

**Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій**

Управління енергетичними та економічними процесами

Інтелектуальні системи енергопостачання

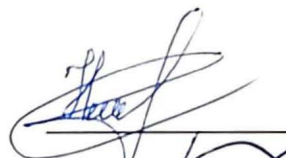
**Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
магістра**

на тему: **Дослідження функціонування мікромереж з фотоелектричними станціями**

за освітньою програмою **Енергетичні та електромеханічні системи на транспорті**

зі спеціальності: **141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка**

Виконав студент
групи: EE2226

 / **Денис НЕЧМИРЯ** /

Керівник

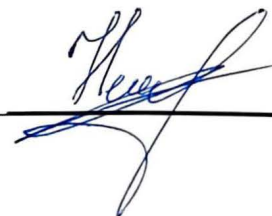
 / **доцент Андрій АНТОНОВ** /

Нормоконтролер:

 / **доцент Ірина ПОТАПЧУК** /

Засвідчую, що у цій роботі немає за-
позичень з праць інших авторів без ві-
дповідних посилань.

Студент



**Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies**

Energy and economic processes management
Intellectual power supply systems

Explanatory Note
to Master's Thesis

on the topic: **Study of the operation of microgrids with photovoltaic stations**
according to educational curriculum **Energy and electromechanical systems in transport**

in the Specialty: **141 Power engineering, electrical engineering and electromechanics**

Done by the student
of the group: EE2226:

/ Denys Nechmyria /

Scientific Supervisor:

/ Ass. Prof. Andrey Antonov /

Normative controller:

/ Ass. Prof. Iryna Potapchuk /

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Управління енергетичними та економічними процесами
Кафедра: Інтелектуальні системи енергопостачання
Рівень вищої освіти: Другий (магістерський)
Освітня програма: Енергетичні та електромеханічні системи на транспорті
Спеціальність: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(шифр та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри **ІСЕ**

_____/ **Дмитро БОСИЙ**
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Дата _____

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу

магістр з електроенергетики, електротех-
ніки та електромеханіки
(ступінь вищої освіти)

студенту Нечмирі Денису Євгенійовичу
(Прізвище, Ім'я, По батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження функціонування мікромереж з фотоелектричними станціями»

Керівник роботи: Антонов Андрій Владиславович, к.т.н., доцент
(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від "18" січня 2023 р. № 55ст

2. Строк подання студентом роботи: 09.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: відкриті технічні, наукові та нормативні джерела, навчальна література.

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

4.1 Аналіз функціонування мікромереж з відновлюваними джерелами енергії;

4.2 Дослідження функціонування реального об'єкту з фотоелектричною станцією;

4.3 Аналіз впливу фотоелектричної станції на якість електричної енергії.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

5.1 Графік споживання електричної енергії об'єктом;

5.2 Схемні рішення електричних мереж.

5.3 Аналіз отриманих результатів

6. Консультанти розділів роботи:

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз функціонування мікромереж з відновлюваними джерелами енергії	10.10.2023	
2	Дослідження функціонування реального об'єкту з фотоелектричною станцією	20.11.2023	
3	Аналіз впливу фотоелектричної станції на якість електричної енергії	27.12.2023	
4	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	09.01.2024	
5	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	17.01.2024	

Студент

Денис НЕЧМИРЯ

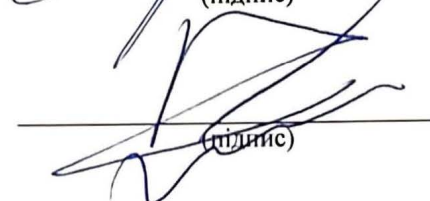
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)


(підпис)

Керівник роботи

Андрій АНТОНОВ

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)


(підпис)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота 79 сторінок, 3 частини, 27 ілюстрацій, 13 таблиць, 1 додаток, 25 використаних джерел.

Об'єктом дипломного проекту є мікромережа на основі реального об'єкту з фотоелектричною станцією.

Мета дипломного проекту: виконати дослідження виробничого цеху виготовлення монтажних систем, розташованого в південній промисловій зоні м. Дніпро, розрахувати споживання електричної енергії об'єктом та зробити аналіз доцільності встановлення фотоелектричної станції.

У вступній частині був зроблений аналіз та статистика світового ринку відновлювальних джерел енергії, а також ми розглянули потенціал використання сонячної енергії в Україні.

В другій частині проведено розрахунки параметрів електрообладнання та виконано розрахунки енергоспоживання.

В третьому розділі проаналізований вплив відновлювальних джерел енергії на втрати електроенергії в електричних мережах.

В роботі було проведено розрахунок навантаження на проєктований об'єкт, щорічне споживання електроенергії та спрогнозовано річну генерацію електроенергії за допомогою сучасних методів розрахунків.

Метод, використаний при розрахунках можливо використовувати виробничими підрозділами, які займаються проєктуванням електричних мереж та впровадженням фотоелектричних станцій у ці мережі.

Ключові слова: ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, ЕЛЕКТРИЧНА МЕРЕЖА, ФОТОЕЛЕКТРИЧНА СТАНЦІЯ, ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ МІКРОМЕРЕЖ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ.....	10
1.1 Аналіз ринку та статистика світового ринку відновлювальних джерел енергії (ВДЕ).....	10
1.2 Український сектор ВДЕ напередодні та в умовах війни.....	12
1.3 Поглиблення фінансової кризи на ринку ВДЕ.....	17
1.4 Рішення держаних органів влади щодо подальшого розвитку ВДЕ, прийняті під час війни.....	19
1.5 Потенціал використання сонячної енергії в Україні	20
1.6 Технічні характеристики, обладнання, особливості встановлення та експлуатація, виробники, переваги та недоліки.....	22
1.7 Конструктивні особливості та принцип роботи сонячної станції	24
1.8 Що таке Мікромережа.....	27
1.9 Характеристика об'єкту проектування та використання ФЕС в якості децентралізованого джерела електропостачання.....	29
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ РЕАЛЬНОГО ОБ'ЄКТУ З ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЮ СТАНЦІЄЮ.....	30
2.1 Вихідні дані проєктованого об'єкту	30
2.2 Розрахунок електричних навантажень об'єкту	30
2.3 Проектування та розрахунок фотоелектричної електростанції	35
2.3.1 Вибір типу, параметрів фотоелектричних модулів (ФЕМ), інвертора до встановлення на фотоелектричну станцію (ФЕС)	36
2.3.2 Визначення конструкції окремого стола з фотоелектричними модулями.....	47
2.3.3 Проведення розрахунків фотоелектричної станції	50

02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Разраб.		Наумова Л.Е.		16.01.24

Дослідження функціонування

Лист Лист Листів

РЕФЕРАТ

Магістерська робота 80 сторінок, 3 частини, 27 ілюстрацій, 13 таблиць, 1 додаток., 26 використаних джерел.

Об'єктом дипломного проекту є мікромережа на основі реального об'єкту з фотоелектричною станцією.

Мета дипломного проекту: виконати дослідження виробничого цеху виготовлення монтажних систем, розташованого в південній промисловій зоні м. Дніпро, розрахувати споживання електричної енергії об'єктом та зробити аналіз доцільності встановлення фотоелектричної станції.

У вступній частині був зроблений аналіз та статистика світового ринку відновлювальних джерел енергії, а також ми розглянули потенціал використання сонячної енергії в Україні.

В другій частині проведено розрахунки параметрів електрообладнання та виконано розрахунки енергоспоживання.

В третьому розділі проаналізований вплив відновлювальних джерел енергії на втрати електроенергії в електричних мережах.

В роботі було проведено розрахунок навантаження на проєктований об'єкт, щорічне споживання електроенергії. та спрогнозовано річну генерацію електроенергії за допомогою сучасних методів розрахунків.

Метод, використаний при розрахунках можливо використовувати виробничими підрозділами, які займаються проєктуванням електричних мереж та впровадженням фотоелектричних станцій у ці мережі.

Ключові слова: ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, ЕЛЕКТРИЧНА МЕРЕЖА, ФОТОЕЛЕКТРИЧНА СТАНЦІЯ, ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

3 ВПЛИВ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ВТРАТИ ЕЛЕКТРО-
ЕНЕРГІЇ В ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ62

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ75

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ77

ДОДАТОК А80

ВСТУП

Актуальність роботи. Бурхливий розвиток відновлювальної енергетики приводить до істотного збільшення її частки у виробленні електроенергії, тому питання інтеграції нестабільних джерел енергії в мережу без послаблення надійності системи стоїть на порядку денному в багатьох розвинених країнах. Відновлювальні джерела використовуються для забезпечення власних потреб і направлені на зниження використання традиційних джерел енергії, заощадження коштів виробництва та підвищення показників якості електроенергії.

На нашу думку використання енергії Сонця є перспективним напрямом для забезпечення електроенергією мешканців приватного сектору та багатоквартирних будинків, паралельно з роботою електричної мережі. Для цього використовуються фотоелектричні елементи, які розташовуються на даху будинку. Включення ВДЕ до систем електрозабезпечення інфраструктурних об'єктів може забезпечити часткову або повну автономність об'єкта, або їх впровадження дозволить залучити додаткові кошти, які можливо направити на зменшення експлуатаційних витрат.

Зовнішні умови, особливо інтенсивність сонячного випромінювання, головним чином визначають, наскільки ефективно генерують електроенергію сонячні джерела. Сонячні панелі працюють лише вдень, коли є світло. Їх виробництво електроенергії характеризується змінним та нерегулярним режимом роботи. Інвертори фотоелектричних станцій, в свою чергу, створюють в електричній мережі додаткові коливання та генерують в мережу вищі гармоніки, тому система зазнає значних змін і її режим роботи піддається впливу. Оскільки частка фотоелектричних станцій серед ВДЕ є суттєвою, а генерування їх нестабільне через залежність від природних умов, то актуальним є дослідження їх впливу на режим локальної електричної системи.

Ціль роботи.

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В даній роботі був досліджений реальний об’єкт, виробничий цех, з фотоелектричною станцією, виконаний розрахунок сучасного навантаження, вибрано елементи та конструктив фотоелектричної станції визначено щорічне споживання електроенергії та прогнозовано річну генерацію електроенергії. Було проведено розрахунки та визначена економічна доцільність використання фотоелектричної станції.

Об’єкт дослідження – мікромережа на основі реального об’єкту з фотоелектричною станцією.

Предмет дослідження – фотоелектрична станція та її вплив на якість електричної енергії, визначення показників якості електроенергії.

