

Хмельницький національний університет  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

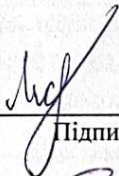
КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Розробка дахової сонячної  
електростанції для приватного  
домогосподарства

Галузь знань 14 Електрична інженерія  
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
Освітня програма Електропобутова техніка


Шифр БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент  
3 курсу група ЕТс-22-2

  
Підпис

І.О. Лісниченко  
Ініціали, прізвище

Керівник

  
Підпис, дата


Т.П. Романець  
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

Пукедук  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри МАЕЕС

  
Підпис, дата

В.С.Неймак  
Ініціали, прізвище

2 06 2025 р.

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Шифр і назва

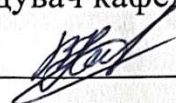
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр і назва

Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

  
2.06.2025

## З А В Д А Н Н Я НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Лісниченко Іван Олександрович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка дахової сонячної електростанції для приватного домогосподарства

керівник роботи Романець Тарас Петрович

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 7 02 2025 р. № 23

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 2.06.25

3. Вихідні дані до роботи звіт з переддипломної практики, технічна характеристика фотоелектричних модулів та інверторів

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

Вступ. 1 Огляд існуючих огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень з тематики бакалаврської роботи 2 Розробка конструкції дахової сонячної електростанції. 3 Організація обліку виробленої електроенергії. Висновки. Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

1. Тенденції розвитку сонячної енергетики (Д1, А2). 2. Види сонячних електростанцій (ДО, А2). 3. Дахова СЕС (Схема електрична підключення) (Е3, А1). 4. Дахова СЕС (Схема комбінована монтажна) (Е4, А1). 5. Облікові лічильники (Схема електрична підключення) (Е5, А2+А2). 6. Стрінги СЕС (Схема електрична підключення) (Е5, А1)

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|--------|---|----------------|------------------|
|        |   | завдання видав | завдання прийняв |
|        |   |                |                  |
|        |   |                |                  |
|        |   |                |                  |
|        |   |                |                  |
|        |   |                |                  |
|        |   |                |                  |
|        |   |                |                  |

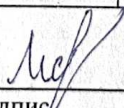
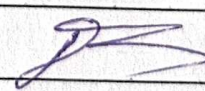
7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи             | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|--|-------------------------------|----------|
| 1 Основи функціонування сонячної енергетики                |                               |          |
| 2 Розробка конструкції дахової сонячної електростанції     |                               |          |
| 3 Організація обліку виробленої електроенергії             |                               |          |
| 4 Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу |                               |          |
|  |                               |          |
|  |                               |          |
|  |                               |          |
|  |                               |          |
|  |                               |          |
|  |                               |          |
|  |                               |          |
|  |                               |          |
|  |                               |          |

Студент

Керівник роботи

  
 Підпис  
  
 Підпис

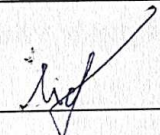
**І.О. Лісниченко**  
 Ініціали, прізвище  
**Т.П. Романець**  
 Ініціали, прізвище

# АНОТАЦІЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи студента спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

1. Прізвище, ім'я та по батькові Лісниченко Іван Олександрович
2. Тема бакалаврської роботи Розробка дахової сонячної електростанції для приватного домогосподарства
3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента \_\_\_\_\_
4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 64

5. Альтернативні джерела енергії є одним із напрямків розвитку енергетики у світі, про що свідчать статистичні дані лідерів ринку та міжнародних аналітичних агенцій. Серед ВДЕ, сонячна енергетика має найбільш стрімкі темпи розвитку – близько 30% щорічно. Частка сонячної генерації у світовому виробництві електроенергії досягла 10%. Завдяки цьому сонячна енергетика стала четвертим за величиною джерелом електроенергії у світі, випередивши вітрову та ядерну. В першому розділі роботи описано основи функціонування сонячної енергетики. Детально описано використання енергії Сонця у різних енергетичних установках. Дано оцінку потенціалу використання сонячної енергії в Україні. В другому розділі роботи запропоновано конструкцію дахової сонячної електростанції. Проведено розрахунок прогнозованого виробництва електроенергії. Виконано необхідні розрахунки мереж постійного та змінного струму. Розраховано струми короткого замикання та заземлення СЕС. В третьому розділі роботи розроблено систему обліку електроенергії виробленої СЕС. Обмін інформацією між підсистемами верхнього і нижнього рівнів здійснюється через середовище GSM з використанням стандартних GSM-терміналів та діючих на території Хмельницької області операторів мобільного зв'язку.

Підпис студента 

" 2 " 06 20 25 р.

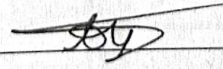
## РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 6 від " 26 " 06 20 25 р.

Оцінка проекту ЕК 4/5

Рекомендації ЕК впровадити у виробництво





Особливі відмітки —

Технічний секретар 

" 26 " 06 20 25 р.

## Зміст

|   |    |
|---|----|
| Вступ.....  | 5  |
| 1 Основи функціонування сонячної енергетики .....   | 6  |
| 1.1 Альтернативні джерела енергії, їх місце в загальній системі виробництва електроенергії..... | 6  |
| 1.2 Сонячна електроенергетика .....   | 14 |
| 1.3 Оцінка потенціалу використання сонячної енергії в Україні .....                             | 19 |
| 2 Розробка конструкції дахової сонячної електростанції .....                                    | 26 |
| 2.1 Коротка характеристика району будівництва .....   | 26 |
| 2.2 Розрахунок прогнозованого виробництва електроенергії .....                                  | 27 |
| 2.3 Експлуатаційні характеристики сонячної електростанції .....                                 | 33 |
| 2.4 Мережа постійного струму .....  | 39 |
| 2.5 Компенсація реактивної потужності .....   | 40 |
| 2.6 Вибір КЛ-0,4 кВ змінного струму. Перевірка на втрату напруги .....                          | 41 |
| 2.7 Вибір трансформаторів струму .....  | 44 |
| 2.8 Розрахунок струмів короткого замикання .....  | 47 |
| 2.9 Заземлення СЕС .....  | 50 |
| 2.10 Заходи безпечної експлуатації СЕС .....  | 53 |
| 3 Організація обліку виробленої електроенергії .....  | 58 |
| Висновки .....  | 62 |
| Перелік джерел посилань .....   | 63 |
| Додатки .....   | 65 |

|  |      |                 |   |      |
|--|------|-----------------|---|------|
| БРМА 25.00.00.000 ПЗ   |      |                 |   |      |
| Змн.   | Арк. | № докум.        | Підпис  | Дата |
| Розроб.  |      | Лісниченко І.О. |  |      |
| Перевір.   |      | Романець Т.П.   |  |      |
| Реценз.  |      |                 |   |      |
| Н. Контр.  |      |                 |  |      |
| Затверд.   |      | Неймак В.С.     |  |      |
| Розробка дахової сонячної електростанції для приватного домогосподарства |      |                 | Лім.  | Арк. |
|  |      |                 |   | 4    |
|  |      |                 | ХНУ, гр. ЕТс-22-2   |      |

## ВСТУП

Сучасна енергетика, найважливіший фактор соціального розвитку, також є одним із найбільших забруднювачів навколишнього середовища. Це стосується, перш за все, теплової енергії, яка негативно впливає на навколишнє середовище та зміну клімату в усьому світі. Швидкозростаючий попит на електроенергію та екологічна криза вимагають широкого використання відновлюваних традиційних (гідроенергетика) та нетрадиційних джерел енергії (ВДЕ).

У 21 столітті різко зросте використання відновлюваних нетрадиційних джерел енергії: вітру, сонця, геотермальної енергії, річок, морів, океанів та біомаси. Наприклад, країни ЄС планують збільшити споживання енергії з нетрадиційних джерел до 22% до 2026 року. Технології та обладнання для виробництва електроенергії вдосконалюються, а потужність та ефективність таких електростанцій зростають [1].

Забезпечення надійного енергопостачання є одним із найважливіших стратегічних пріоритетів у 21 столітті та найважливішою передумовою для безперебійного функціонування всіх секторів економіки в усьому світі. У першій половині 21 століття, зі значним зростанням світового споживання енергії (прогнози передбачають, що споживання енергії подвоїться до 2030 року порівняно з 2000 роком і почотверо зросте до 2050 року), викопне паливо продовжуватиме формувати основу світової енергетичної економіки, незважаючи на інтеграцію нових джерел енергії в енергетичний баланс, тоді як значення ядерної енергії та відновлюваних джерел енергії зростатиме. Майбутнє людства залежить від його здатності забезпечити енергетику, подолати екологічну кризу та зберегти придатне для життя середовище для майбутніх поколінь.

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 5    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

# 1 ОСНОВИ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

## 1.1 Альтернативні джерела енергії, їх місце в загальній системі виробництва електроенергії

Одним із ключових напрямків розвитку енергетики у 21 столітті є широке використання відновлюваних джерел енергії. Вони мають величезні ресурси, що дозволяють зменшити негативний вплив використання енергії на навколишнє середовище та підвищити енергетичну та екологічну безпеку. Традиційні джерела енергії включають невідновлювані джерела енергії, такі як вугілля, природний газ, нафта та уран; та відновлювані джерела енергії, такі як гідроенергетика та дрова.

Сучасна енергетика значною мірою базується на невідновлюваних джерелах енергії, запаси яких обмежені та виснажені. Вони не можуть забезпечити сталий розвиток світового енергетичного сектору в довгостроковій перспективі. Їх використання є одним із основних факторів, що сприяють глобальній деградації навколишнього середовища та її сучасному кризовому стану.

Використання альтернативних джерел енергії вирішує низку екологічних та економічних проблем. Сонячні, вітрові та гідроелектростанції виробляють значно менше викидів вуглекислого газу, ніж вугільні електростанції. Альтернативні джерела енергії є інструментом забезпечення енергетичної безпеки для країн-імпортерів енергії, які хочуть стати незалежними від експортерів. Володіння такими джерелами енергії, як нафта та газ, завжди служило державам не лише джерелом доходу, але й засобом здійснення політичного впливу. Але навіть країни з власними джерелами енергії, такими як газ, стикаються з труднощами. Наприклад, транспортування газу до віддаленого населеного пункту чи промислового об'єкта вимагає прокладання кіло-

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 6    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

метрів трубопроводів. Будівництво локальних вітрових або сонячних електростанцій було б значно дешевшим.

Ще одним важливим питанням є пошук альтернатив бензину. Завдяки науковим дослідженням у цій галузі з'явилося біопаливо. Технології виробництва цього палива постійно вдосконалюються, оскільки його ресурси практично необмежені. Єдиною перешкодою для подальшого розвитку та широкого використання є вартість біопалива, оскільки вона залишається високою. Тому інвестори прагнуть знайти нове паливо, яке є не тільки відновлюваним та екологічно чистим, але й економічно вигідним.

Не існує єдиного визначення альтернативних джерел енергії. У міжнародному праві використовуються різні терміни для альтернативних джерел енергії, зокрема відновлювані, нові, нетрадиційні тощо. У практиці ЄС використовуються терміни «альтернативні джерела» та «відновлювані джерела енергії».

Директива 2009/28/ЄС розглядає відновлювані джерела енергії в цілому та зазначає, що енергія з відновлюваних, невикопних джерел включає енергію вітру, сонця, аеротермальної, геотермальної та океанічної енергії, гідроенергію, біомасу, газ з органічних відходів, газ з очищених стічних вод та біогаз. У ній пояснюється, що аеротермальна енергія отримується у вигляді тепла в атмосферному повітрі, геотермальна енергія отримується у вигляді тепла з надр Землі, гідротермальна енергія отримується у вигляді тепла з поверхневих вод, а біомаса – це біологічна фракція продуктів, відходів та залишків біологічного походження від сільського господарства, включаючи рослинну та тваринну масу, лісового господарства та суміжних галузей промисловості, включаючи рибальство та аквакультуру, а також біологічна фракція промислових та побутових відходів [7].

У статуті Міжнародного агентства з відновлюваної енергії (IRENA) зазначено, що термін «відновлювана енергія» включає всі форми безперервно вироблюваної енергії з відновлюваних джерел, включаючи біоенергію, гео-

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 7    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

термальну енергію, гідроенергію, енергію океану, включаючи енергію припливів, теплову енергію хвиль та океану, сонячну енергію та енергію вітру [8]. В українському законодавстві також використовується термін «альтернативні джерела енергії». Таким чином, до альтернативних джерел енергії належать відновлювані джерела енергії, включаючи сонячну, вітрову, геотермальну, гідротермальну, аеротермальну, енергію хвиль та припливів, гідроенергію, енергію біомаси, газ з органічних відходів, газ очисних споруд, біогаз, а також вторинні енергетичні ресурси, включаючи доменний та коксовий газ, метан від дегазації вугільних родовищ та перетворення потенціалу відхідного тепла з технологічних процесів [3]. Визначаючи термін «альтернативне паливо», слід зазначити, що воно вважається альтернативним за таких умов:

1) Паливо отримано повністю з нетрадиційних джерел енергії або є сумішшю альтернативного та традиційного палива у співвідношенні, встановленому державними стандартами; 2) Паливо отримують з родовищ нафти, газу, нафти та газоконденсату непромислового значення, виснажених родовищ або важкого палива, і його властивості не нагадують властивості традиційного палива;

3) Стандарти екологічної безпеки та вплив використання альтернативного палива на навколишнє середовище та здоров'я відповідають вимогам законодавства України щодо традиційного палива.

Енергія з альтернативних джерел енергії значною мірою використовується для перетворення в електричну та теплову енергію. Характерною особливістю відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) є здатність відновлювати свій потенціал протягом короткого періоду часу — протягом життя одного покоління. Ще однією важливою особливістю є глобальне поширення та доступність таких джерел, тоді як традиційні джерела енергії зосереджені в певних географічних районах. Ще однією перевагою цих джерел є їхня екологічність — вони не забруднюють навколишнє середовище. Основний принцип використання відновлюваних джерел енергії полягає у вилученні енергії з проце-

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 8    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

сів, що постійно відбуваються в навколишньому середовищі, та наданні цієї енергії для технічних цілей.

Відновлювані джерела енергії можна класифікувати за типом енергії:

- 1) Механічна енергія (енергія вітру та потоків води);
- 2) Теплова та промениста енергія (сонячна енергія та геотермальна енергія);
- 3) Хімічна енергія (енергія, що міститься в біомасі).

Використовуючи концепцію якості енергії — коефіцієнта корисної дії, який визначає частку енергії джерела, яку можна перетворити на механічну роботу, — відновлювані джерела енергії можна охарактеризувати наступним чином: якість гідроенергії становить 0,6–0,7; вітрової енергії — 0,3–0,4. Якість теплової та променистої енергії не перевищує 0,3–0,35. Якість сонячного випромінювання, що використовується для фотоелектричних систем, ще нижча — 0,15–0,3. Енергетична якість біопалива також відносно низька, зазвичай нижче 0,3. Значення корисної дії для різних типів відновлюваних джерел енергії показано на рисунку 1.1.та [БРМА 25.00.00.000 ДІ].

