього в певний час, на певному місці, при певній причині, з певною метою, а також при виконанні дій певним чином можуть діяти небезпечні виробничі чинники. Таким чином, допускаючи небезпечні дії в процесі роботи, працюючий може потрапити у небезпечні обставини і в небезпечну виробничу ситуацію, внаслідок якої виникає небажана подія, що призводить до травматизму. Трапляються випадки, коли через небезпечну дію однієї особи в небезпечних обставинах може виявитися інша людина або група людей. Наприклад, небезпечні дії водіїв транспортних засобів при перевезенні людей можуть спричинити ДТП.

Небезпечну ситуацію формують небезпечні умови і небезпечні обставини. Наявність на робочому місці одного або кількох небезпечних чинників являє собою небезпечну умову. Якщо на робочому місці немає жодного чинника тоді і небезпеки не існує. Небезпеки не буде, або вона буде мало ймовірною, якщо небезпечні чинники існують, але умов, за яких вони можуть реалізуватися і негативно діяти на людину, немає. Ці обставини необхідно враховувати на стадії проектування або при розробці профілактичних заходів запобігання виробничому травматизму.

#### **4.3 Моделювання процесів формування і виникнення виробничих небезпек під час обслуговування сонячної фотоелектричної установки**

Одним із методів моделювання процесів виникнення небезпечних ситуацій є метод графічно окресленого логічного моделювання потенційних аварій, травм і катастроф, що базується на оперативному пошуку виробничих небезпек, їх глибокому логічному аналізу й завчасному прийнятті заходів для

уникання потенційних небезпек ще до виникнення травмонебезпечних та катастрофічних ситуацій. Метод дає можливість шляхом побудови схеми відмов і помилок операторів різних систем вести математичну обробку моделі з метою одержання ймовірності виникнення небажаних випадкових подій. Обчислення рівня небезпеки можна спрямувати на удосконалення конструкцій технічних засобів, зниження їх небезпеки тощо.

Математичну обробку побудованої моделі починають з крайньої лівої гілки, події якої пронумеровані знизу-вверх – починаючи з базових подій і закінчуючи головною. Значення ймовірностей базових подій вказуємо безпосередньо на символі зображення події. Ймовірності базових подій визначаємо за даними виробництва. При відсутності контролю ймовірність “не здійснення контролю” становитиме 1, якщо контроль ідеальний, то відповідна ймовірність дорівнює 0. Для виконання математичних обчислень ймовірностей випадкових подій логіко-імітаційної моделі застосовують складені формули відповідно до положень булевої алгебри.

Для проведення обчислень ймовірності травми використовуємо логіко-імітаційну модель процесу її формування (рис.1). Підставивши дані ймовірностей базових подій, отримаємо ймовірність події P16.

$$P10 = P1 + P2 - P1 \times P2 = 0,0397,$$

$$P14 = P10 + P3 - P10 \times P3 = 0,1357,$$

$$P11 = P4 + P5 + P6 - P4 \times P5 \times P6 = 0,497,$$

$$P12 = P11 + P7 - P11 \times P7 = 0,5967,$$

$$P13 = P8 + P9 - P8 \times P9 = 0,335,$$

$$P15 = P12 \times P13 = 0,2002,$$

$$P16 = P14 \times P15 = 0,02717.$$

Отже, за даними розрахунку моделі, головна подія (травма) на робочому місці під час робіт з обслуговування СЕУ при наявності тих недоліків з охорони праці, які відображено у базових подіях на 100 таких місць, можна очікувати 2,72 травми.

Якщо зазначені недоліки негайно усунути (підвищити професійний рівень працюючих, поліпшити контроль та забезпечити 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.