Матеріали та методи. Методи дослідження – проведено низку вимірювань показників енергоспоживання сонячної станції, виконано аналіз цих показників за допомогою програмного забезпечення Excel. За допомогою програмного забезпечення PVsyst, виконано прогнозні розрахунки виробництва енергії з урахуванням різного роду факторів, як то втрати в інверторах, фотоелектричних модулях, втрати за рахунок тіней і т.п. Користувачі цієї програми можуть вводити початкові дані, в залежності від їх конкретних умов розташування та робити проекти, які враховують потрібну потужність та конфігурацію електростанції.

Результати та обговорення. В результаті проведеного дослідження було визначено, що виробленої енергії фотоелектричної станції не вистачить для повного забезпечення об’єкту та відокремлення його від централізованого електропостачання, але можливі варіанти часткової автономії або експлуатація з метою отримання додаткових коштів які можливо використовувати для зменшення експлуатаційних витрат.

У роботі було встановлено, що нестабільне генерування фотоелектричної станції може викликати дисбаланс у енергосистемі та впливати на якість електроенергії. В результаті проведеного дослідження визначено низку шляхів вирішення питання оптимізації роботи ФЕС для забезпечення мінімального відхи-

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

лення від прогнозованого графіка генерування. Враховуючи такі критерії, як швидкодія, екологічність, було встановлено, що одним із найперспективніших способів оптимізації є використання сумісної роботи ФЕС із накопичувачами електричної енергії або сумісно з малими гідроелектростанціями.

Практична цінність роботи. Метод, використаний при розрахунках можливо використовувати виробничими підрозділами, які займаються проектуванням електричних мереж та впровадженням фотоелектричних станцій у ці мережі.

Апробація результатів магістерської роботи. Основні положення роботи і результати досліджень доповідалися здобувачем і обговорювалися на 15-й Міжнародної науково-практичної конференції студентів та молодих вчених імені Г. М. Кірпи «Сучасні транспортні технології» 14-15 грудня 2023 року м. Львів, Україна.

Публікації. За результатами досліджень було опубліковано: Секція «Транспортна інженерія»

- Нечмиря Д.Є., керівник к.т.н., доцент Антонов А.В. «Дослідження функціонування мікромереж з фотоелектричними станціями» Збірник тез доповідей 15-ї Міжнародної науково-практичної конференції студентів та молодих вчених імені Г. М. Кірпи «Сучасні транспортні технології» 14 грудня 2023 року м. Львів, Україна, Національний університет «Львівська політехніка», 110. – с.79.

- Нечмиря Д.Є., керівник к.т.н., доцент Антонов А.В. «Дослідження функціонування мікромереж з фотоелектричними станціями» подано тези до оргкомітету XI Міжнародної науково-практичної конференції «MODERN PROBLEMS OF SCIENCE, EDUCATION AND SOCIETY» 8 – 10.01.2024 року м. Київ, Україна.

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ МІКРОМЕРЕЖ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

1.1 Аналіз ринку та статистика світового ринку відновлювальних джерел енергії (ВДЕ)

Міжнародне агентство з відновлюваної енергетики (**The International Renewable Energy Agency — IRENA**) оприлюднило статистику щодо встановлених потужностей ВДЕ, яка узагальнює дані про загальносвітове зростання кількості відновлюваних електростанцій у 2021 році. Згідно звіту на кінець 2021 року в усьому світі запрацювали 3064 гігават (ГВт) потужностей відновлюваної генерації, у тому числі 40% припало гідроелектростанції (1230 ГВт), 28% на сонячні електростанції та 27% на вітрові електростанції. За статистикою, сонячна енергетика та вітер з роками зростали у рази швидше, ніж гідроенергія [1].

Сонячна та вітрова енергетика займають майже рівні частки ринку з потужністю 849 ГВт (843 ГВт фотоелектричної та трохи більше 6 ГВт сонячної теплової генерації) і 825 ГВт відповідно (див. рис. 1.1). Інші відновлювані джерела енергії з сумарною часткою близько 5% включають 143 ГВт біоенергії, 16 ГВт геотермальної та 524 МВт морської енергії.

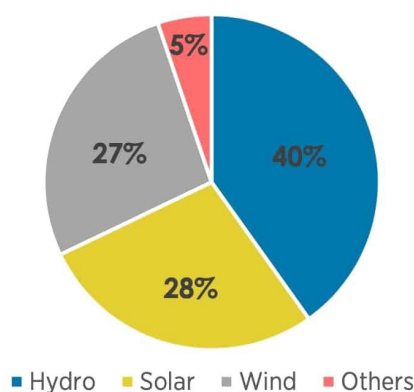


Рисунок 1.1 – Частка відновлювальних джерел енергії на ринку

Потужність відновлюваної генерації зросла на 257 ГВт (+9,1%) у 2021 році. Сонячна енергетика продовжувала лідирувати в нарощуванні потужностей зі збільшенням на 133 ГВт (+19%), за нею йде енергія вітру з 93 ГВт (+13%). Потужність гідроенергетики зросла на 19 ГВт (+2%), біоенергетика – на 10 ГВт (+8%). Геотермальна енергія збільшилася на 1,6 ГВт.

У 2021 році сонячна та вітрова енергетики продовжували лідирувати у збільшенні потужностей відновлюваних джерел енергії, внесши, таким чином, близько 88% усіх чистих приростів. Разом із значним ростом геотермальної енергії, збільшення потужностей сонячної та вітрової енергетики призвело до високого щорічного зростання генерації відновлюваної електроенергії (див. рис. 1.2).

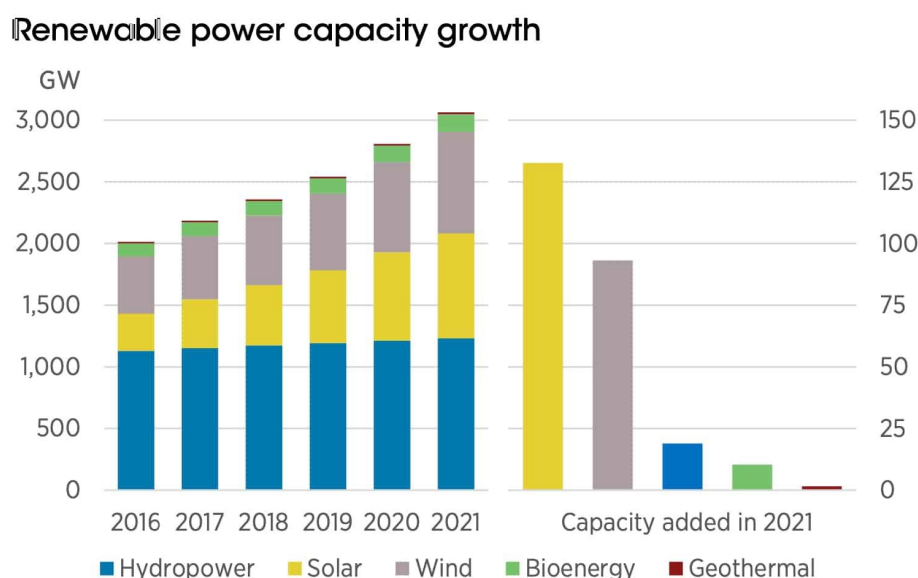


Рисунок 1.2 – Зростання потужностей відновлюваних джерел енергії по рокам

У 2021 році на Азію припадало 60% нових потужностей, збільшивши свою потужність з відновлюваних джерел на 154,7 ГВт до 1,46 ТВт (48% від загальної кількості у світі). Величезна частина цього збільшення припала на Китай (+121 ГВт). Потужність у Європі та Північній Америці зросла на 39 ГВт (+6,4%) і 38 ГВт (+9,0%) відповідно, при цьому помітно велике розширення в

США (+32 ГВт). Африка продовжувала стабільно розвиватися, збільшившись на 2,1 ГВт (+3,9%), що трохи менше, ніж у 2020 році.

За останні роки зростання сонячної енергетики по всьому світу перевищило вітрову енергетику, завдяки розширенню її потужностей у всіх ключових регіонах.

Щоб забезпечити енергетичний перехід, важливо щоб швидше зростало використання відновлюваних джерел енергії, ніж зростає попит на енергію. Таким чином, ми повинні зменшити використання невідновлюваних джерел енергії [1].

1.2 Український сектор ВДЕ напередодні та в умовах війни

В 2021 році частка електроенергії, згенерованої з ВДЕ, досягла 8.1% або 12.8ТВт·год, з яких 56% — за рахунок сонячного випромінювання, 33% — енергії вітру, практично 8% — за рахунок спалювання біомаси та біогазу і 3% пришлося на малу гідроенергетику.

Так, за 2021 рік всіма електростанціями з ВДЕ було вироблено 12 804 млн кВт·год чистої електроенергії, що на 1 941,9 млн кВт·год або 17,8% перевищило торішні показники:

- ВЕС України виробили 3 866 млн кВт·год або на 614,4 млн кВт·год більше у порівнянні з 2020 роком, що становить 2,97% загального виробництва електроенергії;
- СЕС виробили 7 670 млн кВт·год або 4,8%, що на 1 065,4 млн кВт·год більше обсягу електроенергії, виробленої за аналогічний період 2020 року;
- генерація мГЕС зросла на 56,1 млн кВт·год, досягнувши показника в 276 млн кВт·год або 0,17% в загальному балансі;
- біоЕС України згенерували 992 млн кВт·год або 0,6%, що на 206 млн кВт·год більше рівня виробництва попереднього року.

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

У цей же час варто зауважити, що у 2021 році національний сектор ВДЕ пройшов через вирішальний етап, оскільки 11 травня 2021 року добове виробництво електроенергії з ВДЕ вперше в історії України перевищило обсяг генерації тепловими електростанціями. В цей день було вироблено 79 млн кВт•год електроенергії з ВДЕ в порівнянні з 77 млн кВт•год виробленої тепловими електростанціями (див. рис. 1.3).