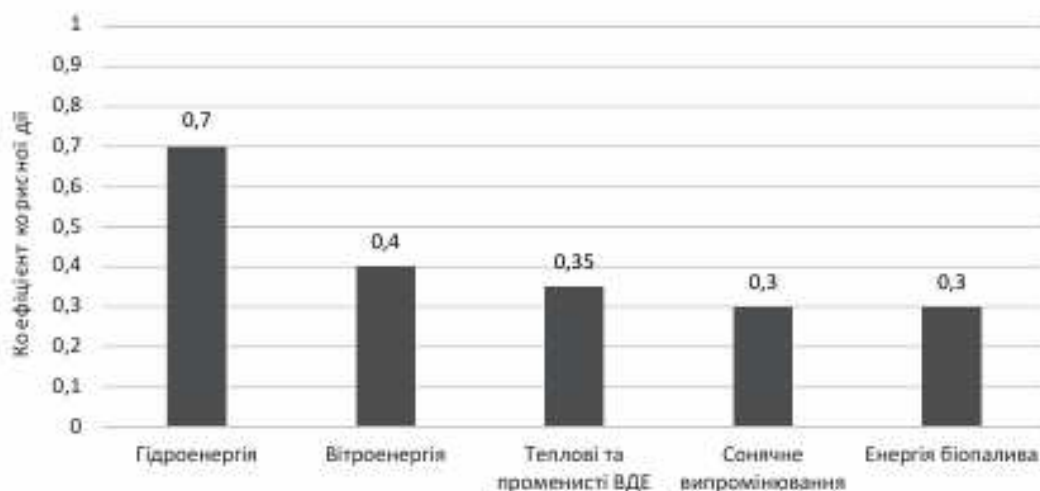


Рисунок 1.1 - Максимальні значення ефективності для різних типів ВДЕ

Міжнародне енергетичне агентство (МЕА) пропонує більш детальну класифікацію альтернативних джерел енергії:

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 9    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

1) Сонячна енергія: сонячне випромінювання, що використовується для виробництва гарячої води та електроенергії;

2) Енергія вітру: кінетична енергія вітру, що використовується для виробництва електроенергії у вітрових турбінах;

3) Гідроенергія: потенційна або кінетична енергія води, що перетворюється на електричну енергію великими та малими гідроелектростанціями;

4) Геотермальна енергія: теплова енергія з надр Землі, зазвичай у формі гарячої води або пари;

5) Енергія припливів, хвиль та океану: механічна енергія припливних течій або хвиль, що використовується для виробництва електроенергії;

6) Тверда біомаса та продукти тваринного походження: біомаса, включаючи всі рослинні матеріали, що використовуються безпосередньо як паливо або перетворюються в інші форми перед спалюванням (деревина, рослинні та тваринні відходи; деревне вугілля, вироблене з твердої біомаси);

7) Газоподібна або рідка біомаса: біогаз, отриманий в результаті анаеробного розкладання біомаси та твердих відходів, який спалюється для виробництва електроенергії та тепла; 8) Тверді побутові відходи: матеріали, що спалюються для виробництва тепла та електроенергії (відходи приватного, комерційного та державного секторів);

9) Промислові відходи: тверді та рідкі матеріали, що спалюються безпосередньо, зазвичай на спеціалізованих установках, для виробництва тепла та електроенергії. Тому єдиного визначення терміна «альтернативні джерела енергії» не існує, і різні аналітичні агентства та національні законодавці тлумачать відновлювану енергію по-своєму. Однак основний принцип залишається незмінним: альтернативні джерела енергії – це всі джерела, що представляють собою альтернативу викопному паливу.

Згідно зі статистикою (2010–2024), опублікованою на веб-сайті IRENA [8], темпи зростання сонячної енергії залишаються досить високими та становлять приблизно 20% на рік (Рисунок 1.2).

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 10   |

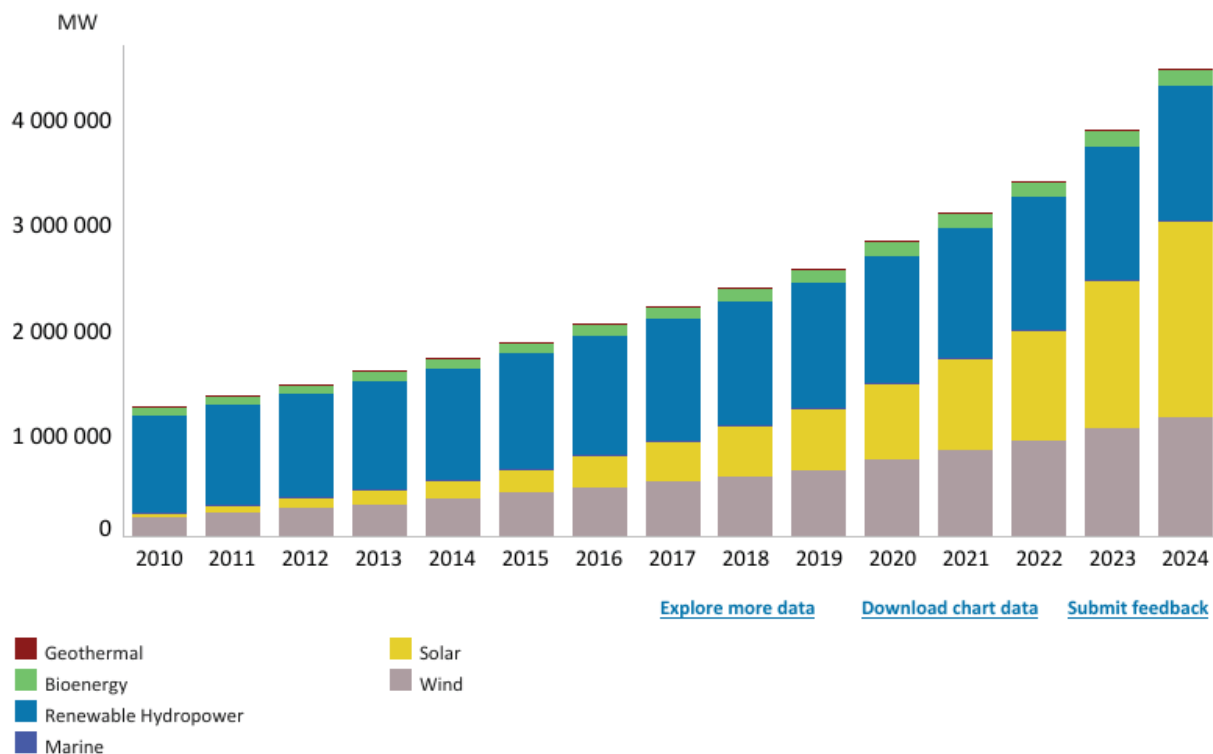


Рисунок 1.2 - Встановлена потужність об’єктів відновлюваної енергетики в світі

В Україні вони були ще швидшими (рис. 1.3).

Сонячна енергія використовується в усьому світі та стає дедалі популярнішою для виробництва електроенергії, опалення та опріснення води. Це одна з найшвидше зростаючих технологій відновлюваної енергетики, яка відіграє дедалі важливішу роль у глобальному енергетичному переході.

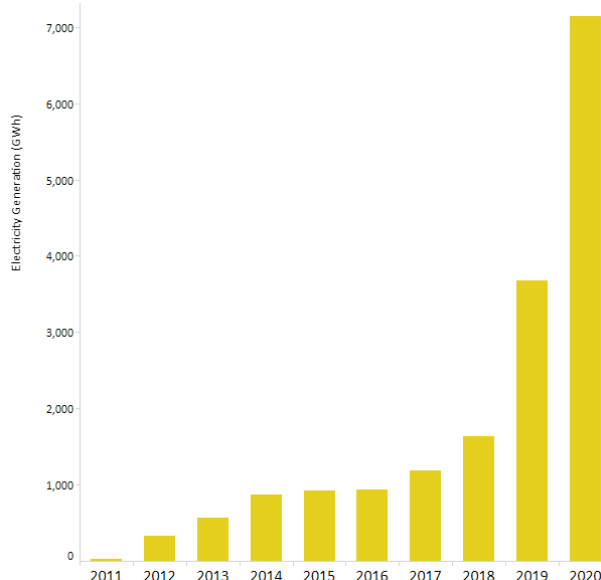


Рисунок 1.3 - Встановлена потужність сонячних електростанцій в Україні

До кінця 2023 року загальна встановлена потужність фотоелектричних систем у світі перевищила 1400 ГВт. У 2023 році було додано понад 250 ГВт нових фотоелектричних потужностей – найбільше збільшення потужності серед усіх відновлюваних джерел енергії [8] (рис. 1.4).

Виробничі витрати на сонячні модулі різко впали за останнє десятиліття, що зробило їх не тільки доступними, але й часто найдешевшою формою виробництва електроенергії.

Технічні вдосконалення у виробництві сонячної енергії з часом роблять сонячну енергію найдешевшим альтернативним джерелом енергії [2].

В Україні частка встановленої сонячної енергії є найвищою серед відновлюваних джерел енергії, складаючи понад половину від загальної встановленої потужності відновлюваної енергетики.

Тому дослідження в галузі сонячної енергетики мають велике значення.

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 12   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

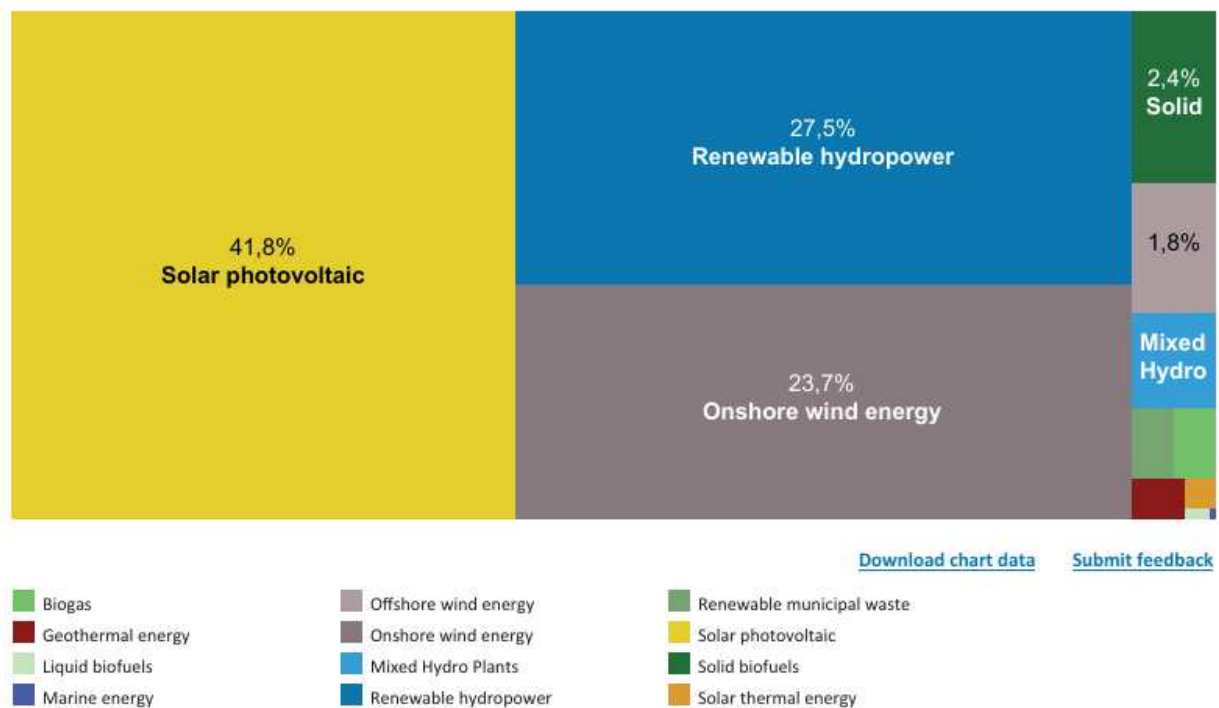


Рисунок 1.4 - Встановлена потужність відновлюваної енергетики

Таким чином, глобальна тенденція до збільшення частки альтернативних джерел енергії посилюється.

За даними аналітичного центру Ember Energy [18], частка сонячної енергії у світовому виробництві електроенергії вперше досягла 10% у квітні 2025 року. Це являє собою значне зростання, оскільки у 2022 році ця частка становила 5,4%. Це зробило сонячну енергетику четвертим за величиною джерелом електроенергії у світі, випереджаючи вітрову та ядерну енергетику.

Попереду сонячної енергії залишаються лише вугілля, природний газ та гідроенергетика.

Частка відновлюваних джерел енергії, включаючи сонячну енергетику, у світовому балансі електроенергії досягла 30%, за даними Ukrainian Energy [2].

Сонячна енергетика користується дедалі більшою популярністю у всьому світі, що підтверджується зростанням кількості та потужності сонячних електростанцій.

Ця тенденція розвивається із середньорічним темпом зростання 30%, що свідчить про високий інтерес до цієї теми серед бізнесу та урядів.

## 1.2 Сонячна електроенергетика

Сонячну енергію можна перетворити на електрику двома способами: термодинамічним та фотоелектричним.

За допомогою термодинамічного методу електричну енергію можна генерувати з використанням сонячної енергії за допомогою традиційних процесів на теплових електростанціях, де тепло від спалювання палива замінюється концентрованим сонячним випромінюванням.

### 1.2.1 Як працюють сонячні електростанції

Сонячне випромінювання, що досягає поверхні Землі під безхмарним небом, становить приблизно 1 кВт/м<sup>2</sup>. Для промислового виробництва електроенергії потрібна потужність приблизно один мільйон кіловат. Це означає, що промислова сонячна електростанція з ККД приблизно 10%, враховуючи змінну інтенсивність сонячного випромінювання протягом дня, потребує площі в кілька квадратних кілометрів.

Сонячна електростанція – це технічна споруда, що використовується для перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію. Методи перетворення сонячного випромінювання різняться та залежать від конструкції електростанції.

Існує два основних методи перетворення сонячної енергії: фототермічний та фотоелектричний. У першому, простому методі, теплоносій у колекторі нагрівається до високої температури та використовується для опалення приміщень. Частина теплової енергії накопичується. Простий сонячний колектор площею 1 м<sup>2</sup> може нагріти 50–70 літрів води до 80–90 °С на добу.

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 14   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Фотоелектричні перетворювачі сонячної енергії використовують кремній з додатковими елементами, що утворюють структуру р-п переходу.

Сила фотоЕРС зростає зі збільшенням інтенсивності світлового потоку. Сучасні сонячні батареї можуть працювати десятиліттями без додаткових інвестицій, і, на нашу думку, електроенергія, що виробляється таким чином, буде не просто прибутковою, а надзвичайно прибутковою в довгостроковій перспективі.