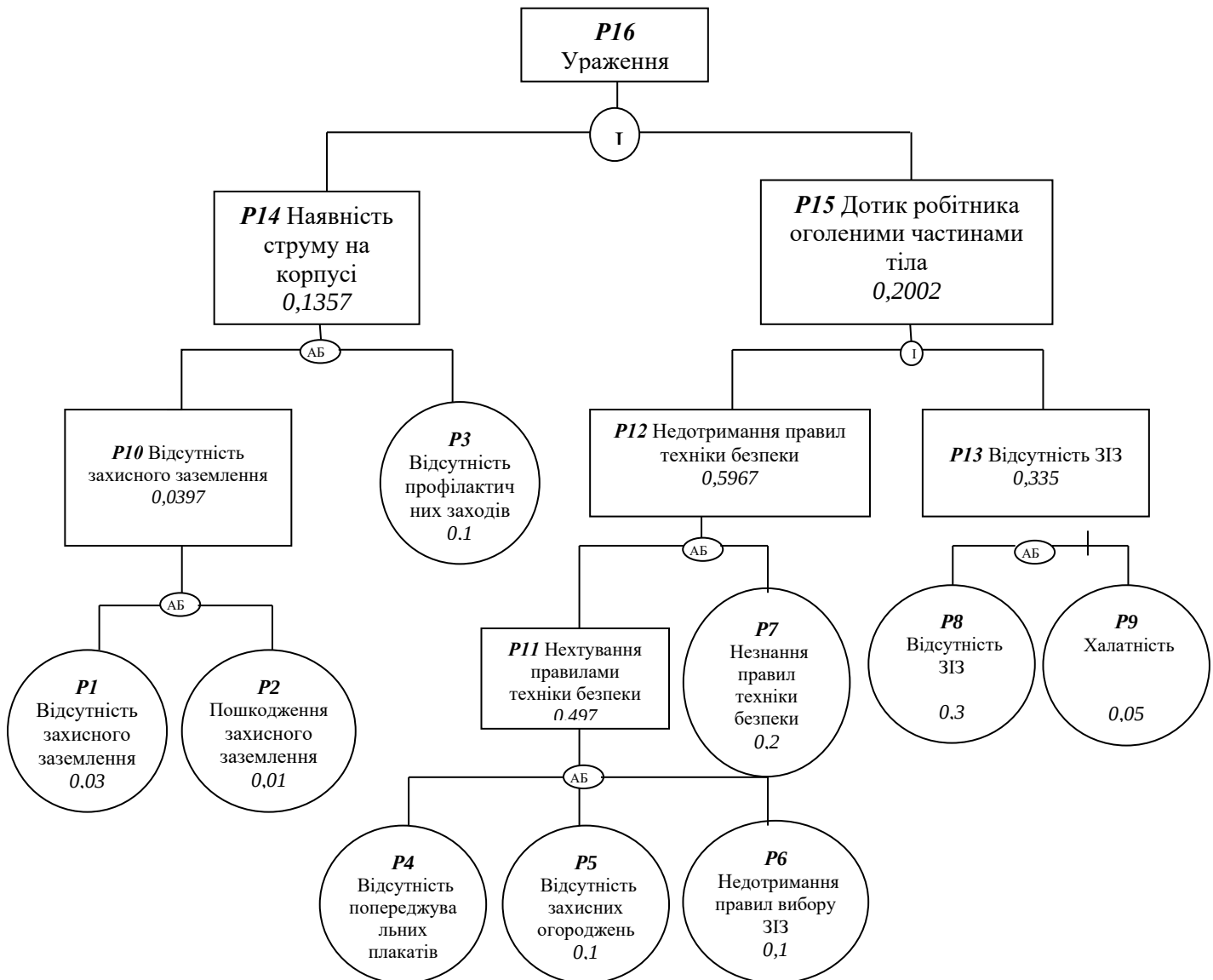


Рисунок 4.1 – Логіко-імітаційна модель процесу формування та виникнення аварій

#### 4.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Одним з найважливіших завдань служби охорони праці є забезпечення захисту населення у випадку виникнення надзвичайних ситуацій.