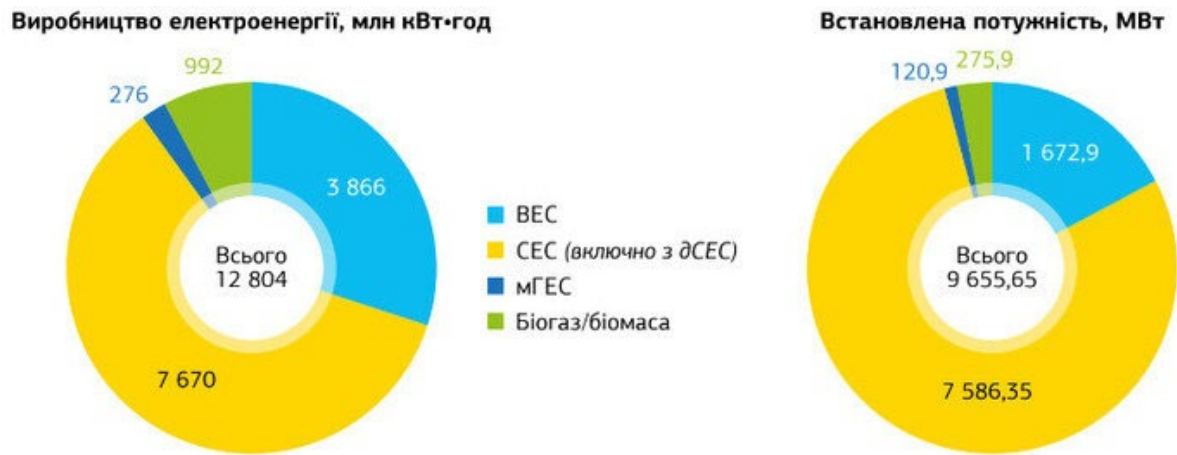


Рисунок 1.3 – Виробництво електроенергії та встановлена потужність сектору ВДЕ, по видах, станом на кінець 2021 року (Джерело: НЕК «Укренерго», Держенергоефективності, 2021)

Завдяки успішно реалізованим проектам у сфері відновлюваної енергетики в Україні, щорічні викиди CO₂ в атмосферу на 2021 рік зменшилися на понад 10,3 мільйона тон, що еквівалентно викидам більше ніж 2,2 мільйона автомобілів. Наприклад, завдяки електроенергії, що виробляється промисловими вітровими електростанціями у 2021 році, було заощаджено 1,8 мільйона тон вугілля, 1 171,4 тисяч метрів кубічних природного газу та скорочено приблизно 3,1 мільйони тон викидів CO₂.

Що стосується вітрової та сонячної енергетики в приватних господарствах, то варто зазначити, що в секторі малої сонячної енергетики спостерігається позитивна динаміка розвитку у 2021 році, як вже було згадано вище. З початку

2018 року до 2022 року загальна потужність сонячних установок у приватних господарствах, які виробляють енергію від сонячного випромінювання, зростає більш ніж в п'ять разів і на початку 2022 року становила 1205,1 МВт (близько 45 тисяч установок).

Незважаючи на високі виклики, що сталися у 2020–2021 роках, такі як уповільнення будівельних та монтажних робіт на нових об'єктах відновлюваної енергетики через карантинні обмеження, невпевненість у законодавчому процесі, невиконання Урядом України своїх зобов'язань, передбачених галузевим законодавством, наявність боргів на ринку ВДЕ України та боротьба окремих бізнес-груп проти "зеленого" тарифу, сектор відновлюваної енергетики України зміцнив свою потужність. Це дозволило залучити додаткові інвестиції до державного та місцевих бюджетів України та наблизити країну до виконання міжнародних зобов'язань у рамках Паризької угоди, Плану зі скорочення викидів парникових газів, Енергетичної стратегії України до 2035 року, Економічної стратегії України до 2030 року та загалом до досягнення кліматичної нейтральності України не пізніше 2060 року.

Стосовно ж розподіленої генерації ВДЕ, держава прийняла доволі привабливу законодавчу базу ще у 2019 році. Так, відповідними змінами до Закону України «Про альтернативні джерела енергії» [2] потужність малих вітроустановок для домогосподарств, на які розповсюджується можливість отримання «зеленого» тарифу, була збільшена до 50 кВт, в той час як розмір «зеленого» тарифу для такої генерації встановлений на рівні 11,63 євроцентів за кВт•год. Цей же Закон офіційно визначив поняття «комбінованих вітро-сонячних генеруючих систем», що розширило українцям вибір власного типу генерації. За рік до війни, влада почала готувати підґрунтя для підтримки розподіленої генерації за рахунок таких механізмів як Net Billing або Net Metering.

Однак, вже о 4:00 годині, 24 лютого 2022 року, впровадження всіх вищезазначених рішень, спрямованих на значне поліпшення бізнес-клімату в секторі ВДЕ і створення нових можливостей для зростання потужності даного сектору,

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

було призупинено через повномасштабну агресію Росії на територію України. З того часу національний сектор ВДЕ стикається з новою реальністю.

Відразу після вторгнення, російські війська масово обстрілюють не тільки українські міста і селища, але й намагаються знищити критичні об'єкти енергетичної інфраструктури: високовольтні мережі, трансформаторні підстанції, диспетчерські пункти, а також прямо електростанції, включаючи об'єкти відновлюваної енергетики. Загалом, після об'єктів атомної енергетики та ліній електропередачі, електростанції відновлюваної енергетики стали другими за пріоритетністю для російських загарбників.

Більшість встановлених у країні об'єктів відновлюваної енергетики розташовані на півдні та південно-східних областях України. Однак, в цих регіонах тривають активні бойові дії протягом останніх 6 місяців. Згідно з різними оцінками експертів, станом на серпень 2022 року близько 30-40% відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) електростанцій у цих областях постраждали або втратили приблизно 1 120 - 1 500 МВт потужності (див. рис. 1.4).

Наприклад, згідно з даними Української вітроенергетичної асоціації, з початку широкомасштабної війни в Україні було зупинено понад 3/4 вітроенергетичних потужностей. Це означає, що з загального обсягу 1 673 МВт наразі не функціонують близько 1 462 МВт українських вітроелектростанцій. Більше того, 5 вітрових турбін, розташованих у Херсонській області на вітроелектростанціях Мирненська, Сиваська та Новотроїцька, сьогодні знаходяться у повністю зруйнованому стані.

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



Рисунок 1.4 – Пошкоджені російськими військами українські об’єкти ВДЕ
(Джерело: ГС “УВЕА”, компанії з ВДЕ)

Через пошкодження 330 кіловольтної лінії електропередачі в Мелітополі також не працюють приблизно 600 мегаватт вітроенергетичних потужностей у Запорізькій області. Варто зауважити, що цей показник пошкоджень може бути більшим, оскільки на сьогоднішній день точно невідомо рівень пошкоджень на тих станціях, які знаходяться під окупацією російських терористів без можливості фізичного доступу до них. Однак точно відомо, що в зоні активних бойових дій знаходяться активи ВДЕ вартістю понад 5,6 мільярдів доларів США, а в регіонах, що прилягають до областей, де ведуться активні бойові дії — понад 3,6 мільярда доларів США.

1,8 МВт біоенергетичних потужностей в Чернігові зазнали пошкоджень, в той час як біоенергетичні станції сумарною потужністю 2 МВт виявились на окупованих територіях Донецької області, а саме, в Волновасі та Маріуполі,

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

тобто 3,8 МВт із 245 МВт, встановлених на кінець 2021 року, наразі не поста-
чають електроенергію до енергомережі. На щастя, електростанції малої гідроє-
нергетики та атомної енергетики, в основному розташовані на Західній Україні,
тому вони не постраждали від військових дій і продовжують забезпечувати по-
стачання електроенергії.

В цілому, покоління вітрової та сонячної енергії зменшилося більше ніж
удвічі порівняно з передвоєнним рівнем. Це можна пояснити переважно двома
факторами. По-перше, як вже зазначалося, через прямі бойові дії або для запо-
бігання пошкодженню електроустаткування. По-друге, через збільшення про-
блем, пов'язаних з руйнуванням попиту та невизначеністю генерації, особливо
сонячної, з огляду на те, що кумулятивна потужність сонячної генерації наразі
перевищує 6 ГВт.

Згідно з інформацією, загальний обсяг обмежень сонячної генерації з берез-
ня до травня 2022 року становить приблизно 573 кВт•год, що, в середньому за
зазначений період, відповідає 30% від потенціально можливого обсягу електро-
енергії (від 42% у березні до 19% у квітні). Високий рівень зменшення у березні
можна пояснити тим, що після вибуху війни енергетична система країни функ-
ціонувала в надзвичайних умовах; у квітні ситуація трохи стабілізувалася за-
вдяки сприятливим гідрологічним умовам; а в травні спостерігалось збільшення
кількості обмежень з використання "зеленої" енергії разом із зростанням соняч-
ного випромінювання.

1.3 Поглиблення фінансової кризи на ринку ВДЕ

Війна, спричинена російським агресором в Україні, загострила фінансову
кризу в енергетичному секторі країни. Брак коштів для подальшої діяльності
став великою проблемою, з якою на даний момент зіштовхуються всі галузі ук-
раїнської енергосистеми. Але особливо болюче це вплинуло на сферу віднов-
лювальної енергетики. Для національної галузі відновлювальної енергетики ви-
никло питання щодо збереження життєздатності всередині країни.

Насамперед це можна пояснити фактом, що в перші дні війни зусилля держави були спрямовані на забезпечення стабільної та надійної роботи генерації базового навантаження української енергосистеми в ізольованому режимі, яка була відключена від мереж Росії та Білорусі 24 лютого 2022 року. Отже, вирішення деяких проблем відновлюваної енергетики не стало одним із пріоритетних завдань.

Так, зокрема, питання погашення заборгованості перед виробниками з ВДЕ було тимчасово відкладене, а відсоток виплат за поставлену електроенергію у 2022 році був обмежений на термін дії військового стану до 15% від середньозваженого розміру «зеленого» тарифу за 2021 рік для виробників електроенергії з сонячного випромінювання; до 16% — для виробників електроенергії з енергії вітру; до 35% — для виробників, що здійснюють виробництво електричної енергії з гідроенергії; до 40% — для виробників, що здійснюють виробництво електричної енергії з біогазу; і до 60% — для виробників, що здійснюють виробництво електричної енергії з біомаси [3].

Відповідний Наказ Міністерства енергетики України № 140 від 28 березня 2022 року, який власне і встановив вищевказані мінімальні рівні оплати «зеленої» електроенергії [4].