Коефіцієнт корисної дії сучасних кремнієвих фотоелектричних елементів (а також фотоелектричних елементів на основі арсеніду галію) досить високий (їх коефіцієнт корисної дії сягає 10–20%). Чим вищий коефіцієнт корисної дії, тим менша потрібна площа сонячних модулів, яка навіть на невеликих електростанціях становить кілька десятків квадратних метрів. Великим досягненням напівпровідникової промисловості стала розробка кремнієвих фотоелектричних елементів з коефіцієнтом корисної дії до 40%.

Залежно від типу використання виробленої електроенергії, сонячна електростанція може бути автономною, мережевою або гібридною [БРМА 25.00.00.000 ДО]. Автономна сонячна електростанція накопичує вироблену енергію в акумуляторах та використовує її виключно для власних потреб (рис. 1.5).

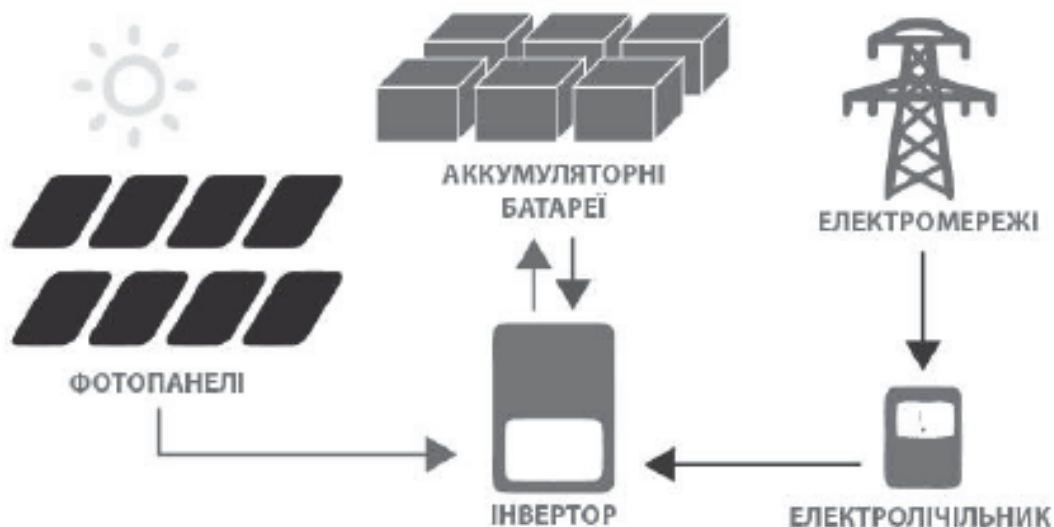


Рисунок 1.5 - Автономна СЕС

Підключена до мережі сонячна електростанція використовує вироблену електроенергію для власного використання домогосподарствами. Надлишок купує уряд за зеленим тарифом. Підключені до мережі електростанції не мають акумуляторів (рис. 1.6).

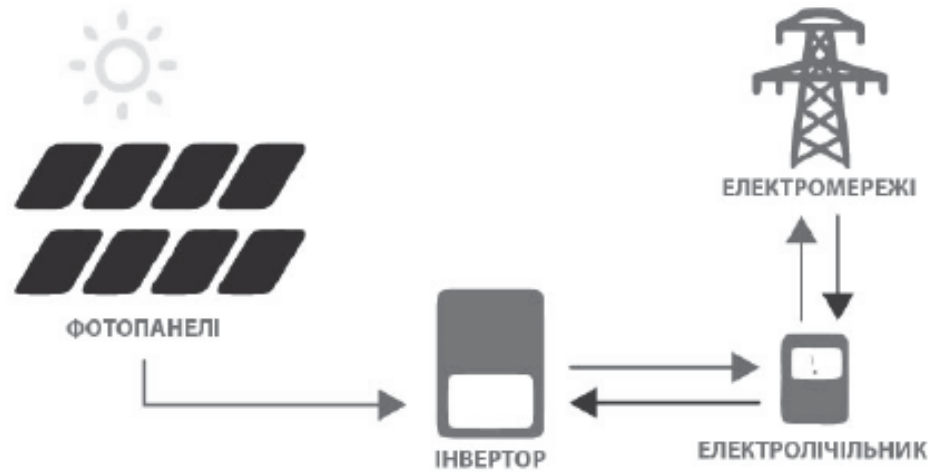


Рисунок 1.6 - Мережева СЕС

Гібридна сонячна електростанція використовує вироблену нею енергію для власних потреб домогосподарств; надлишки купуються урядом за зеленим тарифом та зберігаються в акумуляторах (рис. 1.7).

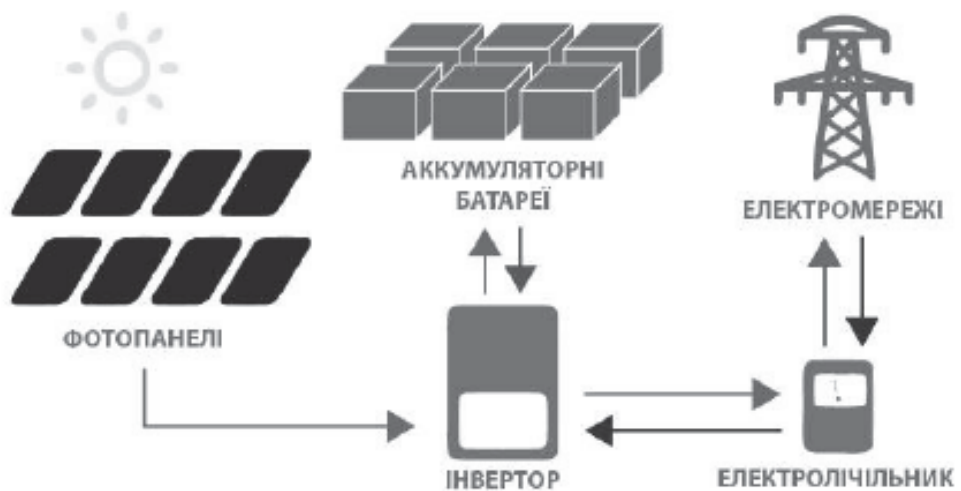


Рисунок 1.7 - Гібридна СЕС

Переваги сонячних електростанцій:

- 1) Універсальна доступність та невичерпність джерела енергії;
- 2) Екологічна стійкість;
- 3) Автономність системи;
- 4) Низькі експлуатаційні витрати;
- 5) Інновації;
- 6) Наявність «зеленого тарифу».

До недоліків сонячних електростанцій належать:

- 1) Високі початкові витрати на реалізацію проекту;
- 2) Залежність від погоди;
- 3) Вимога великих площ для встановлення модулів;
- 4) ККД нижче 30%.

Таким чином, на сучасному етапі розвитку технологій сонячні електростанції вважаються символом «зеленої» енергетики, але водночас вони створюють низку проблем. Пол Дрізен, член CFACT (Комітет за конструктивне майбутнє), зазначає, що для виробництва 50 МВт електроенергії за допомогою традиційних технологій потрібно приблизно від 0,8 до 2 гектарів землі. Щоб виробити таку ж кількість енергії з сонячних панелей, приблизно 100 гектарів землі потрібно було б покрити сонячними панелями – навіть якщо враховувати оптимістичні цифри щодо енергетичної ефективності 10 Вт/м<sup>2</sup> або ККД 5% при піковому виробництві.

### 1.2.2 Перспективи розвитку сонячної енергетики

Сонячна енергія найбільш широко використовується в системах теплопостачання. Вона використовується для гарячого водопостачання, опалення та інших цілей, що може значно скоротити споживання традиційного палива.

Сучасна тенденція полягає в швидкому розширенні використання сонячної енергії як для централізованого виробництва електроенергії на сонячних

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 17   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

електростанціях, так і для індивідуального електропостачання громадських та приватних будівель.

Країни з високим рівнем розвитку сонячної енергетики мають відповідні державні програми, які створюють сприятливі, навіть економічні, умови для її використання та розвитку.

У Німеччині, провідній країні ЄС з найбільшою загальною потужністю сонячних установок, використання систем сонячного теплопостачання, наприклад, для опалення, пов'язане з покращенням теплоізоляції будівель, утилізацією теплових викидів та загальним зниженням споживання енергії. Наприклад, використання сонячної теплової насосної системи для теплопостачання окремих житлових будинків з вакуумними сонячними колекторами покриває до 70% споживання енергії.

Україна щорічно виробляє близько 200 МВт фотоелектричних систем, більша частина яких експортується. Також є досвід виробництва генераторів сонячної енергії на основі термодинамічного методу перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію. Однак результати роботи сонячної електростанції потужністю 5 МВт (СЕС-5) у Криму не дали підстав для впровадження цієї системи в Україні.

Україна пропонує сприятливі умови для використання сонячної енергії. Річний технічно корисний енергетичний потенціал сонячної енергії в Україні становить 6 мільйонів тонн еквіваленту. Її використання замінило б приблизно 5 мільярдів кубічних метрів природного газу.

### 1.2.3 Відновлювана енергетика та охорона навколишнього середовища

Однією з головних переваг відновлюваної, нетрадиційної енергетики є її менший вплив на навколишнє середовище порівняно з традиційними джерелами енергії, причому кожне джерело енергії має як прямий, так і непрямий вплив на навколишнє середовище.

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 18   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Завдяки використанню відновлюваних, нетрадиційних джерел енергії, викиди різних забруднюючих речовин, включаючи парникові гази, зменшуються порівняно з традиційними джерелами енергії. Відновлювана енергія також може зменшити місцеве забруднення повітря та покращити його якість у містах і зонах відпочинку.

Наземні сонячні електростанції, перетворення енергії яких пов'язане з концентрацією сонячної радіації, потребують значних площ. Наприклад, для встановлення 1 МВт баштової сонячної електростанції потрібна середня площа приблизно 0,035 км<sup>2</sup> для стежних геліостатів. Площа, необхідна для сонячних електростанцій на 1 МВт потужності у світі, становить 0,001–0,008 км<sup>2</sup>.

Сонячні панелі зазвичай встановлюються на дахах будинків і не впливають на ландшафт чи атмосферу відповідної місцевості. Вони не потребують додаткової землі.

Основний негативний вплив сонячних систем на навколишнє середовище є непрямим і спричинений технологічними процесами, пов'язаними з виробництвом нових матеріалів для сонячних систем. Для цієї мети часто потрібні рідкісноземельні елементи, які зустрічаються в дуже низьких концентраціях у земних породах. Їх видобуток вимагає обробки значної кількості такої породи.

Сонячні системи не впливають на природний тепловий режим планети, оскільки поглинають лише дуже невелику частину сонячної енергії. Однак, після перетворення на електричну енергію та використання, вона повертає цю енергію в навколишнє середовище у вигляді тепла.

### 1.3 Оцінка потенціалу сонячної енергетики в Україні

Географічне розташування України є сприятливим для реалізації проєктів сонячної енергетики. Український клімат характеризується високою кі-

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 19   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

лькістю сонячних днів: за рівнем сонячної радіації Україна значно перевершує визнаного європейського лідера сонячної енергетики – Німеччину. Уряд також надає широку підтримку проектам виробництва відновлюваної енергії. Однак на практиці реалізація таких проектів вимагає врахування кількох нюансів, без яких ініціатор проекту може зіткнутися зі значними обмеженнями та ризиком недосягнення цільових показників.

Для широкого використання сонячної енергії в енергетичному секторі України необхідна обґрунтована оцінка її потенціалу. Оцінка потенціалу сонячної енергії базується на загальних принципах, що застосовуються до всіх альтернативних джерел енергії.

Це комплекс регулярних стохастичних процесів, прояв яких характеризується певним ступенем мінливості. При оцінці потенціалу сонячної енергії необхідно враховувати закономірності коливань прийнятої радіації на поверхні місцевості, спричинені постійним обертанням Землі навколо Сонця, а також стохастичні зміни кліматичних умов – хмарності, вологості та прозорості атмосфери. Крім того, необхідно враховувати специфіку ймовірності кліматичних умов на основі даних спостережень.

За даними Flanders Investment & Trade, відновлювана енергетика в Україні потенційно може покрити 78% потреб в електроенергії.

Оцінка ресурсів сонячних електростанцій базується на тривалих спостереженнях за основними характеристиками сонячного випромінювання. Це створює комплекс кількісних характеристик, що характеризують мінливість цього виду енергії та специфіку цих змін. Кліматичне обґрунтування розташування та експлуатації сонячних електростанцій повинно враховувати специфіку розподілу сонячної енергії на певній території. Найважливішими показниками радіаційного режиму, що широко використовуються в сонячній енергетиці, є тривалість сонячного сяйва та хмарність. Негативним фактором для роботи сонячних електростанцій є нестабільність сонячного випромінювання, що призводить до значних втрат потенційної електроенергії. Хмар-

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 20   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

ність, як показник радіаційного режиму, відображає мінливість фізичних перешкод, що перешкоджають отриманню фотоелектричних панелей достатньої кількості енергії, що призводить до нерівномірної роботи сонячної електростанції протягом доби. За даними Національної академії наук України та Державного комітету України з енергозбереження [12], середньорічна сумарна кількість сонячної радіації, що падає на 1 м<sup>2</sup> площі в Україні, коливається від 1070 кВт·год/м<sup>2</sup> на півночі України до 1400 кВт·год/м<sup>2</sup> у південних регіонах (рис. 1.8).

Очікуваний потенціал сонячної енергії в Україні є достатньо високим для широкого впровадження як теплових, так і фотоелектричних систем майже в усіх регіонах. Ефективний період роботи сонячних електростанцій у південних регіонах становить сім місяців – з квітня по жовтень. У північних регіонах цей показник на два місяці коротший – з травня по вересень. Таким чином, сонячні електростанції в Україні працюють протягом усього календарного року, хоча й з різним рівнем ефективності.



Рисунок 1.8 - Мапа інсоляції регіонів України

|      |      |          |        |      |                      |  |  |  |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|--|--|--|------|
|      |      |          |        |      |                      |  |  |  | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      |  |  |  | 21   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | БРМА 25.00.00.000 ПЗ |  |  |  |      |

В Атласі енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України представлено показники загального річного потенціалу сонячної енергії в Україні за регіонами [12]. Таким чином, територія України в цілому має річний потенціал  $718,4 \cdot 10^9$  МВт·год/рік. Абсолютним лідером є Одеська область – у цьому регіоні виробляється  $45,4 \cdot 10^9$  МВт·год/рік сонячної енергії. Далі йдуть Херсонська та Дніпропетровська області, з відповідними показниками на 15% та 17% нижчими, ніж в Одеській області відповідно. Показник загального потенціалу сонячної енергії залежить, перш за все, від географічного розташування регіону, кліматичних характеристик та площі. Так, Закарпатська область має найнижчі показники –  $15,5 \cdot 10^9$  МВт·год/рік, а Чернівецька область –  $9,6 \cdot 10^9$  МВт·год/рік. Окрім свого північного розташування, ці регіони значно менші за лідерів списку.