Найбільш повне та організоване виконання заходів цивільної оборони на об'єкті досягається завчасною розробкою плану заходів, які необхідні проводити при загрозі або виникненні надзвичайних ситуацій: оповіщення та інформуванні, яке досягається утриманням в постійній готовності систем оповіщення, які переважно інформують про прогноз погоди; укриття в захисних спорудах, якому підлягає працююча зміна та усе населення, досягається створенням фонду захисних споруд; евакуаційні заходи, які проводяться на території господарства та за його межами переважно під час виникнення пожеж; медичний захист проводиться для зменшення ступеня зараження людей, своєчасного надання допомоги постраждалим; біологічний захист включає своєчасне виявлення чинників біологічного зараження, їх характеру і масштабів, проведення комплексу адміністративно-господарських, спеціальних протиепідемічних та медичних заходів; радіаційний і хімічний захист включає заходи щодо виявлення і оцінки радіаційної та хімічної обстановки, організацію і здійснення дозиметричного і хімічного контролю, засобами індивідуального захисту.

Інженерний захист проводиться з метою виконання вимог ІТЗ із питань забудови міст, розміщення ПНО, будівлі будинків, інженерних споруд та інше. Медичний захист проводиться для зменшення ступеня ураження людей, своєчасного надання допомоги постраждалим та їх лікування, забезпечення епідеміологічного благополуччя в районах надзвичайних ситуацій. Біологічний захист включає своєчасне виявлення чинників біологічного зараження, їх характеру і масштабів, проведення комплексу адміністративно-господарських, режимно-обмежувальних і спеціальних протиепідемічних та медичних заходів. Радіаційний і хімічний захист включає заходи щодо виявлення і оцінки радіаційної та хімічної обстановки, організацію і здійснення дозиметричного та хімічного контролю, розроблення типових режимів радіаційного захисту, забезпечення засобами індивідуального захисту, організацію і проведення спеціальної обробки.

## РОЗДІЛ 5

### ОБГРУНТУВАННЯ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

Обґрунтування прийнятих рішень – важливий етап проєктування енергетичних систем, оскільки він дозволяє завершити процедуру формування структури та параметрів енергетичного обладнання, яке слід використати для вирішення поставленого завдання. Йдеться про оцінку економічного сенсу використання енергетичної системи певної структури з певними габаритними розмірами, і відповідно з певною енергетичною продуктивністю, яка задовольняє потреби користувача.

Така оцінка може бути виконана на основі узагальнюючого показника економічної ефективності, до якого належить термін окупності коштів, які були вкладені у побудову енергетичної системи. Слід також зауважити, що цей показник дає лише економічну оцінку, без врахування інших чинників, таких як екологічний, соціальний та інші. Отже, термін окупності можна визначити за формулою.:

$$T_{ок} = \frac{Z_{кан}}{E}, \quad (5.5)$$

де  $Z_{кан}$  – загальні грошові затрати на побудову енергетичної системи, грн.;  
 $E$  – грошовий економічний ефект, який виникає за рахунок уникнення купівлі електроенергії з електромережі, грн.

Загальні грошові затрати на побудову енергетичної системи можна визначити за формулою:

$$Z_{кан} = B_{фп} + B_{ін} + B_{ок} + B_{мр}, \quad (5.6)$$

де  $B_{фп}$ ,  $B_{ін}$ ,  $B_{ок}$ ,  $B_{мр}$  – вартість фотомодулів, мережевих та гібридних інверторів, систем накопичення електроенергії, допоміжних елементів (засоби кріплення, кабельна продукція, засоби захисту та комутації тощо), а також вартість монтажу обладнання, відповідно, грн.

Отже, загальні грошові затрати на побудову енергетичної системи мережевого типу, яка працює на власне споживання без передачі електроенергії в зовнішню електромережу на базі мережевого інвертора будуть становити

$$Z_{\text{кан}} = 290304 + 193200 + 112400 + 164100 = 760004 \text{ тис. грн.}$$

Грошовий економічний ефект від уникнення купівлі електроенергії в зовнішній електромережі можна визначити за формулою:

$$E = B_{\text{ел}}^{\text{зм}} \cdot W_{\text{PVS}}, \quad (5.7)$$

де  $B_{\text{ел}}^{\text{зм}}$  – вартісна оцінка не купленого в електромережі обсягу електричної енергії, грн.