Крім фінансових проблем, українська сфера вітроенергетики також зіткнулася з нездатністю до завершення будівництва деяких вітрових електростанцій у встановлений законодавством термін. За розрахунками УВЕА, у 2022 році в Україні мало бути введено в експлуатацію 800 МВт нових вітроенергетичних потужностей. Всі ці проекти отримали дозволи на підключення до електромережі. Компанії уклали угоди купівлі-продажу електроенергії за "зеленим" тарифом, а також угоди на постачання вітроенергетичного обладнання від виробників. Деякі компанії навіть встигли доставити вітрогенератори на майданчики ВЕС. Але через розпочаті масштабні бойові дії та окупацію частини території України, будівництво вітростанцій було зупинене.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ

1.4 Рішення держаних органів влади щодо подальшого розвитку ВДЕ, прийняті під час війни

В березні 2022 року, енергосистеми України та Молдови повністю синхронізувались з енергомережею континентальної Європи ENTSO-E, що стало одним із важливих рішень спрямованих проти країни-агресора та новим вікном можливостей для «зеленої» генерації. Після подвоєння пропускної спроможності України з Румунією та Словаччиною зі 100 МВт до 250 МВт у кінці липня 2022 року, що вважається ще одним безумовним досягненням Оператором системи передач (ОСП) за час війни, українська електроенергія, а особливо вироблена за рахунок ВДЕ, набула нової ваги для європейського споживача. За даними Atlantic Council, споживачі Центральної та Східної Європи можуть почати помічати зниження рахунків ще до кінця року завдяки дешевому імпорту української електроенергії, а українські компанії, у перспективі можуть заробляти до 9,5 млрд євро прибутку на рік, якщо потужність з'єднання з сусідніми Угорщиною, Польщею, Румунією та Словаччиною збільшиться до 2,5 ГВт з 2023 року [5].

Відповідно до даних НЕК «Укренерго», в Україні є достатньо інфраструктурних можливостей щоб довести потужність з'єднання з сусідніми країнами в межах 4 – 6 ГВт. В Україні будуть нарощувати електроенергетичні потужності. Зважаючи на швидкі терміни будівництва та екологічну привабливість згенерованої енергії, яка є привабливою для європейських споживачів, важко переоцінити роль відновлюваної енергетики в цьому процесі.

Ще одним надзвичайно важливим рішенням, виявленим під час війни, що має безпосередній вплив на майбутній розвиток ВДЕ в Україні, стало затвердження Європейською Комісією у травні 2022 року плану REPowerEU. Розвиток відновлюваних джерел енергії визначає та передбачає збільшення цілі ЄС з досягнення частки ВДЕ у електроенергетичному балансі до 2030 року з 40% до 45%. Україна, як частина енергетичної системи Європи, повинна розвиватись відповідно до європейських енергетичних тенденцій.

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Також позитивним рішенням у воєнний час є підписання Президентом України Володимиром Зеленським Закону України «Про внесення змін до деяких законів України щодо розвитку систем накопичення енергії». Цей закон дає «зелене» світло для масштабного будівництва систем накопичення і зберігання енергії в Україні, що мають велике значення для нашої енергетичної системи. Закон пропонує замість «зеленого» тарифу ввести нову модель підтримки (Net billing), яка буде покривати власне споживання та не буде потреби в додаткових фінансових витратах з боку держави.

Все це свідчить про розуміння державою важливої ролі ВДЕ для відбудови енергетики країни після війни. Володіючи такими потенціалами вітрової та сонячної енергії; будучи аграрною країною з великими водними та біоресурсами, Україна не може дозволити собі втратити можливості побудувати стабільну, сталу, вуглецево-нейтральну і безпечну енергосистему.

У контексті загальної війни з Російською Федерацією, особливо важливими для подальшого розвитку ВДЕ (відновлюваних джерел енергії) стали положення Плану відновлення України [6] до 2032 року, презентованого Урядом України в липні 2022 року на міжнародній конференції донорів в Лугано. Післявоєнний розвиток економіки України буде відбуватись згідно Плану. Так, до 2032 року планується будівництво 5-7 ГВт нових сонячних та вітроелектростанцій для розширення експортної спроможності України, 30+ ГВт об'єктів з ВДЕ для виробництва відновлюваного водню та 3,5 ГВт гідроелектростанцій та насосних гідроелектростанцій. Так, впродовж наступних 10 років Планом передбачено введення в експлуатацію 1,5-2 ГВт піковий потужностей, 0,7-1 ГВт акумуляторів та 15 ГВт електролізних потужностей. Обсяг майбутніх інвестицій у національну програму «Енергетична незалежність та зелений курс» наразі оцінюється у 130 млрд доларів.

1.5 Потенціал використання сонячної енергії в Україні

Сонячна або "геліоенергетика" - це вид енергетики, який використовує сонячне випромінювання для отримання енергії. Використання сонячної енергії є

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

дуже популярним у світовій енергетиці і набуває все більшої ваги. Енергія сонця безпечна для довкілля. Її можна виробляти поки світитиме Сонце. Використання сонячного випромінювання доцільне для вироблення теплової та електричної енергії й можливе на всій території України.

Середньорічна кількість сумарної енергії сонячного випромінювання, яка надходить щорічно на територію України, знаходиться в межах від 1070 кВт·год/м. кв. в північній частині України до 1400 кВт·год/м. кв. і вище в АР Крим.

Фотоенергетичне обладнання може достатньо ефективно експлуатуватися на протязі всього року проте, максимально ефективно протягом 7 місяців на рік (з квітня по жовтень), в північних областях – 5 місяців (з травня по вересень) [7].

В Україні, для ефективного використання сонячної енергії, пріоритетною стратегією є використання фотоелектричних пристроїв. Це обумовлено наявністю великих запасів сировини, а також готовою промисловою та науково-технічною базою для виробництва таких пристроїв. Використання фотоелектричних пристроїв може не лише задовольнити внутрішні потреби споживачів, але й експортувати більше двох третин виробленої продукції.

В європейських країнах з таким же рівнем сонячного випромінювання інтенсивно будуються нові сонячні електростанції, собівартість їх знижується за рахунок розвитку технологій. В Україні також можливе збільшення виробництва електроенергії та введення в експлуатацію нових потужностей СЕС.

Досвід країн ЄС та північної Америки свідчить, що сонячна енергія може використовуватись в промисловому масштабі навіть вночі. В Іспанії і США є підприємства, що в темний час доби генерують електроенергію з тепла накопиченого в день.

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

1.6 Технічні характеристики, обладнання, особливості встановлення та експлуатація, виробники, переваги та недоліки

Станції, що працюють на сонячній енергії (геліостанції), взагалі безшумні. Істотний недолік полягає у тому, що такі станції займають великі площі. Кожен 1 МВт потужності СЕС потребує відведення щонайменше 1,5 га землі. Мінусом також є те, що вихід енергії – непостійний. На СЕС сьогодні припадає близько 4% виробленої електроенергії з відновлювальних джерел енергії у світі. Перетворення сонячної енергії в електричну відбувається в основному за рахунок використання фотоелектричних елементів.

За допомогою енергії Сонця можна частково забезпечити електроенергією мешканців приватного сектору, (паралельно з роботою електричної мережі). Для цього використовуються фотоелектричні елементи, які розташовуються на даху будинку.

У приватних будинках для вироблення тепла в системі гарячого водопостачання можна застосовувати сонячні колектори (СК) (див. рис. 1.5, 1.6). Сонячні колектори здатні нагрівати воду до 70°C. Вдень СК перетворює енергію Сонця в теплову, яка гріє воду, що накопичується в теплоізованих ємностях (баках-акумуляторах). Із баків-акумуляторів вода подається в систему гарячого водопостачання. СК встановлюються на даху будинку, а накопичувальна ємність та допоміжне обладнання монтуються в технічному приміщенні.

Види сонячних колекторів:

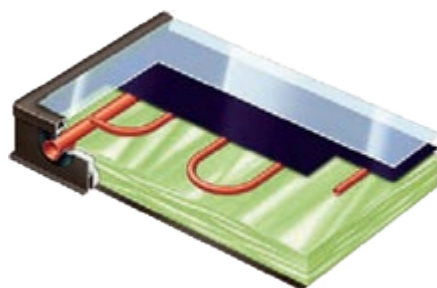


Рисунок 1.5 – Плоский колектор



Рисунок 1.6 – Вакуумний із прямою передачею тепла воді

Витрати коштів на роботу системи гарячого водопостачання на базі колекторів мінімальні, адже енергія витрачається тільки на роботу насосу. Наприклад, за потреби громадського закладу в 650 л/добу гарячої води, річний виробіток теплової енергії плоскими сонячними колекторами становить 8,7 МВт·год (7,5 Гкал). При цьому, електричної енергії для роботи циркуляційного насосу витрачається близько 180 кВт·год [7].

Сонячні фотоелектричні (ФЕ) елементи перетворюють сонячне світло безпосередньо в електроенергію. В даний час кристалічний кремній (с-Si) і, так звані, тонко плівкові технології домінують на світовому ринку. В ФЕ-системах на основі кристалічного кремнію високої чистоти використані елементи, які зібрані в модулі і електрично з'єднані. Система тонко плівкової технології ФЕ складається з тонкого шару напівпровідникового матеріалу, нанесеного на скло, полімер або метал. ФЕ-система на основі кристалічного кремнію є найстарішою і в даний час домінуючою фотоелектричною технологією, яка складає приблизно 85 – 90% ринку фотоелектрики.

Підприємства з виробництва концентрованої сонячної енергії (КСЕ) використовують дзеркала для концентрування сонячного випромінювання на приймачі, який збирає та передає сонячну енергію до теплопровідної рідини, що може застосовуватися як для кінцевого використання, так і для генерування електричної енергії за допомогою звичайних парових турбін. Великі КСЕ-підприємства можуть бути оснащені системами акумулювання тепла для постачання теплової енергії споживачам та генерування електричної енергії також і вночі або у випадку, якщо день хмарний.

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Існує чотири різновиди КСЕ-підприємств, а саме: з параболічним рефлектором, рефлектором Френеля, сонячною баштою та параболічним лотком, які відрізняються один від одного конструкцією, конфігурацією дзеркал та приймачів, робочою рідиною, для передачі енергії та фактом наявності або відсутності теплового накопичувача. Перші три типи застосовуються у більшості електростанцій з централізованим виробництвом електрики. Система, яка використовує параболічний рефлектор, є найбільш технологічно розвиненою. Сонячні параболічні лотки більш придатні для розподільного видобутку електрики.

КСЕ - підприємства вимагають для свого функціонування наявність прямого сонячного випромінювання і тому є привабливим варіантом для встановлення у регіоні Сонячного поясу між 40 градусами північніше та південніше екватора.

Вибір у встановленні сонячних ФЕ-технологій часто базується на компромісі між початковими витратами, ефективністю модуля та тарифами на електроенергію. У країнах з хорошими сонячними ресурсами та високими тарифами на електроенергію, електроенергія вироблена фотоелектричними системами для населення вже порівнялися з роздрібними цінами на електроенергію.

Для малопотужних станцій місцем для встановлення можуть слугувати дахи будинків за умови підвищення їх несучої здатності.