Наступна пара показників, яку слід враховувати, – це техніко-економічний потенціал регіону. Ці показники залежать від географічних характеристик місцевості, інфраструктури електромережі та характеру споживання електроенергії. Географічні характеристики місцевості безпосередньо впливають на доцільність будівництва сонячної електростанції, що вимагає значних площ для встановлення модулів. Важливу роль відіграє інфраструктура — наявність лінії електропередачі, підстанцій, колекторів та їх номінальні характеристики. Фактичне споживання енергії безпосередньо залежить від характеристик інфраструктури, оскільки навіть за потенційно швидкого зростання споживчої бази та генерації, без встановлених трансформаторів та підключених ліній електропередачі місця для споживання не буде. Одеська область знову має найбільший технічний потенціал. За оцінками авторів атласу, цей південний регіон може виробляти приблизно  $21,8 \times 10^{-7}$  МВт·год/рік. Аналогічно до показника загального потенціалу сонячної енергії, за Одеською областю йдуть Херсонська ( $18,4 \times 10^{-7}$  МВт·год/рік) та Дніпропетровська ( $18 \times 10^{-7}$  МВт·год/рік). Оцінка доцільного та економічного потенціалу регіонів України щодо виробництва сонячної енергії закріплює

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 22   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

лідуючі позиції Одеської ( $3,4 \times 10^6$  МВт·год/рік), Херсонської ( $2,9 \times 10^6$  МВт·год/рік) та Дніпропетровської ( $2,8 \times 10^6$  МВт·год/рік) областей серед інших регіонів країни.

Аналізуючи дані Атласу енергетичного потенціалу щодо частки окремих регіонів у загальних показниках країни, можна побачити, що медіанне значення для всього діапазону регіонів становить 4,4% на регіон. Найбільшу вагу мають Одеська та інші південні регіони, де спостерігається позитивне відхилення від медіани, з максимальним показником 6,3% в Одеській області. Загалом, на південні регіони – Одеську, Миколаївську, Херсонську, Кіровоградську, Запорізьку та Дніпропетровську – припадає 30,3% від загального реалізованого та економічного потенціалу сонячної енергетики в Україні.

Ринок сонячних електростанцій загалом вважається перспективним. Потенціал зростання та введення в експлуатацію визначається перспективами «зеленого» тарифу. Очікувані умови «зеленого» тарифу наразі дозволяють успішно реалізувати проекти з введення в експлуатацію нових установок, одночасно забезпечуючи короткий термін окупності. Розширення сонячної енергетики в Україні чітко відображається в тому факті, що в країнах Європейського Союзу на душу населення припадає в середньому  $33,7 \text{ м}^2$  площі колекторів, порівняно з лише  $0,005 \text{ м}^2$  в Україні.

Як і в більшості країн, державна політика в Україні загалом позитивно наголошує на розвитку виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії. Найважливішим стимулом є так званий «зелений» тариф – спеціальна тарифна система, за якою держава купує електроенергію, вироблену з відновлюваних джерел енергії, у комерційних організацій та приватних осіб.

Згідно із Законом України № 514-VIII від 4 червня 2015 року, тариф на зелену електроенергію для промислового сектору (потужністю понад 30 кВт) має бути знижений до 12 центів у період з 2025 по 2030 рік.

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 23   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

У 2017 та 2019 роках в Україні зафіксовано рекордне зростання потужностей сонячних електростанцій. Темпи зростання цієї потужності свідчать про майбутнє збільшення частки зеленої електроенергії.

Прискорення впровадження сонячної енергетики в Україні вимагає ретельного вивчення всіх можливостей розвитку сектору. Аналіз розвитку сонячної енергетики в Україні виявив наступне:

1) Сильні сторони:

- Можливість будівництва електростанцій різної потужності (модульність конструкцій);
- Значний генеруючий потенціал за заданих географічних та кліматичних умов.

2) Слабкі сторони:

- Просторово та часово нерівномірне виробництво енергії;
- Слабкий розвиток вітчизняних технологій на промисловому рівні;
- необхідність створення відповідної інфраструктури (дороги, лінії електропередач, підстанції).

3) Можливості:

- додаткове виробництво енергії для задоволення потреб споживачів;
- значне зменшення забруднення навколишнього середовища;
- широкі можливості для міжнародних інвестицій;
- наявність необхідних умов у географічному ландшафті (степ).

4) Ризики:

- технічні нюанси підключення до загальної енергомережі;
- незв'язаний тариф на електроенергію;
- політична нестабільність;
- високі відсоткові ставки за кредитами;
- бюрократичні перешкоди.

Як показав аналіз, більшість ризиків для розвитку сонячної енергетики в Україні лежать у сфері відповідальності уряду. За умови ефективного

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 24   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

управління енергомережею та створення сприятливих умов для роботи приватних сонячних електростанцій, сектор сонячної енергетики має значний потенціал для реалізації планів уряду щодо збільшення частки відновлюваної енергії в енергетичному балансі країни.

Висновок першого розділу.

У першому розділі статті описано основи сонячної енергетики. Розглянуто відновлювані джерела енергії та їх потенціал для використання. Детально описано використання сонячної енергії на різних електростанціях, при цьому особлива увага приділяється сонячній енергії. Оцінено потенціал використання сонячної енергії в Україні.

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 25   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## 2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ДАХОВОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Розробка проекту будівництва сонячної електростанції на даху господарської будівлі:

- Технічні умови на проектні роботи;
- Технічні умови на нестандартне підключення, видані ВАТ «Хмельницькобленерго».

Джерело живлення: ПС 330/110/10 «Хмельницька».

Точка підключення живлення: РУ-0,4 кВ ТП-302 (Власник: ВАТ «Хмельницькобленерго»).

Точка підключення: РУ-0,4 кВ ТП-302 (на кінцях КЛІ-0,4 кВ).

Напруга в точці підключення: 380 В.

Максимальна потужність сонячної електростанції становить 27,12 кВт (пікова потужність).

Проект передбачає розробку частини внутрішнього електропостачання сонячної електростанції (далі – «СЕС») до точки підключення відповідно до технічних умов підключення ВАТ «Хмельницькобленерго». Для підключення сонячної енергетичної системи на даху допоміжної будівлі з планованою максимальною генеруючою потужністю 27,12 кВт, проект передбачає встановлення шафи розподілу електроенергії (PDC) та мережевого інвертора HUAWEI SUN2000-33KTL-A на даху будівлі. Облік електроенергії буде здійснюватися в шафах лічильників SHO, 1SHO та 2SHO в будівлі розподільчого пристрою.

### 2.1 Коротка характеристика району будівництва

Під час розробки проекту враховувалися такі нормативні показники:

- 1) Снігове навантаження для 4-го снігового району – 1400 Па/м<sup>2</sup> (згідно

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 26   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

з рис. 8.1, ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження та дії»);

2) Вітрове навантаження для 3-го вітрового району – 500 Па/м<sup>2</sup> (згідно з рис. 9.1, ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження та дії»);

3) Сейсмічність ділянки – 6 балів (згідно з Додатком А ДБН В. 1.1-12:2014 «Будівництво в сейсмонебезпечних районах України» та картою сейсмічних зон (Карта А)).

4) Вогнестійкість конструкції – II (згідно з ДБН В.1.1-7:2016 «Вогнезахист будівельних конструкцій. Загальні вимоги»).

5) Стандартна глибина промерзання ґрунту становить 0,90 м (згідно з розділом 7.5.3 ДБН В.2.1-10-2009 «Фундаменти та основи будівель»).

Згідно з таблицею 2, ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія», розрахункова температура зовнішнього повітря становить:

– найспекотніший п'ятиденний період з цільовим показником 0,99 +22 °С;

– найхолодніший п'ятиденний період з цільовим показником 0,92 -21 °С.

## 2.2 Розрахунок планованого виробництва електроенергії

Після оцінки можливих варіантів було обрано сонячний модуль JA SOLAR JAM72S30-565LR (див. рисунок 2.1). JA Solar – відомий виробник у галузі сонячної енергетики. Він гарантує стабільну та ефективну роботу фотоелектричних модулів до 12 років та підтримує коефіцієнт корисної дії майже 85% навіть після 25 років експлуатації.

JA SOLAR JAM72S30-565LR – це монокристалічний сонячний модуль з номінальною потужністю 565 Вт та одним із найкращих показників енергоефективності серед усіх моделей [15].

Характеристика його струму залишку показана на рис. 2.2.

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 27   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |



Рисунок 2.1 – Сонячна панель JA SOLAR JAM72S30-565LR

Під час планування сонячної електростанції надзвичайно важливо враховувати технічні характеристики обраних фотоелектричних модулів, оскільки вони безпосередньо впливають на ефективність всієї системи.

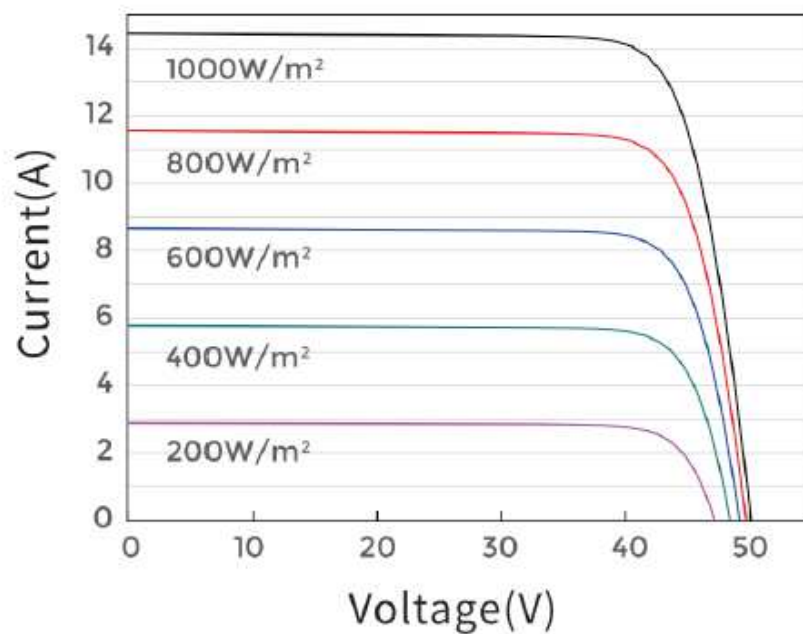


Рисунок 2.2 – Вольт-амперна характеристика в залежності від освітленості

Основні характеристики фотоелектричного модуля JA SOLAR JAM72S30-565LR:

Електричні властивості за стандартних умов випробувань

Максимальна потужність: 565 Вт

Струм при максимальній потужності: 13,56 А

Напруга при максимальній потужності: 41,68 В

Струм холостого ходу: 14,31 А

Напруга холостого ходу: 50,5 В

ККД: 21,4%

Відхилення продуктивності: 3%

Електричні властивості за робочої температури елемента ( $45 \pm 2$  °С)

Максимальна потужність: 428 Вт

Струм при максимальній потужності: 10,85 А

Напруга при максимальній потужності: 39,44 В

Струм холостого ходу: 11,45 А

Напруга холостого ходу: 47,79 В

Максимальна напруга системи: 1500 В

Максимальний струм модуля: 25 А

Фізичні властивості

Розміри: 2333 × 1134 × 30 мм

Вага: 28 кг

Клас захисту: IP 68

Кількість елементів: 144

Діапазон робочих температур: від -40 до +85 °С

Вибір сонячних модулів є основою для вибору компонентів станції. Тому інші компоненти системи вибираються на основі вищезазначених характеристик.

Сонячні модулі JA SOLAR JAM72S30-565LR потужністю 565 Вт (загалом 48 модулів) встановлені на даху конструкцій виробництва вітчизняної

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 29   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

компанії KRIPTER SYSTEM SOLUTION.

Модулі розташовані на даху під кутом  $20^\circ$ . Азимут перпендикуляра до осі будівлі становить  $-6^\circ$  на південь.

Розрахунки прогнозованого виробництва електроенергії підключеної до мережі фотоелектричної сонячної електростанції були виконані за допомогою системи PVGIS (Фотоелектрична географічна інформаційна система).

Розташування:  $49^\circ 40'$  пн.ш.,  $26^\circ 96'$  сх.д.

Висота над рівнем моря: 316 м над рівнем моря.

Очікувані втрати через температуру та низьку освітленість: 8,7% (з урахуванням місцевої температури навколишнього середовища).

Очікувані втрати через кутове відбиття: 3,0%.

Інші втрати (кабелі, інвертори тощо): 14,0%.

Загальні втрати фотоелектричної системи: 23,8%.

Фіксована система: Під кутом  $20^\circ$  азимут перпендикуляра до осі будівлі становить  $-6^\circ$  на південь.

Результати розрахунків наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Прогнозована генерація електроенергії СЕС

| Fixed system: inclination= $20^\circ$ , orientation= $-6^\circ$ |        |         |       |        |
|---|--------|---------|-------|--------|
| Month   | $E_d$  | $E_m$   | $H_d$ | $H_m$  |
| Jan   | 22,09  | 685,39  | 0,64  | 19,90  |
| Feb   | 35,27  | 991,49  | 1,04  | 29,01  |
| Mar   | 73,86  | 2282,43 | 2,25  | 69,87  |
| Apr   | 98,48  | 2961,17 | 3,17  | 95,16  |
| May   | 117,78 | 3646,57 | 3,91  | 121,11 |
| Jun   | 118,45 | 3560,06 | 3,99  | 119,78 |
| Jul   | 114,45 | 3553,41 | 3,89  | 120,44 |
| Aug   | 105,80 | 3287,23 | 3,56  | 110,46 |

|                |       |          |      |        |
|----------------|-------|----------|------|--------|
| Sep            | 80,52 | 2415,52  | 2,62 | 78,52  |
| Oct            | 56,30 | 1743,43  | 1,75 | 54,23  |
| Nov            | 26,22 | 785,21   | 0,80 | 23,96  |
| Dec            | 16,17 | 501,74   | 0,48 | 14,84  |
| Yearly average | 72,53 | 2202,58  | 2,35 | 71,20  |
| Total for year |       | 26417,65 |      | 858,41 |

Результати розрахунків використовуються для визначення генеруючої потужності сонячної електростанції.

Щомісячне та річне виробництво електроенергії запланованою сонячною електростанцією номінальною потужністю 27,12 кВт показано на наступних діаграмах (рис. 2.3–2.5).