Отже, отримаємо

$$E = 9,56 \cdot 29428 = 281332 \text{ тис. грн.}$$

За таких обставин термін окупності буде становити

$$T_{\text{ок}} = \frac{760004}{281332} = 2,7 \text{ років.}$$

Інші варіанти енергетичної системи розраховуються аналогічним чином, а їх результати заносимо в табл. 5.1

Таблиця 5.1 – Розрахунку терміну окупності енергетичних систем різної структури

| Тип енергетичної системи за структурою                                     | Загальні грошові затрати, грн. | Грошовий економічний ефект, грн. | Термін окупності, років |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| Мережева на власне споживання                                              | 760004                         | 281332                           | 2,7                     |
| Мережева з віддачею електроенергії в мережу                                | 760004                         | 482943                           | 1,57                    |
| Гібридна з системою накопичення енергії на власне споживання               | 1062404                        | 281332                           | 3,78                    |
| Гібридна з системою накопичення енергії з віддачею електроенергії в мережу | 1062404                        | 482943                           | 2,19                    |

Як видно з табл. 5.1, загалом, встановлення сонячної електростанції матиме великий економічний сенс. Так, мережеві варіанти енергетичної системи є доволі швидко окупними. Система з віддачею надлишку електроенергії в електромережу взагалі є окупною у надзвичайно короткий термін, який трохи перевищує 1,5 роки. Навіть система без віддачі надлишку електроенергії в електромережу матиме високу рентабельність, оскільки термін окупності становить не повні 3 роки, що для сонячних електростанцій є дуже коротким терміном.

Трохи гірша ситуація із системою, яка оснащена накопичувачами електроенергії. Кращий варіант з можливістю віддачі надлишку в електромережу має термін окупності 2,2 роки, що також є дуже добрим варіантом. Слід зауважити, що навіть найбільший термін окупності, який є у системи з накопичувачем електроенергії і без віддачі надлишку електроенергії у електромережу не перевищує 4 роки, що за терміну роботоздатності таких систем на рівні 20-25 років є більш як доцільним.

З врахуванням того, що наявність у енергетичної системи засобів накопичення електроенергії суттєво покращує режим функціонування досліджуваного об'єкта, і фактично гарантує повну його роботоздатність за будь-яких умов доступності електроенергії від зовнішньої електромережі.

## ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

Виконаний аналіз ситуації на ринку відновлюваної енергетики засвідчив високу інвестиційну привабливість галузі та її стрімке зростання. Щодо окремих галузей відновлюваної енергетики, то галузь сонячної електроенергетики є абсолютним лідером, як за обсягами інвестицій, так і за встановленою потужністю. Тому, розвивати сонячну електроенергетику не тільки можливо, але й доцільно.

Сонячна електроенергетика базується на таких основних видах енергетичних систем: мережеві, автономні та гібридні. Останні, на сучасному етапі розвитку енергетики, з врахуванням тривалої війни з росією, є особливо актуальні, хоча й більш вартісні. Тим не менше, саме такий тип енергетичної системи є найбільш доцільний. В даній роботі будемо розглядати саме цей тип сонячної фотоелектричної установки.

Виконана оцінка рівня споживання електроенергії досліджуваним об'єктом засвідчила, що тут є значна відмінність у рівні споживання, яка має чітку сезонну залежність. Зокрема, в літні місяці обсяги споживання електроенергії спадають, тоді як у зимові місяці зростають. Ця оцінка буде використана для побудови енергетичного балансу проєктованої системи і аналізу її відповідності об'єкту.

З врахуванням первинного джерела енергії для роботи сонячної електростанції, виконано оцінку енергетичного потенціалу сонячного випромінювання в регіоні дослідження. Дослідження виконані на основі даних, отриманих з відкритих інтернет-ресурсів. Ці дані будуть основою для подальших розрахунків продуктивності фотоелектричної установки.