Фотоелементи широко використовуються і для автономного освітлення. Попит на них зростає з кожним роком у зв'язку з розвитком технологій та зниженням вартості обладнання.

1.7 Конструктивні особливості та принцип роботи сонячної станції

Сонячна електростанція - це пристрій, який призначається для перетворення сонячної радіації на електричну енергію. Використовуються різні методи перетворення сонячної радіації, що впливають на конструкцію сонячної електростанції.

СЕС бувають двох видів: фотоелектричні, які перетворюють сонячну енергію за допомогою фотоелектричного модулю в електроенергію та термодинамі-

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

чні, які перетворюють сонячну енергію в теплову, а потім в електричну; їх потужність вище, ніж потужність фотоелектричних станцій.

Елементна база сонячної станції складається з наступного:

- а) Фотоелектричні панелі здатні перетворювати сонячну енергію на електричну;
- б) Контролер, що забезпечує керування фотоелектричною системою та запобігає перевантаженню системи чи зворотному струму вночі;
- в) Акумуляторна батарея, яка зберігає електроенергію, згенеровану сонячними модулями;
- г) Інвертор, який змінює постійний електричний струм, що поступає від сонячних батарей, на змінний струм, необхідний для живлення електроприладів;
- д) Лічильник електричної енергії, який реєструє обсяг цієї енергії для подачі у загальну мережу або споживання при необхідності.

На рисунку 1.7 наведена діаграма сонячної електростанції, що відображає взаємозв'язок всіх компонентів станції та основний принцип її функціонування.

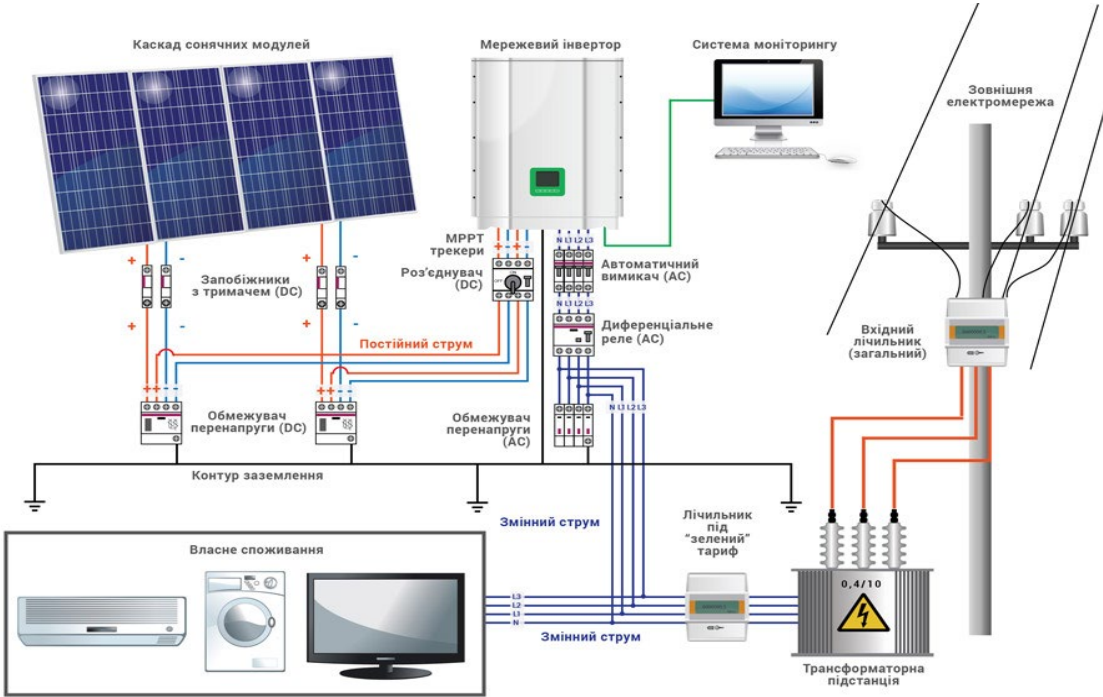


Рисунок 1.7 – Схема сонячної електростанції

Розглянемо стадії роботи фотоелектричної станції. Промені сонця, потрапляючи на панель фотомодулів, перетворюються в електроенергію. Фотоелектричні модулі виробляються на основі кристалічного кремнію або монокристалів, останні мають значно довший термін служби і їх виробництво є значно більш ефективним. Кількість електроенергії, яку можуть забезпечити фотомодулі, залежить від їхньої ефективності, розміру та рівня сонячного освітлення у конкретному районі.

Електрична енергія, перетворившись із світової, протікає через підключений акумулятор, що забезпечує зарядку акумуляторів.

Надалі, енергія подається споживачам, а також з'єднується внутрішня мережа сонячної електростанції із зовнішньою електричною мережею для відпуску надлишку електроенергії.

ФЕС можуть бути мережевими чи автономними. Більш потужні мережеві системи підключаються до зовнішньої електричної мережі та передають більшу частину виробленої електричної енергії через окремий лічильник, що сприяє мінімальному споживанню енергії власними пристроями. Автономні системи створені для задоволення власних енергетичних потреб і розраховані на забезпечення меншої потужності, враховуючи список пристроїв, які використовують електрику у цих системах. Вони також можуть бути підключені до зовнішньої електричної мережі, але лише надлишок електричної енергії передається в мережу через окремий лічильник.

Завдяки чинному законодавству в Україні громадяни мають можливість продавати енергію, що виробляється їх альтернативним джерелом, нарівні з організаціями, за спеціальною "зеленою" тарифною ставкою [8]. «Зелений» тариф – це спеціальна тарифна система, в рамках якої уряд через державну компанію "Енергоринок" придбуває електроенергію, вироблену з використанням відновлювальних джерел енергії, таких як сонце (сонячні панелі), вітер (вітряки), біо-

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

логічні речовини (біопаливо) та вода (невеликі гідроелектростанції), за високими цінами, від комерційних організацій та приватних осіб.

Такий тариф на сонячну електроенергію від приватних осіб забезпечує оптимальну експлуатацію фотомодулів для постачання житлових будівель електроенергією задля підвищення їх рентабельності. Власникам індивідуальних будинків, що виробляють надлишок електроенергії, держава завжди компенсує їм вартість цієї електроенергії, відданої в електричну мережу.

1.8 Що таке Мікромережа

Мікромережа - це група взаємопов'язаних навантажень і розподілених енергетичних ресурсів, що зазвичай приєднаний до централізованої мережі та призначений для підключень та відключень від мережі. Підключені до мережі, активні мікромережі можуть забезпечити економічні переваги для власників через такі види діяльності, як обслуговування попиту та допоміжні послуги; а також допомагає полегшити інтеграцію відновлювальної енергії. В острівному режимі мікромережі відключені від комунальних мереж і можуть самостійно виробляти та розподіляти електроенергію.

Території обслуговування невеликі від однієї будівлі до декількох будівель всієї спільноти громад, мікромережі можуть дозволити лікарням, кампусам, університетам, центрам обробки даних, тощо, критично важливим об'єктам працювати в разі збою та відключення мережі [9].

Мікромережі на основі сонячних фотоелектричних систем мають переваги щодо постачання чистої, економічно ефективної електроенергії. З сонячною фотоелектричною енергією, як джерелом генерації, мікромережа може забезпечити локальне живлення протягом тривалого періоду часу, коли сітка не працює. Розглянемо побудовані мікромережі на двох прикладах.

Наприклад, існують розумні фотоелектричні мікромережі для приготування їжі в неблагополучних громадах. Щодня мільярди домогосподарств у неблагополучних громадах Африки, Індії, Азії та Південної Америки спалюють паливо

з біомаси, тобто дрова чи деревне вугілля, щоб готувати їжу. Цей спосіб приготування їжі призводить до понад чотирьох мільйонів смертей на рік через захворювання, спричинені забрудненням повітря в приміщенні внаслідок приготування їжі на біомасі. Розумна фотоелектрична система підключає мікромережу, що живиться від сонячних панелей, до будинків. Алгоритми розподіляють потужність у пріоритетному порядку між будинками, які підписалися на приготування їжі в певний час. Якщо в будь-який час буде надлишок електроенергії, система негайно попередить інших клієнтів, якщо вони бажають підписати свій будинок наступним. Надлишок потужності також можна використовувати для активації зарядних станцій мобільних телефонів [10].

Наступний приклад використання мікромереж – це віддалені підприємства з вирощування конопель США та інших країнах відомі як першопрохідці в галузі сонячних мікромереж минулого.

Можливо, це історія для іншого дня, але необхідність жити зростаючу інфраструктуру та використовувати електроенергію, яку не могла відстежити влада, означала, що незаконна індустрія майже випадково стала насичена фахівцями із сонячних систем та мікромереж.

Ліцензійне вирощування цієї трави тепер є легальним у Каліфорнії, і це розширює можливості галузі в плані енергопостачання. Harborside, компанія з вертикально-інтегрованого виробництва каннабісу, підписує угоду про купівлю електроенергії (PPA) з постачальником рішень Scale Microgrids, завершення якої очікується на початку наступного року.

Виробниче містечко Harborside площею 47 акрів у Салінасі, штат Каліфорнія, буде оснащено відновлюваною мікромережею, що включає СЕС 4,9 МВт і 6 МВт*год акумуляторних батарей з удосконаленими системами управління та контролю навантаження. Достатня для компенсації всього енергоспоживання кампуса, вона забезпечить виробнику понад 12,5 мільйонів доларів США чистої економії витрат на електроенергію протягом 20 років і дозволить Harborside

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

уникнути необхідності придбання кредитів на компенсацію викидів вуглецю, які в іншому випадку знадобилися б відповідно до державних норм з 2023 року.

Guidehouse Insights зазначає, що пропозиції “енергія як послуга” допомагають стимулювати бізнес-обґрунтування для мікромережі C&I, знижуючи потребу клієнта в серйозних капіталовкладеннях на початковому етапі. В даному випадку Scale Microgrids фінансує та встановлює весь проект, що означає, що Harborside не доведеться цього робити.

1.9 Характеристика об’єкту проектування та використання ФЕС в якості децентралізованого джерела електропостачання

В цьому дипломному проекті передбачається виконати електропостачання виробничого цеху виготовлення монтажних систем за рахунок встановлення сонячних панелей на даху приміщення, розташованого в південній промисловій зоні м. Дніпро.

Використання фотоелектричної станції в якості системи електрозабезпечення може забезпечити часткову або повну автономність об’єкта, а також дозволить залучити додаткові кошти для зменшення витрат на експлуатацію.