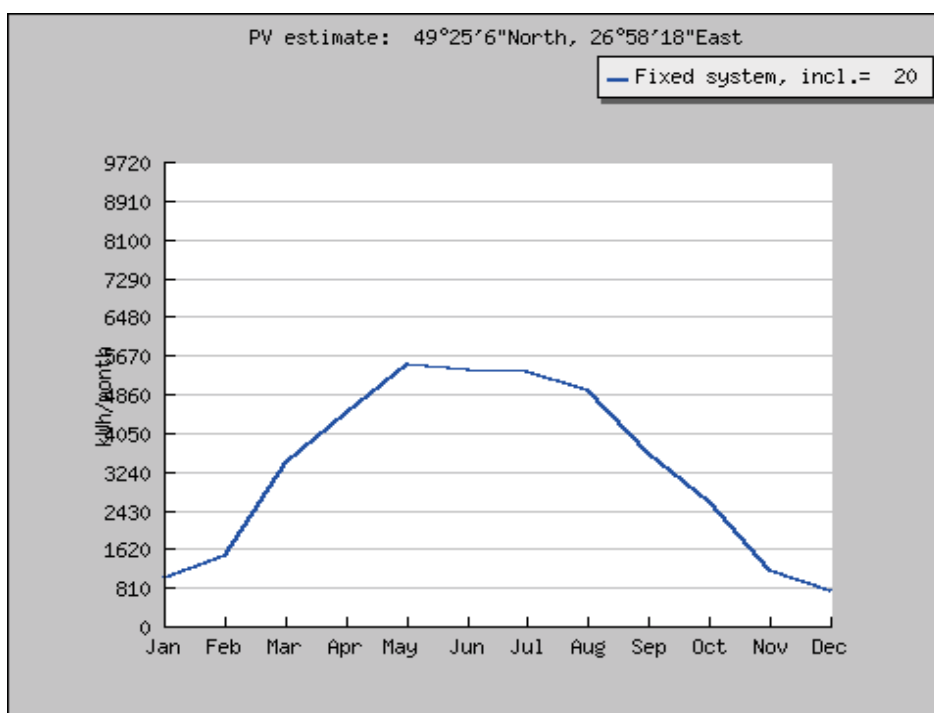


Рисунок 2.3 - Річний та помісячний виробіток електроенергії СЕС

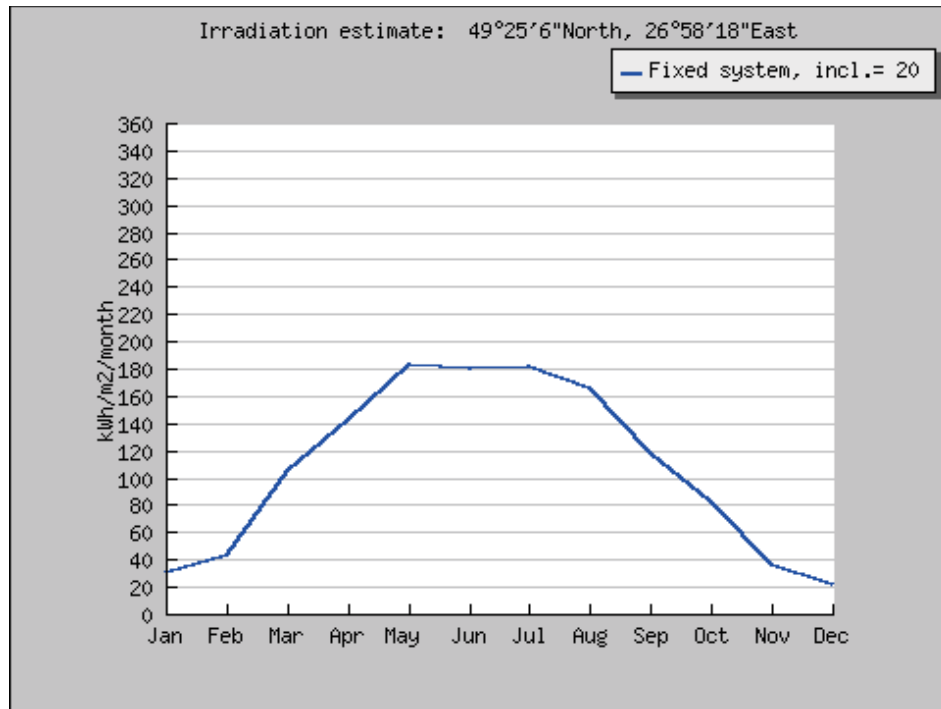


Рисунок 2.4 - Річний та помісячний виробіток електроенергії з одиниці площі

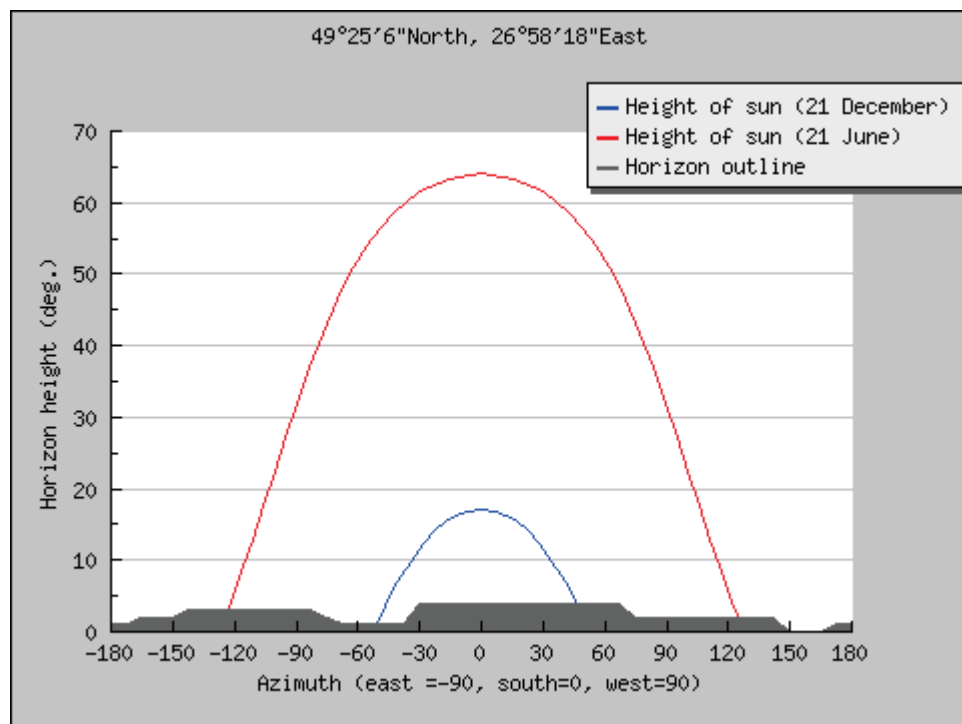


Рисунок 2.5 - Виробіток електроенергії в залежності від орієнтації сонячних модулів

Розрахункові показники техніко-економічні по СЕС зведені в таблицю 2.2.

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 32   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Таблиця 2.2 - Техніко-економічні показники по СЕС

| Найменування показників                             | Значення |
|---|----------|
| Встановлена загальна потужність СЕС, кВт пік        | 27,12    |
| Продуктивність кВт*год/кВт пік                      | 858,41   |
| Вироблення загальне електроенергії СЕС, кВт*год/рік | 26417,65 |

### 2.3 Експлуатаційні характеристики сонячної електростанції

Сонячна електростанція має такі експлуатаційні характеристики:

- Категорія складності III згідно з ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013;
- Клас відповідальності SS2 згідно з ДСТУ-Н Б.В.1.2-16:2013;
- Термін служби системи: 30 років.

Встановлена пікова потужність сонячної електростанції становить 27,12 кВт (пікова потужність) – 48 модулів JA SOLAR JAM72S30-565LR потужністю 565 Вт кожен.

Децентралізована сонячна електростанція включає стрінговий інвертор – Huawei SUN2000-33KTL-A потужністю 30 кВт [BRMA 25.00.00.000 C4].

До інвертора підключено чотири стрінги по 12 модулів кожен.

Сонячні модулі (загалом 48) перетворюють сонячне випромінювання на постійний струм, який потім в інверторі перетворюється на трифазний змінний струм напругою 0,4 кВ.

Для перетворення постійного струму на змінний проєкт передбачає використання інвертора Huawei SUN2000-33KTL-A (1 одиниця), який буде встановлено на стіні проникнення даху. З'єднання між сонячними модулями, а також між гірляндами модулів та інвертором складаються зі спеціального гнучкого кабелю з мідною жилою перерізом 6 мм<sup>2</sup>, розміщеного в захисних коробках.

З'єднання постійного струму між гірляндами сонячних модулів та ін-

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 33   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

вертором, що розташовані всередині будівлі, встановлені в металевій втулці на даху та на стінах будівлі для запобігання пошкодженням.

З'єднання змінного струму з напругою 0,4 VVGng та AVVGng виконуються за допомогою кабелів.

Для перетворення сонячного світла на постійний струм проєкт передбачає встановлення сонячних модулів JA SOLAR JAM72S30-565LR номінальною потужністю 565 Вт (пікова потужність), виготовлених за технологією монокристалічного кремнію. Модуль має вбудовану розподільну коробку. Діоди з'єднані паралельно з групою елементів модуля (байпас). Кожна коробка має два кабелі з роз'ємами та позитивним та негативним полюсами для швидкого перемикачання та запобігання неправильним з'єднанням. Модуль поміщений в алюмінієву раму, призначену для механічного кріплення до металевої рами.

Приклад розміщення сонячних модулів на дахах будівель показано на рисунку 2.6.

Інвертор перетворює постійний струм, що генерується сонячними модулями, на трифазний синусоїдальний змінний струм.

Запланована система включає інвертор Huawei SUN2000-33KTL-A.

Інвертор керується мікропроцесорами, які забезпечують синусоїдальний вихідний струм з мінімальною похибкою та фазово-синхронізованою напругою. Логічна система керування забезпечує автоматизовану роботу інвертора та всієї сонячної електростанції, а також постійний контроль точки максимальної потужності фотоелектричного масиву та зменшення втрат у режимі очікування в періоди доби без сонячної радіації.

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 34   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |



Рисунок 2.6 - Приклад вигляду загальної сонячної електростанції

Інвертори мають ступінь захисту IP65/IP54, а основним інтерфейсом зв'язку є RS485. Внутрішні системи інвертора живляться через лінію живлення.

Загальний вигляд інвертора показано на рисунку 2.7.



Рисунок 2.7 - Приклад розташування інвертора

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 35   |

Переваги інвертора SUN2000-33KTL-A включають:

- Високий ККД (до 98,6%);
- Швидкий та точний алгоритм MPPT для моніторингу генерованої потужності в режимі реального часу для збільшення виробництва енергії;
- Плоскі криві ККД забезпечують високий ККД на всіх рівнях вихідної потужності, а також стабільну та стабільну роботу на різних рівнях вхідної потужності;
- Висока якість електроенергії, що подається в мережу;
- Інтегровані системи керування та моніторингу загальної енергомережі дозволяють синхронізувати інвертори з мережею для забезпечення безперебійної роботи системи;
- Повністю автоматизоване керування виробництвом.
- Дисплей інвертора служить інтерфейсом користувача.
- Інтегрована система моніторингу роботи модулів;
- Система моніторингу, спеціально розроблена для цього типу інвертора, дозволяє встановлювати робочі параметри, отримувати дані про виробництво електроенергії та контролювати помилки та несправності.

Інвертор має захист вхідного (постійного) струму від перенапруги та зміни полярності. Інвертор оснащений такими автоматичними функціями:

- 1) Пошук точки максимальної потужності фотоелектричних модулів (двоканальний);
- 2) Відключення живлення від мережі, якщо потужність, що виробляється фотоелектричними модулями, падає нижче заданої мінімальної межі потужності;
- 3) Відключення живлення від мережі та оповіщення попереджувальним сигналом у разі зміни вхідної (постійної) або вихідної (змінної) напруги вище або нижче допустимого значення, а також у разі відхилення частоти (змінної) за межі допустимих значень;
- 4) Виявлення стану ізоляції з попереджувальним сигналом.

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 36   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Вихідний вимикач для захисту кабельної лінії об'єкта розташований у ШЗС (силовій шафі) - 63 А.

Релейний захист та автоматизація сонячної електростанції включають такі рішення:

- Захист кіл сонячних панелей;
- Захист мережі постійного струму, інвертора, мережі змінного струму та автоматичного перемикавання навантаження.

Для встановлення інвертора передбачені запобіжники для захисту кіл сонячних панелей. Інвертор також дозволяє встановлювати розрядники для захисту мереж та модулів від перенапруги.

Інверторний контролер Huawei SUN2000-33KTL-A забезпечує комплексний захист мереж постійного та змінного струму, а також автоматичне перемикавання навантаження.

Інверторний контролер Huawei SUN2000-33KTL-A виконує такі функції автоматизації та захисту:

- Моніторинг параметрів вхідної напруги постійного струму та вихідної напруги змінного струму;
- Автоматичне ввімкнення інвертора, коли навантаження може бути забезпечене сонячними модулями та мережа змінного струму готова;
- Моніторинг технічних параметрів інвертора (температура інвертора, робота системи вентиляторів, запуск та зупинка вентилятора тощо);
- Вимкнення інвертора у разі недостатньої потужності сонячного модуля, перенапруги, пошкодження зовнішньої мережі змінного струму або перевищення її частоти, а також у разі відхилень від нормальних технічних параметрів інвертора або трансформатора;
- Самодіагностика контролера та сигналізація у разі несправності;
- Графічне відображення сигналів та параметрів контролера;
- Перевірка ізоляції мережі постійного струму сонячного модуля;
- Перевірка положення комутаційних пристроїв інвертора;

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 37   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

- Перевірка допоміжної системи живлення змінного струму;
- Функції безпеки;

Перемикання інвертора в режим технічного обслуговування для профілактичного обслуговування або ремонту пошкоджень.

Інвертор забезпечує автоматичне регулювання реактивної потужності відповідно до напруги мережі ( $SES = 1$ ). Генерація (і споживання) реактивної потужності практично відсутня, тому проект не передбачає встановлення обладнання для компенсації реактивної потужності.

Інверторна система включає комплекс заходів та пристроїв для контролю якості електроенергії та запобігання негативному впливу SES на мережу.

Показники якості електроенергії в точці підключення відповідають міждержавному стандарту ГОСТ 13109-97.

Інверторна система має сертифікат відповідності Державної системи сертифікації Міністерства економічного розвитку України та відповідає вимогам українських нормативних документів, які гармонізовані з європейськими відповідно до Закону України «Про стандартизацію».

Виконуються вимоги, описані в наступних джерелах:

- IEC TR 61000-3-6: Межі електромагнітної сумісності;
- IEC TR 61000-3-7: Межі електромагнітної сумісності;
- ДСТУ EN 50160:2008.

Таким чином, встановлення пристроїв компенсації фільтрів (фільтрів вищих гармонік та пристроїв компенсації реактивної потужності) у проекті не планується.

Всі параметри якості електроенергії 0,4 кВ слід вимірювати за допомогою аналізатора якості електроенергії DIRIS A40.