Обґрунтування структури сонячної електростанції є невід'ємним етапом з розробки енергетичної системи. На основі розробленої структури здійснюються подальші кроки з визначення параметрів основних та допоміжних компонентів сонячної електростанції. Зокрема, підібрано

фотоелектричні модулі, визначено їх кількість, оцінено їх режими роботи в умовах холодної та теплої пори року, що впливатиме на зміну вихідних електричних параметрів, таких як напруга та струм, підібрано гібридний інвертор, накопичувач електроенергії, засоби захисту та комутації тощо.

Виконані розрахунки продуктивності сонячної електростанції дозволили побудувати енергетичні баланси, а також визначити обсяги купівлі електроенергії для потреб повного забезпечення досліджуваного об'єкта електроенергією, через нестачу електровиробництва.

Здійснено аналіз виробничих небезпек під час експлуатації електроенергетичного обладнання, оцінку рівня небезпеки виникнення аварій і травм під час електрозабезпечення об'єктів, моделювання процесів формування і виникнення виробничих небезпек під час обслуговування сонячної фотоелектричної установки, а також розглянуто безпеку в надзвичайних ситуаціях.

Завершальний етапом розробки будь-якого технічного, або енергетичного рішення є обґрунтування його доцільності, в тому числі й з використанням економічного апарату. Зокрема, було виконано оцінку економічної доцільності побудови сонячної електростанції з різною структурою за показником терміну окупності вкладень у її побудову. Як засвідчили розрахунки, всі варіанти мали добрі економічні показники щодо терміну повернення вкладених коштів, які становили від 1,57 до 3,78 років, що для сонячної електроенергетики є дуже малим значенням, що і підтверджує високу рентабельність таких систем.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Electricity losses online calculator : AC and DC electrical wire voltage drop and energy losses. [Electronic resource]. Title from the title screen. Access mode: <https://photovoltaic-software.com/solar-tools/dc-ac-drop-voltage-calculator>.
2. GREEN PROTECT Компоненти для захисту фотоелектричних систем/ [Електронний ресурс]. Загол. з титул екрану. Режим доступу: <https://www.eti.ua/katalogy-ua/zahalnyy-katalog/green-protect-komponenty-dlya-zakhystu-fotoelektrychnykh-system>.
3. Сонячні електростанції. [Електронний ресурс]. Загол. з титул екрану. Режим доступу: <https://solarmax.com.ua/pvsolar/> (3)
4. Інтернаціональна паливно-енергетична компанія. [Електронний ресурс]. Загол. з титул екрану. Режим доступу: <https://www.ifec.org.ua/vidnovlyuvalni-dzherela-energiyi-v-ukrayini-shho-zminylos-u-2025-roczni/> (2)
5. Luque A., Hegedus S. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. WILEY, 2003. 1179 p.
6. POWER Data Access Viewer. Prediction Of Worldwide Energy Resource [Electronic resource]. Title from the title screen. Access mode: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.
7. RENEWABLES GLOBAL STATUS REPORT. 2025 COLLECTION. [Electronic resource]. Title from the title screen. Access mode: <http://www.ren21.gsr2025.net> (1)
8. Szymanski B. Instalacje fotowoltaiczne. Wydanie III. Krakow: Redakcja GLOBEnergia, 2014. 249 s.
9. Tytko R., Goralczyk I. Urzadzenia, instalacje fotowoltaiczne i elektryczne. Krakow: Wydawnictwo i Drukarnia Towarzystwa Slowakow w Polsce, 2013. 347 s.

10. Гальчак В. П., Боярчук В. М. Альтернативні джерела енергії. Енергія Сонця. Львів: вид. ЛНАУ, 2008. 135 с.
11. Кудря С. О., Головка В. М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії: навч. посіб. К. : НТУУ "КПІ", 2011. 184 с.
12. 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 /Укл. О.В. Коробко, Ю.І. Троян. Запоріжжя : ЗНТУ, 2011. 18 с.
13. Мисак Й.С., Возняк О.Т., Дацько О.С., Шаповал С.П. Сонячна енергетика: теорія та практика: монографія. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. 340 с.
14. 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.