Для виконання проекту потрібно зробити розрахунок навантаження на проєктований об’єкт, визначити щорічне споживання електроенергії. Для будівництва фотоелектричної станції потрібно виділити ділянки для розміщення обладнання, виконати проект та спрогнозувати річну генерацію електроенергії за допомогою сучасних методів розрахунків.

В спеціальній частині будуть розраховані параметри електрообладнання, виконано розрахунки енергоспоживання.

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ РЕАЛЬНОГО ОБ’ЄКТУ З ФО-
ТОЕЛЕКТРИЧНОЮ СТАНЦІЄЮ

2.1 Вихідні дані проєктованого об’єкту

Проектом передбачається виконати електропостачання виробничого цеху виготовлення монтажних систем за рахунок встановлення сонячних панелей на даху приміщення, розташованого в південній промисловій зоні м. Дніпро.

Виробничий комплекс складається з двох діляниць, кожна зі своїм промисловим обладнанням.

2.2 Розрахунок електричних навантажень об’єкту

У формуванні електричних навантажень виробничого комплексу беруть участь електродвигуни станків, вентиляційне та освітлювальне обладнання.

Для вирахування добового споживання енергії кожною ділянкою проведемо низку вимірювань приладом Smart-Maic [11].

Дані добової споживаної енергії по кожній ділянці зведемо до таблиць.

Таблиця 2.1 – Кількість спожитої електроенергії ділянкою 1

TIME, год	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Power, кВт	0,184	0,248	0,276	0,252	0,330	0,240	0,395	1,211	30,405	24,636	34,013	24,775	6,707	22,347	29,420	26,434	25,739	7,314	0,549	0,689	0,609	0,554	0,769	0,669

Тепер потрібно порахувати значення середньої потужності за проміжок 0-1 год:

$$P_{0-1} = (P_0 + P_1)/2, \text{ кВт} \tag{2.1}$$

$$P_{0-1} = \frac{0,184 + 0,248}{2} = 0,216 \text{ кВт}$$

Аналогічно розрахуємо середню потужність для інших проміжків часу та занесемо результати в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Дані середньої добової потужності ділянки 1

TIME, год	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18--19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
Power, кВт	0,22	0,26	0,26	0,29	0,28	0,32	0,80	15,81	27,52	29,32	29,39	15,74	14,53	25,88	27,93	26,09	16,53	3,93	0,62	0,65	0,58	0,66	0,72	0,33

Графік електричних навантажень згідно даним таблиці 2.2 виглядає наступним чином:

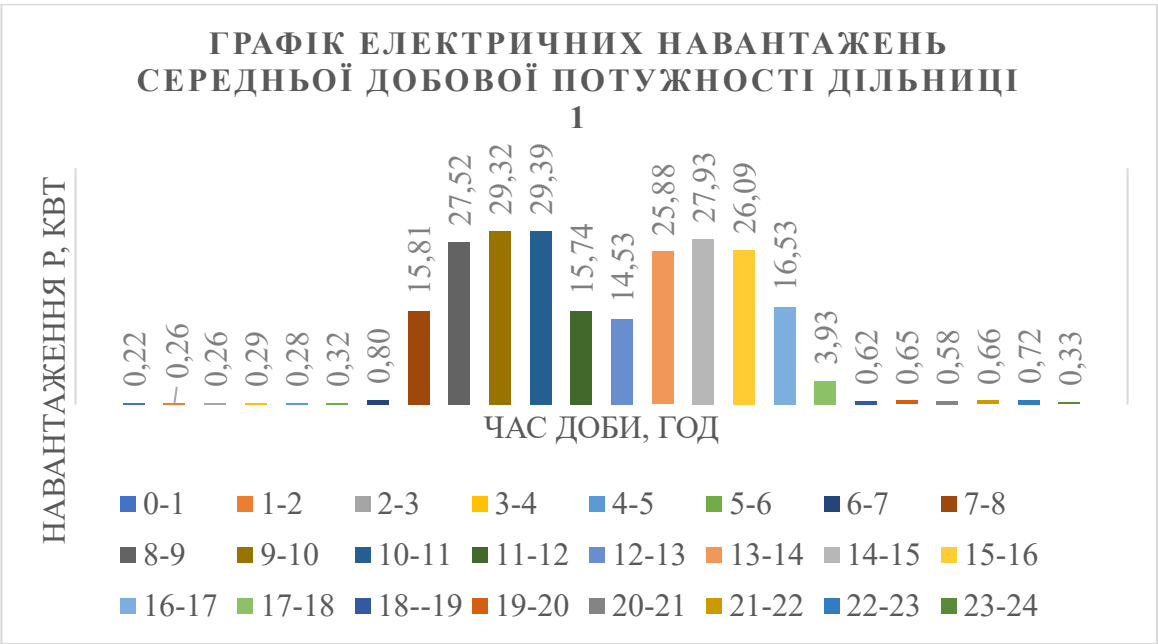


Рисунок 2.1 - Графік електричних навантажень середньої добової потужності ділянки 1

Знаходимо розрахункову електричну потужність:

$$P_p = P_{\text{макс}}, \text{кВт}, \quad (2.2)$$

де $P_{\text{макс}}$, - максимальне значення середньої потужності,

$P_{\text{макс}} = 29,39 \text{ кВт}$ згідно табл. 2.2;

$$P_{p1} = 29,39 \text{ кВт}$$

Знаходимо середнє значення кількості споживаної енергії за добу:

$$W_{\text{а.доб}} = P_{0-1} + P_{1-2} + \dots + P_{23-24}, \text{кВт*год} \quad (2.3)$$

$$W_{\text{а.доб1}} = 238,67 \text{ кВт*год}$$

Знайдемо середньодобове електричне навантаження:

$$P_{\text{сер.доб.}} = W_{\text{а.доб}}/24, \text{кВт} \quad (2.4)$$

$$P_{\text{сер.доб.1}} = 9,94 \text{ кВт}$$

Знайдемо коефіцієнт заповнення графіка:

$$K_{\text{з.г.}} = W_{\text{а.доб}}/24 * P_{p1}, \quad (2.5)$$

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$K_{з.г.1} = 238,67/24 * 29,39 = 0,3383$

Аналогічно розрахуємо споживання електричної енергії ділянкою 2.

Таблиця 2.3 – Кількість спожитої електроенергії ділянкою 2

TIME, год	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Power, кВт	0,892	1,103	0,652	1,152	0,517	0,352	0,271	0,470	20,332	29,607	30,957	44,9769	41,269	44,596	59,298	51,007	49,509	40,945	28,851	30,076	3,079	2,561	1,872	1,284

Таблиця 2.4 – Дані середньої добової потужності ділянки 2

TIME, год	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18--19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
Power, кВт	0,997	0,877	0,902	0,835	0,434	0,311	0,371	10,401	24,970	30,282	37,967	43,123	42,932	51,947	55,153	50,258	45,227	34,898	29,463	16,578	2,820	2,217	1,578	0,642

Графік електричних навантажень згідно даним таблиці 2.4 виглядає наступним чином:

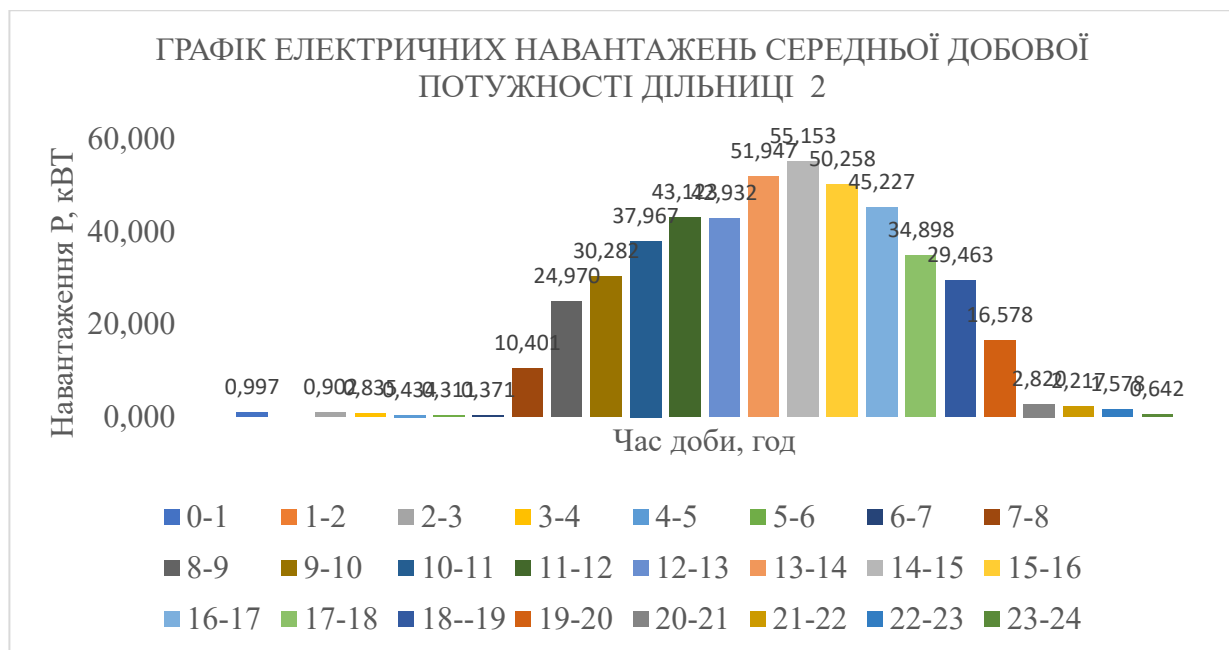


Рисунок 2.2 - Графік електричних навантажень середньої добової потужності ділянки 2

Розрахункова електрична потужність:

$$P_{p2} = 55,153 \text{ кВт}$$

Середнє значення кількості споживаної енергії за добу:

$$W_{a,доб2} = 484,306 \text{ кВт*год}$$

Середньодобове електричне навантаження:

$$P_{сер,доб.2} = 20,18 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт заповнення графіка:

$$K_{з.г.1} = 484,306/24 * 55,153 = 0,3659$$

Середнє значення кількості споживаної енергії за добу виробничого комплексу:

$$W_{а.вир.комп.доб} = W_{а.доб1} + W_{а.доб2}, \text{ кВт*год} \quad (2.6)$$

$$W_{а.вир.комп.доб} = 238,67 + 484,306 = 722,976 \text{ кВт*год}$$

Таким чином, можемо вирахувати усереднене річне споживання електроенергії виробничим комплексом.

$$W_{\Sigma} = \frac{722,976 * 12 * 365}{1500} = 2111,01 \text{ МВт} \quad (2.7)$$

2.3 Проектування та розрахунок фотоелектричної електростанції

Сонячна мережева станція, або фотоелектрична станція, це установка, яка виробляє електричну енергію з сонячної енергії. Вона використовує фотovoltaїчні модулі для збирання світлової енергії та перетворення її на постійний струм. За допомогою інвертора, постійний струм, зібраний сонячними панелями, перетворюється на змінний струм, який є придатним для використання в будинку. Отриманий змінний струм використовується для живлення електричних приладів в будинку, таких як освітлення, побутова техніка, системи опалення та охолодження та інше. Якщо сонячне виробництво електроенергії пере-

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вищує потребу будинку, надлишкова енергія може бути направлена до мережі громадського електропостачання. В цьому випадку власник станції може отримувати компенсацію за надлишкову енергію, яку вони виробили. Сонячні мережеві станції допомагають зменшити залежність від традиційних джерел енергії, скорочуючи витрати на рахунки за електроенергію і допомагаючи зменшити негативний вплив на навколишнє середовище, оскільки вони генерують чисту енергію з використанням сонячної енергії.