Цей пристрій може вимірювати всі електричні мережі, а результати відображаються на екрані пристрою. DIRIS A40 виконує такі вимірювання:

- Фазний та нейтральний струм, середні та максимальні значення за вибраний період;

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 38   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

- Фазні та лінійні напруги, середні та максимальні значення за вибраний період;

- Частота, середні та максимальні значення за вибраний період;

- Активна потужність у 4 квадрантах (+ та -) для кожної фази, а також загальне, середнє та максимальне значення за вибраний період;

- Реактивна потужність у 4 квадрантах (+ та -) для кожної фази, а також загальне, середнє та максимальне значення за вибраний період;

- Загальна потужність для кожної фази, а також загальне, середнє та максимальне значення за вибраний період;

Коефіцієнт потужності для кожної фази та загальне значення, включаючи тип навантаження (індуктивне або реактивне);

Коефіцієнт гармонійних спотворень до 51 гармоніки для фазних та лінійних напруг і струмів (thd 3U, ehd 3V, thd 3I, thd In).

Проект передбачає встановлення системи комерційного обліку на вході 0,4 кВ розподільчого пристрою 0,4 кВ.

Для комерційного обліку будуть використовуватися багатофункціональні електронні лічильники типу SL7000. Лічильники адаптовані до системи ASKOE.

#### 2.4 Мережа постійного струму

Електроенергія виробляється шляхом підключення окремих фотоелектричних модулів (далі – фотоелектричні модулі), що складаються з окремих груп фотоелектричних модулів («струни»), до інвертора HUAWEI SUN2000-33KTL-A з номінальною потужністю 30 кВт [BRMA 25.03.00.000 E5].

Розрахункова максимальна вихідна потужність фотоелектричної системи відповідає сумі електричної потужності модулів ( $48 \times 0,565 = 27,12$  кВт). Максимальна генерована потужність становить 27,12 кВт.

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 39   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Фотоелектрична система генерує лише активну потужність ( $\cos \varphi = 1$ ), тому загальна потужність відповідає активній потужності 27,12 кВт.

Постійний струм, що генерується фотоелектричним модулем, подається на інвертор через комутаційний пристрій, де він перетворюється на змінний струм. Інвертор передає змінний струм напругою 380 В до тиристорної розподільчої шафи. Шафа SCR підключена до шинної секції вхідного розподільчого щита (VRS) будівлі розподільчого пристрою через шафу вимірювання інвертора.

Під впливом сонячного випромінювання на фотоелектричних модулях генерується напруга. Як тільки вона досягає 250 В, інвертор подає живлення до мережі. Перед підключенням до мережі інвертор контролює параметри лінії електропередач і подає живлення лише тоді, коли вони відповідають внутрішнім налаштуванням інвертора. Вихідна потужність системи нестабільна та залежить від сонячної радіації. Тому керування денною роботою фотоелектричної системи неможливе, оскільки протягом дня можливі значні коливання, а фотоелектрична система не може працювати вночі. Виробництво електроенергії можна прогнозувати лише на один рік на основі аналізу довгострокових кліматичних даних.

## 2.5 Компенсація реактивної потужності

I Інвертор SUN2000-33KTL-A, встановлений на даховій сонячній електростанції, пропонує можливість регулювання генерованої реактивної потужності; коефіцієнт корисної дії інвертора становить 1.

Генерація реактивної потужності практично відсутня, тому проект не включає встановлення систем компенсації реактивної потужності для дахової

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 40   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

сонячної електростанції.

## 2.6 Вибір КЛ-0,4 кВ змінного струму. Перевірка на втрату напруги

Проект передбачає встановлення мідного кабелю VVGngd від інвертора до шафи розподілу живлення SCR. Шафа SCR та інвертор розташовані поруч на даху будівлі, а довжина кабелю становить 5 м. Кабель прокладається відкрито в гофрованому трубопроводі.

Враховуючи максимальну номінальну потужність інвертора 27,12 кВт, ми розраховуємо максимальний струм навантаження за такою формулою.

$$I_{\text{інв.}} = \frac{P \cdot 1000}{1,73 \cdot U \cdot \cos\varphi} = \frac{27,12 \cdot 1000}{1,73 \cdot 400 \cdot 1} = 38,94 \text{ А}; \quad (2.1)$$

Виходячи з розрахованого струму, ми вибираємо кабель перерізом 16 мм<sup>2</sup> з допустимим тривалим струмом  $I_{d.tr.} = 78 \text{ А}$  та встановлюємо автоматичний вимикач зі струмом відключення 63 А на з'єднанні кабелю від інвертора до панелі SCHR.

Виконуємо випробування на падіння напруги на вибраному кабелі VVGngd 5x16 мм<sup>2</sup> з довжиною кабелю 5 м:

Падіння напруги в секції "Мережевий інвертор" – панель SCHR становлять:

$$\Delta U = I \cdot R; \quad (2.2)$$

де  $I$  – струм у фазі, А.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (2.3)$$

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 41   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

R – опір фази, Ом;

$$R = R_0 \cdot l; \quad (2.4)$$

де  $R_0$  – питомий опір провідника фазного, Ом/км;

$l$  – довжина лінії, км.

$$R = 1,16 \cdot 0,005 = 0,0058 \text{ Ом}. \quad (2.5)$$

Струм на ділянці «щит ЩР - інвертор», згідно наведеного розрахунку, становить 38,94 А.

Втрати напруги складають:

$$\Delta U = 38,94 \cdot 0,0058 = 0,226 \text{ В або } 0,056\%. \quad (2.6)$$

Перевіримо падіння напруги на найдовшій лінії постійного струму на ділянці «Модульний блок – мережевий інвертор». Найбільша довжина зазначеної ділянки становить 50 лінійних м.

Падіння напруги на ділянці «Модульний блок – стрінговий інвертор», яка прокладена мідним кабелем  $1 \times 4 \text{ мм}^2$ :

$$R = 2 \cdot 4,6 \cdot 0,05 = 0,46 \text{ Ом}. \quad (2.7)$$

Струм  $I$  на цій ділянці становить 8,82 А, відповідно до характеристик фотоелектричного модуля.

Втрати напруги на зазначеній ділянці становлять:

$$\Delta U = 8,82 \cdot 0,46 = 4,05 \text{ В або } 0,51\%. \quad (2.8)$$

Проект передбачає прокладання силового кабелю з алюмінієвими жи-

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 42   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

лами AVVGngd від розподільного щита ЩР до розподільного щита ШО, розташованого в будівлі розподільного щита.

Кабель буде прокладено відкрито в УФ-стійкому гофрованому трубопроводі вздовж фасаду будівлі. Довжина кабелю на ділянці ЩР-ШО становить 40 м.

Ми підберемо силовий кабель з алюмінієвими жилами AVVGngd з поперечним перерізом  $5 \times 35 \text{ мм}^2$  та допустимим тривалим струмом  $I_{d.tr.} = 95 \text{ А}$  (згідно з каталожними даними ПАТ «Завод Південкабель») та встановимо автоматичний вимикач зі струмом спрацьовування  $63 \text{ А}$  на підключенні до розподільного щита ШО.

Ми проведемо випробування на падіння напруги на вибраному кабелі з максимальною довжиною кабелю 40 м:

$$R = 0,894 \cdot 0,04 = 0,0358 \text{ Ом.} \quad (2.9)$$

Згідно з наведеним вище розрахунком, струм в екрануючій секції "ЩР – ЩО" становить  $38,94 \text{ А}$  для потужності  $27,12 \text{ кВт}$ .

Втрати напруги в екрануючій секції "ЩР – ЩО" ( $\text{АВВГнг-5} \times 35 \text{ мм}^2$ ):

$$\Delta U = 38,94 \cdot 0,0358 = 1,39 \text{ В або } 0,35\% . \quad (2.10)$$

Проект передбачає прокладання силового кабелю з алюмінієвими жилами AVVGngd від розподільного щита ШО до шин ВРЩ будівлі розподільного пристрою.

Кабель буде прокладено відкрито в гофрованому трубопроводі, стійкому до ультрафіолетового випромінювання.

Довжина кабелю на ділянці ШО – ВРЩ ( $0,4 \text{ кВ}$ ) становить 10 м.

Ми оберемо силовий кабель з алюмінієвими жилами AVVGngd перерізом  $5 \times 25 \text{ мм}^2$  та допустимим тривалим струмом  $I_{d.tr.} = 80 \text{ А}$  (згідно з ката-

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 43   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

ложними даними ПАТ «Завод Південкабель») та встановимо автоматичний вимикач зі струмом спрацьовування 80 А на підключенні до розподільного щита ВРЩ.

Ми проведемо випробування на падіння напруги обраного кабелю з максимальною довжиною кабелю 10 м:

Падіння напруги:

$$R = 1,25 \cdot 0,01 = 0,0125 \text{ Ом.} \quad (2.11)$$

$$\Delta U = 70,15 \cdot 0,0125 = 0,87 \text{ В або } 0,22\%. \quad (2.12)$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 2.3.

Втрати напруги не перевищують 2%, що є прийнятним.

Таблиця 2.3 - Результати розрахунків втрат напруги

| Назва траси               | Uном,<br>В | cos<br>φ | Pроз.,<br>кВт | Iроз.,<br>А | Марка<br>переріз<br>жили | Ік.з.,<br>кабе-<br>лю, А | Дов-<br>жи-<br>на, м | Втрата<br>напруги,<br>ΔU,% |
|---------------------------|------------|----------|---------------|-------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------|
| Блок модулів-<br>інвертор | 800        |          | 5,5           | 8,82        | 1x4                      | 55                       | 50                   | 0,51                       |
| інвертор-ЩР               | 400        | 1        | 30            | 38,94       | ВВГнгд-<br>5x16          | 78                       | 5                    | 0,056                      |
| ЩР-ШО                     | 400        | 1        | 48,42         | 38,94       | АВ-<br>ВГнгд-<br>5x35    | 95                       | 40                   | 0,35                       |
| ШО-ВРЩ                    | 400        | 1        | 48,42         | 38,94       | АВ-<br>ВГнгд-<br>5x25    | 80                       | 10                   | 0,22                       |
|                           |            |          |               |             |                          |                          |                      | 1,14                       |

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      | 44   |

## 2.7 Вибір трансформаторів струму

Розрахунок враховує споживання підключеного навантаження згідно з договором електропостачання.

Зазначене підключене навантаження становить 175 кВт.

Будівля постачається електроенергією через дві незалежні кабельні лінії, які розподіляють живлення на дві секції шин: ПІSSh – 125 кВт; ПІSSh – 50 кВт.

Струм первинної обмотки для ПІSSh при максимальному навантаженні (125 кВт) становить:

$$I_{1\max} = 125 / 1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,96 = 198,4 \text{ A}. \quad (2.13)$$

Наразі ми приймаємо трансформатори струму з коефіцієнтом трансформації 300/5.

Струм обмотки вторинної при максимальному навантаженні:

$$I_{2\max} = I_1 / K_{mp} = 198,4 / 60 = 3,3 \text{ A}. \quad (2.14)$$

Струм трансформаторного лічильника підключення SL-7000 становить 5А.

$$40\% I_{н.ліч.} = 5 \text{ A} \cdot 40\% = 2 \text{ A}. \quad (2.15)$$

Керуючись п.1.6.17 ПУЕ:  $I_2 \geq 40\% I_{н.ліч.}$ ;  $3,3 \geq 2 \text{ A}$  - вимога виконується/  
Мінімальне навантаження вважається рівним 10% і становить  $125 \cdot 10\% = 12,5 \text{ кВт}$ .

Мінімальний струм навантаження первинної обмотки:

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 45   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$I_{1\min} = 12,5 / 1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,96 = 19,8 \text{ A.} \quad (2.16)$$

Струм завантаження мінімальної обмотки вторинної становить:

$$I_{2\min} = I_1 / K_{mp} = 19,8 / 60 = 0,33 \text{ A;} \quad (2.17)$$

$$5\% I_{\text{н.ліч.}} = 5 \text{ A} \cdot 5\% = 0,25 \text{ A.} \quad (2.18)$$

Згідно з розділом 1.6.17 ПУЕ:  $I_2 \geq 5\%$  шпаруватості;  $0,33 \text{ A} \geq 0,25 \text{ A}$  – вимога виконана.

Вибираємо трансформатори струму для ПСШ типу Т-0,66 300/5 з комірною 0,5 с.

Струм первинної обмотки для ПСШ при навантаженні максимальному (50 кВт) становить:

$$I_{1\max} = 50 / 1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,96 = 79,37 \text{ A.} \quad (2.19)$$

Наразі ми приймаємо трансформатори струму з коефіцієнтом трансформації 100/5.

Струм вторинної обмотки при навантаженні максимальному:

$$I_{2\max} = I_1 / K_{mp} = 79,37 / 20 = 3,96 \text{ A.} \quad (2.20)$$

Струм трансформаторного лічильника підключення SL-7000 становить 5А.

$$40\% I_{\text{н.ліч.}} = 5 \text{ A} \cdot 40\% = 2 \text{ A.} \quad (2.21)$$

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 46   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Згідно з розділом 1.5.17 ПУЕ:  $I_2 \geq 40\% I_{н.ліч.}$ ;  $3.96 \geq 2 \text{ А}$  – вимога виконана.

Мінімальне навантаження приймається рівним 10% і становить  $50 \cdot 10\% = 5 \text{ кВт}$ .

Мінімальний струм навантаження первинної обмотки:

$$I_{1\min} = 5 / 1,73 \cdot 0,38 \cdot 0,96 = 7,9 \text{ А.} \quad (2.22)$$

Струм завантаження мінімального обмотки вторинної становить:

$$I_{2\min} = I_1 / K_{mp} = 7,9 / 20 = 0,396 \text{ А;} \quad (2.23)$$

$$5\% I_{н.ліч.} = 5 \text{ А} \cdot 5\% = 0,25 \text{ А.} \quad (2.24)$$

Керуючись стор. 1.5.17 ПУЕ:  $I_2 \geq 5\% \text{ В/км}$ ;  $0,396 \text{ А} \geq 0,25 \text{ А}$  – вимога виконана.

Вибираємо трансформатори струму для ПСШ типу Т-0,66 100/5 з комірною 0,5 с.

## 2.8 Розрахунок струмів короткого замикання

Вихідні дані:

- 1) Потужність трансформаторів Т-1 – 630 кВА;
- 2) Схема з'єднання обмоток 10/0,4 кВ –  $\Delta/Y_n$ ;
- 3) Напруга:  $U_{ном.} = 10/0,4 \text{ кВ}$ ;
- 4) Напруга короткого замикання для трансформатора типу ТМ-630 кВА –  $U_k\% = 5,5\%$ ;  $\Delta P_{к.з} = 8,5 \text{ кВт}$ ;
- 5) Коефіцієнт трансформації трансформаторів струму:  $n_t = 300/5$ .

Розраховуємо струми короткого замикання для I SS розподільного щита ВПШ 0,4 кВ, до якого підключена сонячна електростанція.

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 47   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Схема електромережі показана на рисунку 2.8..

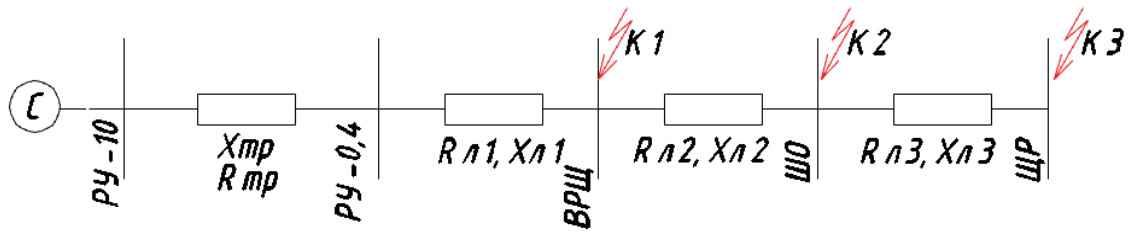


Рисунок 2.8 - Схема електропостачання мереж

Схема зміщення показана на рисунку 2.9.

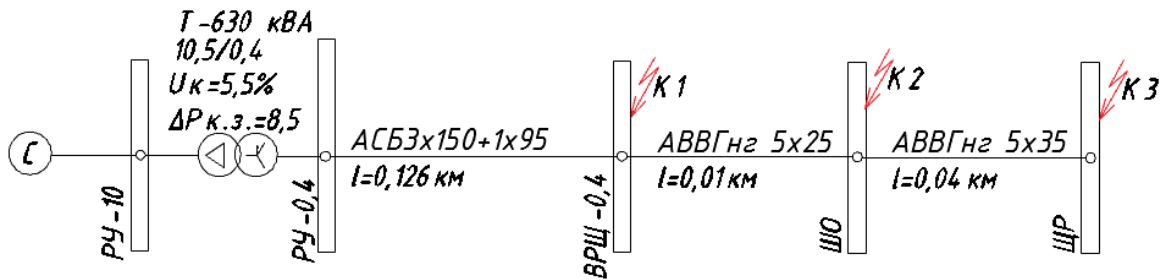


Рисунок 2.9 - Схема зміщення

Визначимо опори елементів схеми заміщення в точках К1, К2, К3: Загальний опір трансформатора ТМ-630 кВА зведений в бік 0,4 кВ:

$$Z_m = \frac{10 \cdot U_k \cdot U_{\text{нн}}^2}{S_{\text{н}}} = 0,014 \text{ Ом} . \quad (2.25)$$

Активний опір трансформатора ТМ-630 кВА зменшується в бік 0,4 кВ:

$$R_m = \frac{P_{kz} \cdot U_{\text{нн}}^2}{S_{\text{н}}^2} = 0,0034 \text{ Ом} . \quad (2.26)$$

Опір реактивний трансформатора ТМ-630кВА приведений до сторони 0,4кВ:

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 48   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$X_m = \sqrt{Z_m^2 - R_m^2} = 0,0135 \text{ Ом}. \quad (2.27)$$

Опір ділянки ВРП-0,4кВ ТП-№302- ВРЩ-0,4 (кабель АСБ 3x150+1x95):

$$R_{L_1} = R_{\text{пит}_1} = 0,208 \cdot 0,126 = 0,026 \text{ Ом}; \quad (2.28)$$

$$X_{L_1} = X_{\text{пит}_1} = 0,0596 \cdot 0,126 = 0,0075 \text{ Ом}. \quad (2.29)$$

Струм максимальний трифазного КЗ на шинах ВРЩ-0,4 (т. К1):

$$I_{\text{КЗ}}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(X_{\text{мп}_1} + X_{L_1})^2 + (R_{\text{мп}_1} + R_{L_1})^2}} = 6360,7 \text{ А}. \quad (2.30)$$

Струм максимальний двофазного КЗ на шинах ВРЩ-0,4 (т. К1):

$$I_{\text{КЗ}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{КЗ}}^{(3)} = 5502 \text{ А}. \quad (2.31)$$

Струм однофазний КЗ на шинах ВРЩ-0,4 (т. К1):

$$I_{\text{КЗ}}^{(1)} = \frac{U_{\phi}}{Z_{L_{\phi-0}} \cdot \frac{Z_m(1)}{3}} = 2347,1 \text{ А}. \quad (2.32)$$

Розрахунок КЗ для точок КЗ, К1 аналогічно проводимо та заносимо в таблицю 2.3

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 49   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Таблиця 2.3 – Результати розрахунків струмів КЗ

| Назва ділянки | Точка КЗ | Довжина, км | Тип, переріз КЛ  | Опір (Ом) |         |       |         | Ікз (1), А | Ікз (2), А | Ікз (3), А |
|---------------|----------|-------------|------------------|-----------|---------|-------|---------|------------|------------|------------|
|               |          |             |                  | Ro        | Ro*L    | Xo    | Xo*L    |            |            |            |
| ТП№ 302-ВРЩ   | К1       | 0,126       | ААШВ 3x185 +1x95 | 0,208     | 0,026   | 0,059 | 0,0075  | 2347,1     | 5502       | 6360,7     |
| ВРЩ-ШО        | К2       | 0,01        | АВВГнг 5x25      | 1,25      | 0,0125  | 0,091 | 0,00091 | 1804,4     | 4209,3     | 4866,2     |
| ШО-ЩР         | К3       | 0,04        | АВВГнг 5x35      | 0,894     | 0,03576 | 0,088 | 0,00352 | 1085,4     | 2173,1     | 2512,3     |

Через умови експлуатації сонячної електростанції електрична система не може видавати струм короткого замикання, оскільки фотоелектричні модулі працюють у режимі короткого замикання. Тому сонячна електростанція не виробляє струм короткого замикання в аварійних та виняткових ситуаціях.

## 2.9 Заземлення СЕС

Заземлювальний контур складатиметься з серії горизонтальних заземлювальних стрижнів довжиною 3 м. Штучні заземлювальні стрижні будуть гарячеоцинкованими горизонтальними заземлювальними стрижнями системи "DKC JUPITER", які будуть вертикально вбудовуватися в землю на глибину 0,7 м над рівнем землі. Вертикальний заземлювальний стрижень складатиметься з гарячеоцинкованої стрічки (40 x 4 мм). Смуга з'єднується із заземлювальними стрижнями, а перехід від стрічки до дроту діаметром 10 мм здійснюється за допомогою спеціальних з'єднувачів системи "DKC JUPITER". Стрижень виходить на дах через фасадні кронштейни.

Металеві конструкції будуть з'єднані між собою за допомогою дроту PV-3 1 x 16 мм<sup>2</sup>. Торцеві ковпачки повинні бути встановлені на дроті.

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 50   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Встановлення заземлювальних стрижнів та горизонтального заземлювального стрижня в землі визначено законом для прихованих робіт. Опір протіканню струму в ґрунті повинен бути менше або дорівнювати 4 Ом у будь-який час року.

Заземлювальні пристрої (ЗП) повинні відповідати вимогам розділу 1.7 ПУЕ: 2017.

Якщо фактичний опір ЗП не відповідає нормативному значенню, його доводять до нормативного значення шляхом встановлення додаткових балок перекриття або забивання додаткових вертикальних заземлювачів.

Питомий опір ґрунту в місцях прокладання захисних заземлювачів становить 70 Ом\*м (глина).

Схема заземлення показана умовно. Монтаж слід виконувати на місці з урахуванням рельєфу місцевості та розташування підземних мереж і ліній зв'язку.

Розраховуємо схему заземлення, яка складається зі сталевих заземлювальних електродів діаметром 16 мм та довжиною 3 м, а також металеві заземлювальної смуги (40 х 4).

Опір повзучості планованого заземлювального пристрою (вертикальний заземлювальний стрижень Ø16 мм, довжиною 3 м):

$$R_0 = \frac{\rho_{екв}}{2\pi \cdot L} \left( \ln\left(\frac{2L}{d}\right) + 0,5 \ln\left(\frac{4T+L}{4T-L}\right) \right), \quad (2.33)$$

де L – довжина заземлювача вертикального, L=3 м.;

$\rho_{екв}$  – опір ґрунту питомий,  $\rho_{екв} = 70$  Ом/м (суглинок);

d – діаметр стержня, d = 0,016 м.;

T – відстань від землі до середини поверхні стержня, T=1,5+0,7=2,2 м.

$$R_0 = 22,98 \text{ Ом.} \quad (2.34)$$

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 51   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Опір розтікання заземлювачів вертикальних попередньо враховуючи прийняту їх кількість 6 шт.

$$R_{в.сум.} = \frac{R_0}{N \cdot K_{в.в.з.}} = 70 \text{ Ом.} \quad (2.35)$$

де n – кількість вертикальних заземлювачів, N=6 шт.;

K<sub>в.в.з.</sub> - коефіцієнт використання заземлювача вертикального, K<sub>в.в.з.</sub>=0,9.

Опір розтікання пристрою заземлюючого що проектується (заземлювача горизонтального сталеві смуги 40x4):

$$R_{\Gamma} = 0,366 \left( \frac{\rho_{екв} \cdot \psi}{L_{\Gamma} \cdot \eta_{\Gamma}} \right) \cdot \lg \left( \frac{2 \cdot L_{\Gamma}^2}{b \cdot t} \right), \quad (2.36)$$

де b – ширина заземлення полоси, b = 0,04 м.;

t – глибина полоси закладання заземлення, h=0,7м.

L – довжина заземлювача горизонтального, L=30 м.;

$\rho_{екв}$  – опір ґрунту питомий,  $\rho_{екв} = 70 \text{ Ом/м}$ ;

$\psi$  - коефіцієнт сезонності,  $\psi = 1,36$ ;

$\eta_{\Gamma}$ - коефіцієнт використання заземлювача горизонтального,  $\eta_{\Gamma} = 0,9$ .

$$R_{\Gamma} = 17,94 \text{ Ом.} \quad (2.37)$$

Загальний опір струму розтікання контуру заземлення:

$$R_3 = \frac{R_{в.сум.} \cdot R_{\Gamma}}{R_{в.сум.} + R_{\Gamma}} = 3,90 \text{ Ом}; \quad (2.38)$$

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 52   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

$$R_3 = 3,7 \text{ Ом} \leq 4 \text{ Ом}. \quad (2.39)$$

Ми приймаємо схему заземлення для металевих опор та сонячних панелей на даху будівлі. Вона складається з шести круглих металевих стрижнів – заземлювальних електродів – діаметром 16 мм та довжиною 3 м. Відстань між стрижнями становить 3 м. Горизонтальний заземлювальний провідник складається з металевого стрижня з поперечним перерізом 40 x 4 мм, прокладеного на висоті 0,7 м над поверхнею землі.

Опір протіканню струму в землі повинен бути меншим або рівним 4 Ом у будь-який час року.

## 2.10 Заходи безпечної експлуатації СЕС

### 2.10.1 Блискавкозахист сонячної електростанції

Металеві конструкції столів, на яких встановлені фотоелектричні модулі, служать струмозбірниками для захисту сонячної електростанції від перенапруг блискавки.

Рівномірне розташування металевих столів на даху, а також взаємозв'язок металевих конструкцій та штучних заземлювачів забезпечує оптимальний розподіл перенапруг під час ударів блискавки.

Штучним заземлювачем для системи блискавкозахисту сонячної електростанції є захисний заземлювач SPP – сталеві стрижні діаметром 16 мм, довжиною 3 м, вертикально занурені в землю на глибину 0,7 м над рівнем землі; горизонтальним заземлювачем є з'єднувальна смуга, виготовлена з гарячекатаної смуги 40 x 4 мм та дротяного стрижня діаметром 10 мм.

Блискавкозахист сонячної електростанції забезпечується такими заходами:

1) Встановлення системи зрівнювання потенціалів шляхом підключення всіх струмопровідних частин сонячної електростанції до загального зазем-

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 53   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

лювального пристрою. Це запобігає виникненню різниці потенціалів та іскріння на різних елементах, сприяючи швидкому розсіюванню струму блискавки на землю та його подальшому розподілу; 2) Розташування великої кількості паралельних шляхів для струму блискавки, що розподіляє його та створює значно менший ризик;

3) Для запобігання впливу вторинних явищ блискавки, таких як індуковані струми та індуковані потенціали, встановлюється внутрішня система блискавкозахисту. Елементи цієї системи, а саме варистори та розрядники, повинні захищати найбільш вразливі та критичні пристрої – інвертори. Для цього в шафі керування інвертором з боку змінного струму встановлюється розрядник класу 1+2, який може значно зменшити небезпечні імпульсні струми. Разом з елементами системи блискавкозахисту класу 3, які інтегровані безпосередньо в інвертор, ми отримуємо систему з прийнятним рівнем захисту від атмосферних перенапруг. Окрема зовнішня система блискавкозахисту не потрібна, оскільки металеві конструкції, на яких монтуються модулі, заземлені та з'єднані між собою і можуть поглинати прямий удар блискавки без значної небезпеки для самої електростанції та її персоналу.

## 2.10.2 Паралельна робота сонячної електростанції із зовнішньою енергомережею

Планована фотоелектрична електростанція є інверторною електростанцією, підключеною до мережі. Характерною рисою таких систем є те, що вони не здатні працювати автономно на ізолюваному острові навантаження. Виробництво електроенергії планованої сонячної електростанції вимагає наявності напруги в точці підключення до загальної мережі.

Алгоритм роботи фотоелектричної системи не передбачає автономної роботи системи. Вона відключає фотоелектричний інвертор від енергомережі, якщо параметри мережі не відповідають налаштуванням інвертора. Це може бути спричинено перебоями в роботі мережі. Опція автоматичної синх-

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 54   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

ронізації та паралельної роботи з українською енергомережею є єдиним способом взаємодії фотоелектричної системи з енергомережею у встановленій конфігурації системи.

Для роботи інверторів параметри мережі повинні відповідати чинним стандартам та бути в межах допустимих значень. Якщо ці умови не виконуються, інвертор відключається від мережі та чекає стабілізації енергомережі. Система моніторингу зовнішньої мережі та алгоритм виявлення відхилень інтегруються в пристрій під час введення в експлуатацію з урахуванням стандартів та вимог, що діють в Україні.

Технічні характеристики інвертора SUN2000-33KTL-A відповідають усім вимогам енергетичних компаній щодо захисту зовнішніх електромереж.

1) Інвертор відключається та повторно підключається в точці підключення до мережі за допомогою програмно-керованих внутрішніх реле. Це забезпечує:

- автоматичне (повторне) підключення до загальної мережі, якщо напруга та частота знаходяться в діапазоні  $0,8 \times 1,5 U_n$  та від 49,5 Гц до 50,5 Гц;
- негайне відключення (протягом 0,5 секунди), якщо напруга та/або частота знаходяться поза цими значеннями;
- програмне забезпечення та його налаштування недоступні для кінцевого користувача;

2) час повторного підключення після відключення електроенергії становить не менше 180 секунд.

3) постійний струм у мережі менше 0,5% від номінального значення;

4) Коефіцієнт гармонійних спотворень вихідного струму менше 2%.