2.3.1 Вибір типу, параметрів фотоелектричних модулів (ФЕМ), інвертора до встановлення на фотоелектричну станцію (ФЕС)

Для продуктивної роботи фотоелектричної станції, мінімальних витрат від зовнішніх джерел електроенергії, безаварійної експлуатації та, як наслідок, істотної економії ресурсів необхідно провести правильні та точні розрахунки. На роботу станції впливають різні параметри – сонячна інсоляція, швидкість вітру, температура та інші умови. Існує багато різних підходів до таких розрахунків, тому виділимо основні параметри.

Кут нахилу розраховується за наступною формулою:

$$\beta = 0,76\varphi + 3,1^{\circ} \tag{2.8}$$

Координати м. Дніпро – $\varphi = 48,45^{\circ}$

$$\beta = 0,76 * 48,45 + 3,1^{\circ} = 39,92 \approx 40^{\circ}$$

Найбільш простий підхід до визначення кута нахилу панелей β полягає у встановленні його зв'язку з географічною широтою L місця розташування ФЕС: наприклад, для панелей орієнтованих на південь і для літнього сезону

β вибирається на $10-15^\circ$ менше L та для зимового сезону на $10-15^\circ$ більше L [12].

Приблизний кут нахилу ФЕС відносно горизонту визначається за формулою:

$$\beta = \varphi \pm 15^\circ,$$

де знак плюс відноситься до зимового, а мінус – до літнього періоду

Для максимальної продуктивності енергії фотоелектричні модулі повинні бути змонтовані таким чином, щоб сонячні промені падали на робочу поверхню модуля під кутом 90° . Такі конструкції монтуються на південну сторону, з незначними відхиленнями по азимуту (див. рис.2.3), також встановлюють з фіксованим, або змінним кутом нахилу [13].

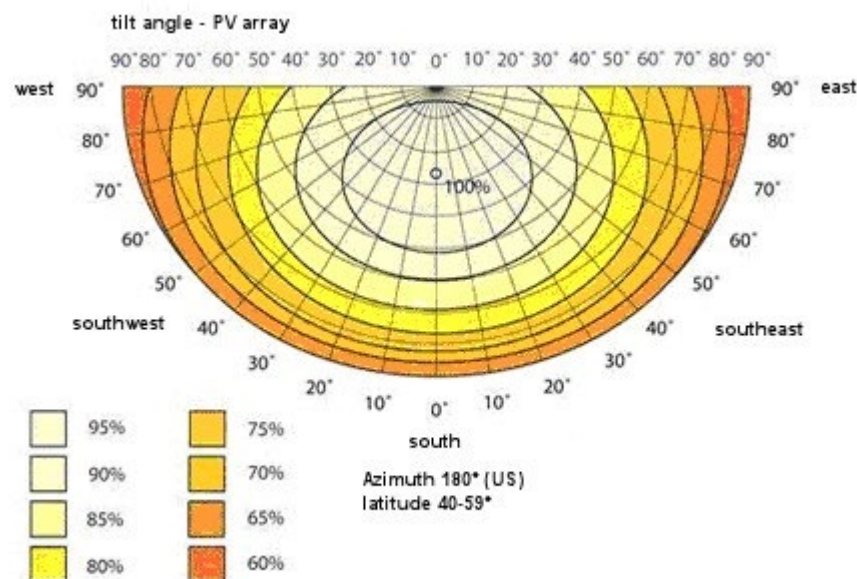


Рисунок 2.3 – Кут нахилу фотоелектричних панелей

Фотоелектричний модуль включає в себе наступні компоненти:

а) Сонячні соти (сонячні фотоелементи) - це основна частина модуля, яка перетворює сонячне випромінювання на електричну енергію. Соти зазвичай

виготовляються з кристалічного кремнію або інших напівпровідникових матеріалів.

б) Контакти - електроди, які з'єднують соти між собою і зовнішніми електричними пристроями. Контакти забезпечують збір та передачу згенерованої електроенергії.

в) Захисний шар (антирефлексійне покриття) - це тонкий шар, який застосовується на поверхню сонячних сот для зменшення втрати сонячної енергії від відбиття. Він допомагає покращити ефективність модуля.

г) Задня сторона - на задню сторону модуля наноситься металева пластина або фольга, яка служить як носій для сот і захищає їх від пошкоджень.

д) Рама - металева або пластикова рама, яка надає міцність модулю і захищає його внутрішні компоненти від зовнішніх впливів. Ці компоненти розташовані в модулі таким чином, щоб оптимально збирати сонячну енергію та перетворювати її на електричну енергію.

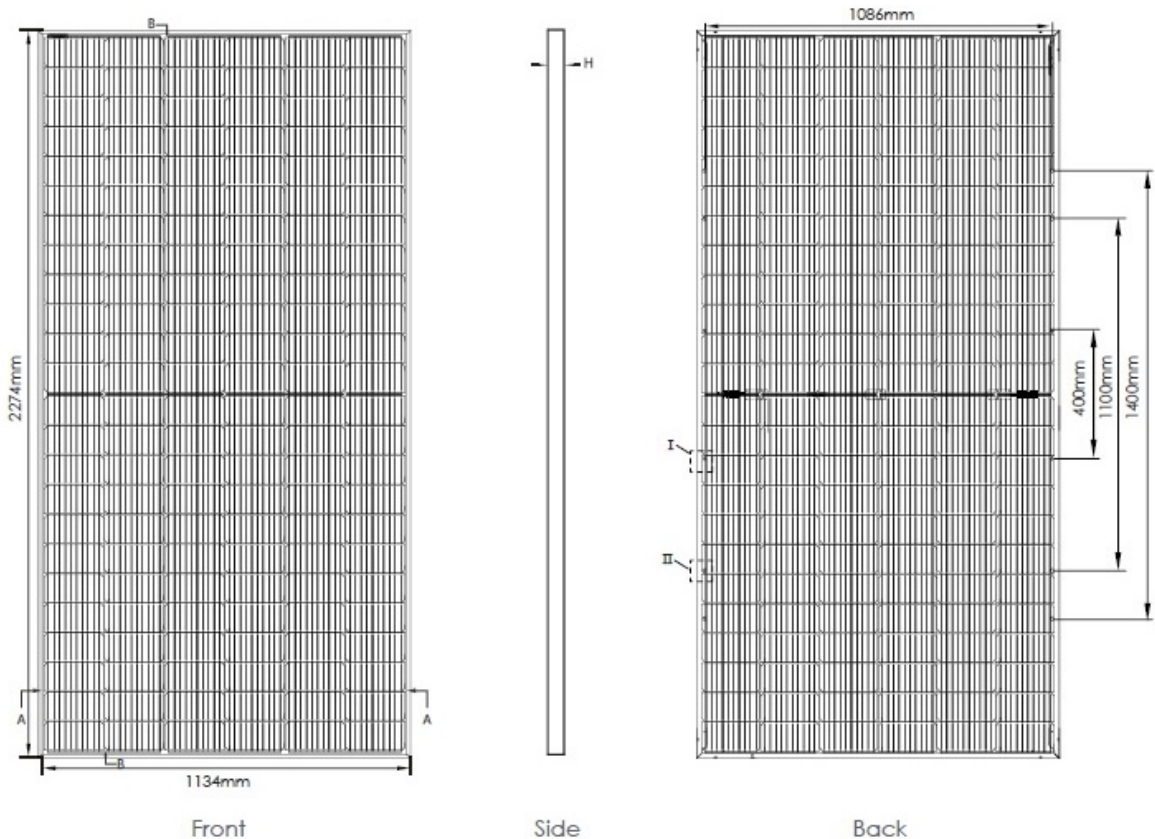


Рисунок 2.4 – Розмір та конструкція ФЕМ

Для нашого проекту обираємо фотомодуль типу Jinko Solar JKM545M-72HL4 545Вт [14]. На рис.2.4 приведено розміри фотомодуля.

Таблиця 2.5 – Характеристика фотомодуля

Виробник, Країна-виробник	Jinko Solar, Китай
Тип фотомодуля	монокристал
Електричні дані для STC	
Максимальна потужність, Вт	545
Номінальна напруга (V_{mp}) В	40,8
Номінальний струм (I_{mp}), А	13,36
Напруга розімкнутого контуру (V_{oc}), В	49,52
Струм короткого замикання (I_{sc}), А	13,94
ККД фотомодуля, % ($\eta_{фем}$)	21,1
Електричні дані для NOCT	
Максимальна потужність, Вт	405
Номінальна напруга, В	38,25
Номінальний струм (I_{mp}), А	10,6
Номінальна робоча температура модуля (NOCT)	45°C (+/-2°C)
Напруга розімкнутого контуру (V_{oc}), В	46,74
Струм короткого замикання (I_{sc}), А	11,26
Температурний коефіцієнт потужності, %/°C	-0,35
Температурний коефіцієнт напруги, %/°C	-0,28
Температурний коефіцієнт струму, %/°C	0,048
Максимальна напруга у системі, В	1500
Робоча температура, °C	-40...+85
Кількість фотоелементів, шт.	144 (6x24)
Габарити, Д*Ш*Т, мм	2278×1134×35
Матеріал рамки	Анодований алюміній

За допомогою NOCT можна перерахувати потужність, заявлену в стандарті STC на більш реалістичний PTC (Photovoltaics Test Conditions), який враховує вже не температуру самого сонячного елемента, а температуру навколишнього середовища [15].