### 2.10.3 Заходи протипожежного захисту

Для запобігання пожежам та вибухам передбачені такі заходи:

- Автоматичне відключення окремих елементів електричних мереж автоматичними вимикачами у разі короткого замикання;

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 55   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

- Розміщення обладнання в приміщеннях розподільних пристроїв на відстанях між струмоведучими частинами та обладнанням, нормованих ПУЕ;
- Закопування повітряних ліній під землю;
- Використання негорючих конструкцій для будівництва повітряних ліній;
- З'єднання та розгалуження проводів і кабельних жил за допомогою обтиску, зварювання та спеціальних затискачів для зниження пожежонебезпечного контактного опору;
- Заземлення обладнання відповідно до ПУЕ;
- Первинні засоби пожежогасіння в приміщеннях розподільних пристроїв відповідно до правил пожежної безпеки на підприємствах, заводах та в організаціях енергетичного сектору України;
- Інформаційні знаки відповідно до ГОСТ 12.4.026-79 із зазначенням місця розташування засобів пожежогасіння;
- Забезпечення доступу до будівлі для пожежних автомобілів.

#### 2.10.4 Охорона праці та здоров'я

Охорона праці та здоров'я під час будівництва та експлуатації планованих об'єктів забезпечується шляхом забезпечення відповідності всіх проектних рішень вимогам чинних стандартів та норм. Ці стандарти враховують умови охорони праці, запобігання нещасним випадкам на виробництві, професійним захворюванням, пожежам та вибухам, а також захист людей від ураження електричним струмом відповідно до ГОСТ 12.0.003-74\*.

Для створення та підтримки безпечних та нешкідливих умов праці під час експлуатації та ремонту мереж та споруд необхідно дотримуватися вимог ДНАОП 0.00-1.21-98, ДНАОП 1.1.10-1.07-01 та ГОСТ 12.3.032-84. Для окремих видів робіт, що не є специфічними для фахівців-електриків, необхідно дотримуватися вимог міжгалузевих норм охорони праці.

До експлуатації об'єктів допускаються лише спеціально навчені та кваліфіковані фахівці-електрики, які повинні мати всі необхідні інструменти та

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 56   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

обладнання для ремонтних робіт.

Для забезпечення охорони праці та техніки безпеки планується наступне:

- Використання сучасного, високотехнологічного обладнання;
- Розташування відкритих струмоведучих частин об'єкта, шин та ліній з дотриманням нормованих відстаней ПУЕ;
- Розташування об'єкта для забезпечення безперебійного обслуговування; Влаштування заземлювальних пристроїв для елементів;
- Електроустановки з нормованими значеннями опору та проектуванням відповідно до вимог ПУЕ;
- Захисне та робоче заземлення об'єкта;
- Пристрої для автоматичного відключення об'єкта у виняткових та аварійних ситуаціях;
- Прокладання кабелів на нормованій глибині в землі;
- Захист кабельних трас від механічних пошкоджень (ПВХ труби);
- Профілактичні заходи – прокладання сигнальних стрічок над повітряною лінією, встановлення відповідних знаків вздовж траси повітряної лінії;
- Виконання будівельно-монтажних робіт відповідно до нормованих технологічних карт.

Для забезпечення охорони праці та техніки безпеки також необхідно, щоб будівництво, монтаж, пусконаладжувальні роботи та експлуатація електричних систем відповідали вимогам чинних стандартів.

Висновки другого розділу.

У другому розділі статті запропоновано проект дахової сонячної енергетичної системи. Розраховано прогнозоване виробництво електроенергії. Виконано необхідні розрахунки мереж постійного та змінного струму. Обґрунтовано вибір трансформаторів струму. Розраховано струми короткого замикання та струми на землю сонячної енергетичної системи.

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 57   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

### 3 ОРГАНІЗАЦІЯ ОБЛІКУ ВИРОБЛЕНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Технічна система розрахунків для сонячної електростанції буде являти собою інверторну систему розрахунків – шафу SHO – розташовану в будівлі розподільного щита. Шафа SHO оснащена лічильником прямого підключення АСЕ6000 на 380 В 5 (100) А з 1-полюсним виводом, трьома трансформаторами струму 75/5 з 0,5-полюсним виводом (для підключення аналізатора якості електроенергії) та автоматичним вимикачем з Ік.г. 63 А.

Комерційне виставлення рахунків, відповідно до технічних умов, буде здійснюватися на краю балансувальної межі, а саме на місці підключення кабелів живлення до розподільчого щита існуючої будівлі. Проект передбачає встановлення розрахункових шаф на кожному з існуючих вводів (1SHO, 2SHO), оснащених автоматичними вимикачами, запобіжниками відповідних номіналів та двонаправленим багатofункціональним трансформаторним лічильником SL-7000 з 0,5-полюсним виводом. Шафи 1SHO та 2SHO опломбовані представником енергокомпанії. Лічильники підключаються через трансформатори струму типу Т-0,66 300/5 (100/5).

АСКОЕ має розміщуватися в окремій комірці в будівлі розподільчого пристрою.

Усі схеми попереднього обліку повинні бути пломбовані та допускати подальше пломбування представником енергокомпанії.

Допускається встановлення лише сертифікованих та затверджених приладів та обладнання.

Електромонтажні роботи може виконувати лише кваліфікований та сертифікований персонал.

АСКОЕ має бути спроектований як дворівнева автоматизована система з центральним керуванням та функціями розподіленого обліку.

Перший рівень включає вимірювальний комплекс (трансформатори струму, трансформатори напруги, вторинні кола, електронні лічильники еле-

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 58   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

ктроенергії) та комунікаційне обладнання.

Другий рівень – це сервер АСКОЕ в центрі обслуговування клієнтів.

Перший рівень (рівень ТП) повинен виконувати такі завдання:

Вимірювання параметрів комерційного обліку та передача даних на вищий рівень;

Наявна можливість визначення обсягу виробленої електроенергії, оскільки виробництво електроенергії є обов'язковим параметром, про який інформується оператор розподільчої системи.

Діагностика стану приладів обліку;

Довготривале зберігання даних;

Надання інтерфейсів для доступу до інформації із зовнішніх систем.

Перелік точок комерційного обліку має бути узгоджений з оператором системи розподілу.

Другий рівень клієнта (сервер АСКОЕ) повинен автоматично збирати, діагностувати, обробляти та зберігати інформацію про облік електроенергії, автоматично збирати та обробляти інформацію про стан приладів обліку, надавати інтерфейси для доступу до цієї інформації та автоматично передавати дані оператору системи розподілу, АСКОЕ АТ «Хмельницькобленерго».

Лічильники електроенергії автоматично дотримуються встановленого внутрішнього графіка переходу на інший час кожного наступного року при переході з літнього на зимовий час (тобто без додаткового програмування річного графіка).

Через внутрішню передачу часу при переході з літнього/зимового часу, мітки часу в архівних даних профілю навантаження та інших архівних пам'ятях лічильника не повинні змінюватися (зміщуватися).

Лічильники електроенергії архівують такі дані:

Півгодинний профіль вироблення активної та реактивної потужності;

Виміряні значення електроенергії з кумулятивними сумами кожні 30 хвилин (виробництво активної та реактивної потужності).

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 59   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Термін зберігання цих архівних даних має становити не менше 60 днів.

Лічильники електроенергії ведуть журнал подій для всіх випадків та підтримують міжнародні стандарти протоколу зв'язку IEC 62056-21 (3-тє видання IEC 1107) або DLMS/COSEM.

У лічильниках електроенергії всі аномальні події зберігаються разом зі значеннями реєстра енергії.

Лічильники електроенергії повинні мати послідовний інтерфейс передачі даних RS-485 або струмову петлю та працювати, коли у вимірювальних колах присутня принаймні одна фаза або мережева напруга від основного джерела живлення.

У разі збою живлення лічильники електроенергії повинні забезпечувати зберігання даних для виставлення рахунків в енергонезалежній пам'яті протягом не менше трьох років.

Лічильники електроенергії повинні мати можливість синхронізувати внутрішній календарний таймер зовні через сервер АСКОВЕ АТ "Хмельницькобленерго".

Точність внутрішнього календарного годинника лічильника повинна бути не менше  $\pm 0,5$  секунди на добу.

Лічильники електроенергії автоматично здійснюють внутрішні перемикання часу при зміні сезонів з літа на зиму, згідно з графіком, встановленим чинним законодавством України (згідно з Постановою Кабінету Міністрів України № 509 від 13 травня 1996 року: Щорічно о 3:00 ранку за київським часом в останній тиждень березня час переводиться на одну годину вперед, а о 4:00 ранку за київським часом в останній тиждень жовтня час переводиться на одну годину назад).

Лічильники електроенергії дозволяють програмувати будь-який графік зміни внутрішніх годинників при переході з літнього на зимовий час (тобто встановлювати будь-які значення місяця, дня тижня, часу, зміщення та напрямку (вперед або назад) зсуву часу).

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 60   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

Висновки за третім розділом.

У третьому розділі роботи розроблено систему розрахунку за електроенергію, вироблену сонячною електростанцією. Розрахунки за електроенергію здійснюються відповідно до Порядку комерційного розрахунку за електроенергію, затвердженого постановою Національної комісії, що здійснює регулювання у сфері енергетики та комунальних послуг України від 4 квітня 2017 року № 472. Обмін інформацією між підсистемами верхнього та нижнього рівнів здійснюється через GSM з використанням стандартних GSM-терміналів та мобільних операторів у Хмельницькій області: Vodafone (основний канал) та KyivStar (резервний стандарт GSM).

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 61   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## ВИСНОВКИ

Альтернативні джерела енергії є одним із найважливіших напрямків розвитку світової енергетичної галузі, про що свідчать статистичні дані лідерів ринку та міжнародних аналітичних агентств. Серед відновлюваних джерел енергії сонячна енергетика демонструє найшвидші темпи зростання – приблизно 30% щорічно, тоді як загальний темп зростання відновлюваної енергетики становить 8,3%.

В Україні частка встановлених потужностей сонячної енергії є найвищою серед відновлюваних джерел, складаючи понад половину встановленої потужності всіх відновлюваних джерел енергії.

Частка виробництва сонячної енергії у світовому виробництві електроенергії вперше досягла 10% у квітні 2025 року. Це зробило сонячну енергетику четвертим за величиною джерелом електроенергії у світі, випереджаючи вітрову та атомну енергетику. Випереджаючи сонячну енергетику, лише вугілля, природний газ та гідроенергетика.

У цій роботі пропонується проект дахової сонячної електростанції потужністю 27,12 кВт. Розраховано прогнозоване виробництво електроенергії. Виконано необхідні розрахунки для мереж постійного та змінного струму. Обґрунтовано вибір трансформаторів струму та компенсації реактивної потужності. Розраховано струми короткого замикання та заземлення сонячної електростанції. Розроблено заходи для безпечної експлуатації сонячної електростанції.

Розроблено комерційну систему виставлення рахунків за вироблену електроенергію.

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 62   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. IRENA REMAP – 2030 Перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні до 2030 року. URL: [http://saee.gov.ua/sites/default/files/UKR%20IRENA%20REMAP%20\\_%202015.pdf](http://saee.gov.ua/sites/default/files/UKR%20IRENA%20REMAP%20_%202015.pdf). (дата звернення: 18.04.2025).
2. Онлайн видання Українська енергетика. <https://ua-energy.org/> (дата звернення: 18.05.2025).
3. “Про альтернативні джерела енергії”: закон України // Відомості Верховної Ради – України // – 2003. – № 24. – С. 155.
4. Закон України Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії, документ 514-VIII від 04.06.2015. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/514-19>.
5. Міжнародна енергетична агенція (IEA). – URL: <http://www.iea.org/>. (дата звернення: 12.05.2025).
6. Закон України Про внесення зміни до Закону України "Про електроенергетику" щодо коефіцієнтів "зеленого" тарифу для електроенергії, виробленої з використанням альтернативних джерел енергії. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1804-19>. (дата звернення: 18.05.2025).
7. Директива європейського парламенту та ради 2009/28/ЄС від 23 квітня 2009 року про заохочення до використання енергії, виробленої з відновлюваних джерел.– URL: [http://saee.gov.ua/documents/dyrektyva\\_2009\\_28.pdf](http://saee.gov.ua/documents/dyrektyva_2009_28.pdf). (дата звернення: 18.05.2025).
8. Міжнародне агентство з відновлюваних джерел енергії (IRENA). URL: <https://www.irena.org/>. (дата звернення: 10.05.2025).
9. Види сонячних електростанцій. URL: [http://ishop.sutem.com.ua/articles/topics/solar\\_energy/SES](http://ishop.sutem.com.ua/articles/topics/solar_energy/SES). (дата звернення: 02.05.2025).

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 63   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

10. Як заробляти на сонці та отримати енергетичну незалежність власного дому. URL: <https://tech4home.in.ua/solar-energy.pdf> (дата звернення: 11.05.2025).

11. Л.В. Дмитренко, С.Л. Барандіч. Оцінка кліматичних ресурсів сонячної енергії в Україні. URL: [https://uhmi.org.ua/pub/np/256/9\\_Dmytrenko\\_Barandich.pdf](https://uhmi.org.ua/pub/np/256/9_Dmytrenko_Barandich.pdf) (дата звернення: 11.05.2025).

12. Кудря С.О. та ін. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України // НАН України; Ін-т електродинаміки та ін. Київ, 2001. 41 с.

13. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України // Альтернативна енергетика. Енергія Сонця. URL: <http://saee.gov.ua/uk/ae/sunenergy> (дата звернення: 19.05.2025).

14. Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/514-19> (дата звернення: 18.05.2025).

15. Сонячна панель JA SOLAR JAM72S30-565LR [Електронний ресурс] // ENF Solar. – Режим доступу: <https://www.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystal-line/66266> (дата звернення: 17.05.2025).

16. ТОВ «ДТЕК»: Інтегрований звіт 2017. URL: [https://dtek.com/content/files/dtek\\_ar\\_2017\\_ru1.pdf](https://dtek.com/content/files/dtek_ar_2017_ru1.pdf) (дата звернення: 14.05.2025).

17. Програма фінансування альтернативної енергетики України (USELF). URL: [http://www.uself.com.ua/fileadmin/documents/USELF\\_UA\\_13\\_06\\_2014.pdf](http://www.uself.com.ua/fileadmin/documents/USELF_UA_13_06_2014.pdf) (дата звернення: 15.05.2025).

18. Сайт delo.ua. URL: <https://delo.ua/news/castka-sonyacnoyi-energetiki-u-sviti-vperse-dosyagla-10-446853/> (дата звернення: 18.05.2025).

|      |      |          |        |      |                      |      |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
|      |      |          |        |      | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                      | 64   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                      |      |

ДОДАТКИ

|             |             |                 |               |             |                      |      |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|----------------------|------|
|             |             |                 |               |             | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
|             |             |                 |               |             |                      | 65   |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> |                      |      |