Проведемо розрахунок параметрів фотоелектричних панелей для визначення реальних показників потужності сонячних панелей [16].

Очікувана температура модуля обчислюється з NOCT за формулою:

$$T_{PTC} = 20 + 1,389 * (NOCT - 20) * (0,9 - \eta_{фем}) \quad (2.9)$$

де NOCT – номінальна робоча температура модуля;

$\eta_{фем}$ – ККД фотомодуля

Значення $(0,9 - \eta)$ відображає частку сонячної енергії, що досягає модуля і перетворюється в тепло. Передбачається, що 10% енергії відбивається. Частина енергії перетворюється в електрику – це корисна енергія модуля, ККД, відсоток якого вказано в технічних характеристиках.

$$T_{PTC} = 20 + 1,389 * (45 - 20) * (0,9 - 0,211) = 43,925 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Якщо температура елемента для умов PTC визначена, то можна обчислити за формулою (2.18) потужність по PTC з потужності STC за допомогою температурного коефіцієнта (зазначеного в технічних характеристиках) потужності (C_T). Таким чином очікувана реалістична потужність:

$$P_{PTC} = P_{STC} * [1 - C_T * (T_{PTC} - 25^{\circ}\text{C})], \quad (2.10)$$

де P_{STC} – потужність, заявлена в характеристиці модуля, Вт.

$$P_{PTC} = 545 * [1 - 0,0035 * (43,925 - 25)] = 508,90 \text{ Вт}$$

Це складає $P_{PTC}/P_{STC} = 93,37 \%$ від номіналу, що перевищує 88%.

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В розділі 2.2 були знайдені розрахункові потужності діляниць 1 та 2, вони дорівнюють $P_{p1} = 29,39$ кВт та $P_{p2} = 55,153$ кВт. Виходячи з цього обираємо потужність сонячної станції та, відповідно, інверторного обладнання 30 кВт та 100 кВт.

Для першої ділянки обираємо мережевий інвертор SUN2000-30KTL-M3 з наступними характеристиками [17]:

Таблиця 2.6 – Характеристики інвертора SUN2000-30KTL-M3

Виробник, Країна - виробник:	Huawei, Китай
Модель:	SUN2000-30KTL-M3
Тип інвертора:	мережевий
Кількість фаз:	3
Кількість MPPT :	4
Кількість входів	8
ККД, %:	98.7
Європейська ефективність, ККД, %:	98,4
Інтерфейс:	WLAN / Ethernet (смарт-донгл WLAN FE) / 4, 3, 2 G (смарт-донгл 4G)
Вхідні характеристики сонячного поля	
Діапазон вхідної напруги на MPPT, В:	200-1000
MPPT діапазон напруги, В:	540-800
Максимальна напруга, В:	1100
Максимальний струм MPPT трекера, А:	26
Максимальний струм короткого замикання на MPPT, А	40
Номинальна вхідна напруга, В	570 V (380 V), 600 V (400 V) and 720 V (480 V)
Вихідні характеристики:	
Номинальна активна потужність змінного струму, Вт:	30000
Максимальна повна потужність змінного струму, Вт:	33000
Номинальний вихідний струм, А:	43,3
Максимальний вихідний струм, А:	47,9
Номинальна вихідна напруга, В:	230 В / 400 В, 3W/N+PE
Частота , Гц:	50/60

Продовження таблиці 2.6

Регульований діапазон коефіцієнта потужності	0,8 випередження...0,8 відставання
Максимальне повне спотворення гармонік	<3%
Габаритні розміри, мм:	640 x 530 x 270
Робочий діапазон температури, °C:	-25...60
Вологість, %:	0...100
Ступінь захисту:	IP66
Топологія	Без трансформаторний
Охолодження:	природна конвекція
Споживана потужність вночі, Вт	≤5.5

Для другої ділянки обираємо мережевий інвертор Huawei SUN2000-100KTL-M2 з наступними характеристиками [18]:

Таблиця 2.7 – Характеристики інвертора Huawei SUN2000-100KTL-M2

Виробник, Країна - виробник:	Huawei, Китай
Модель:	SUN2000-100KTL-M2
Тип інвертора:	мережевий
Кількість фаз:	3
Кількість МРРТ :	10
Кількість входів	20
ККД, %:	98.6
Європейська ефективність, ККД, %:	98,4
Інтерфейс:	LED Індикатори, Bluetooth + APP, RS485, USB, MBUS
Вхідні характеристики сонячного поля	
Діапазон вхідної напруги на МРРТ, В:	200-1000
МРРТ діапазон напруги, В:	540-800
Максимальна напруга, В:	1100
Максимальний струм МРРТ трекера, А:	30
Максимальний струм короткого замикання на МРРТ, А	40
Номінальна вхідна напруга, В	570 V (380 V), 600 V (400 V) and 720 V (480 V)
Вихідні характеристики:	
Номінальна активна потужність змінного струму, Вт:	100000
Максимальна повна потужність змінного струму, Вт:	110000
Максимальна активна потужність змінного струму ($\cos\varphi=1$), Вт:	110000

Продовження таблиці 2.7

Номинальний вихідний струм, А:	152.0 A (380 V), 144.4 A (400 V) and 120.3 A (480 V)
Максимальний вихідний струм, А:	168.8 A (380 V), 160.4 A (400 V) and 133.7 A (480 V)
Номинальна вихідна напруга, В:	220 V/380 V, 230 V/400 V and 277 V/480 V, 3 W + (N) b + PE
Частота, Гц:	50/60
Регульований діапазон коефіцієнта потужності	0,8 випередження...0,8 відставання
Максимальне повне спотворення гармонік	<3%
Габаритні розміри, мм:	1035 x 700 x 365
Робочий діапазон температури, °C:	-25...60
Вологість, %:	0...100
Ступінь захисту:	IP66
Топологія	Без трансформаторний
Охолодження:	природна конвекція

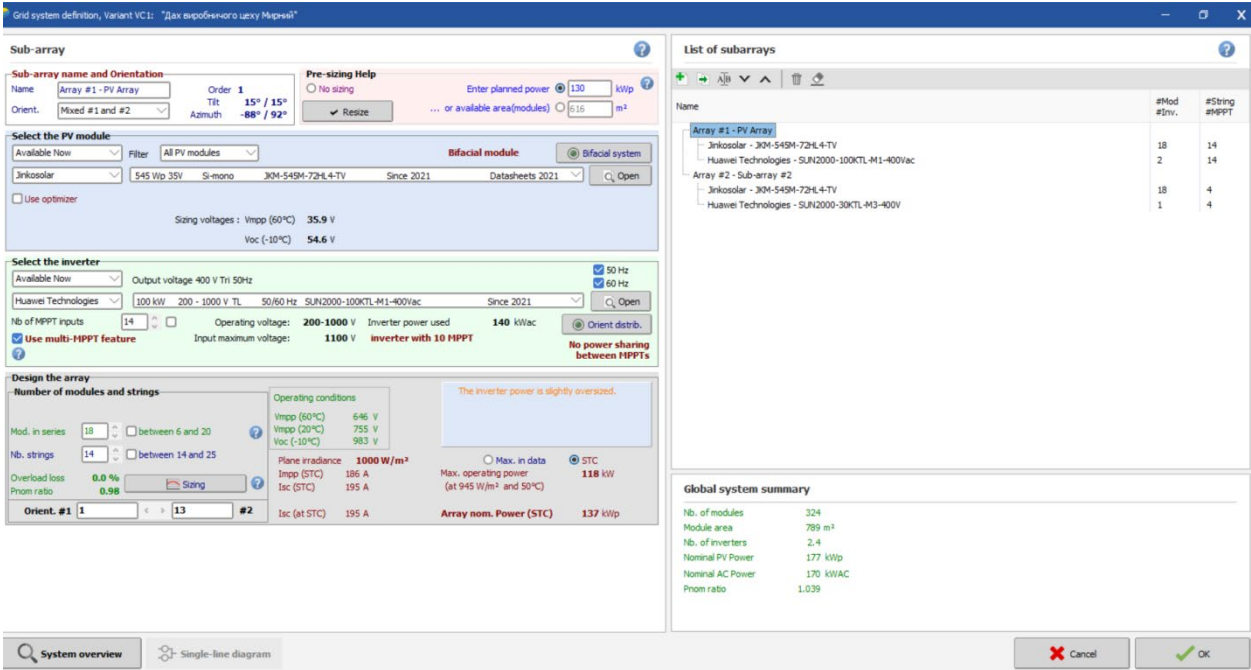
Кожен інвертор має діапазон напруги МРРТ, вказаний в технічному паспорті. Діапазон напруги МРРТ інвертора (Maximum Power Point Tracking) визначає діапазон робочих напруг, в межах яких інвертор здатен ефективно використовувати сонячну енергію. Цей параметр вказує, в якому діапазоні напруг інвертор може досягати максимальної електричної потужності зі сонячних панелей. У нашому випадку діапазон МРРТ становить 200-1000 В – це означає, що інвертор може ефективно працювати тоді, коли вхідна напруга сонячних панелей знаходиться в цьому діапазоні. Нижча або вища напруга може призвести до зниження потужності та ефективності інвертора. МРРТ дозволяє інвертору автоматично знаходити точку максимальної потужності, коли змінюється напруга від сонячних панелей. Це допомагає максимізувати використання сонячної енергії і підвищує ефективність системи.

Діапазон МРРТ визначає структуру підключення сонячних батарей в стрінг (ланцюг). Термін "стрінг" використовується для опису групування сонячних панелей, які з'єднані послідовно або паралельно. Конфігурація стрінга залежить

від потужності та напруги сонячних панелей, а також вимог проекту системи. При послідовному з'єднанні панелей, плюс однієї панелі з'єднується з мінусом іншої, що дозволяє збільшити напругу в цілому. Така конфігурація використовується, коли вимагається висока напруга для зарядки акумуляторів або для підключення до сітки. При паралельному з'єднанні панелей плюси підключаються до плюсів, а мінуси до мінусів, що дозволяє збільшити силу струму. Це використовується для забезпечення високої потужності, коли важлива велика кількість електроенергії. Стрінги можуть бути скомбіновані разом, утворюючи масштабовану сонячну систему з більшою потужністю та високою ефективністю.

Розрахунок сонячної станції можна проводити за допомогою формул, але ми це зробимо за допомогою програмного забезпечення PVsyst [19].

Ця програма дуже зручна для моделювання фотоелектричної системи, пов'язує файл метеорологічних даних Meteopnorm та має в базі даних великий вибір моделей модулів та інверторів.



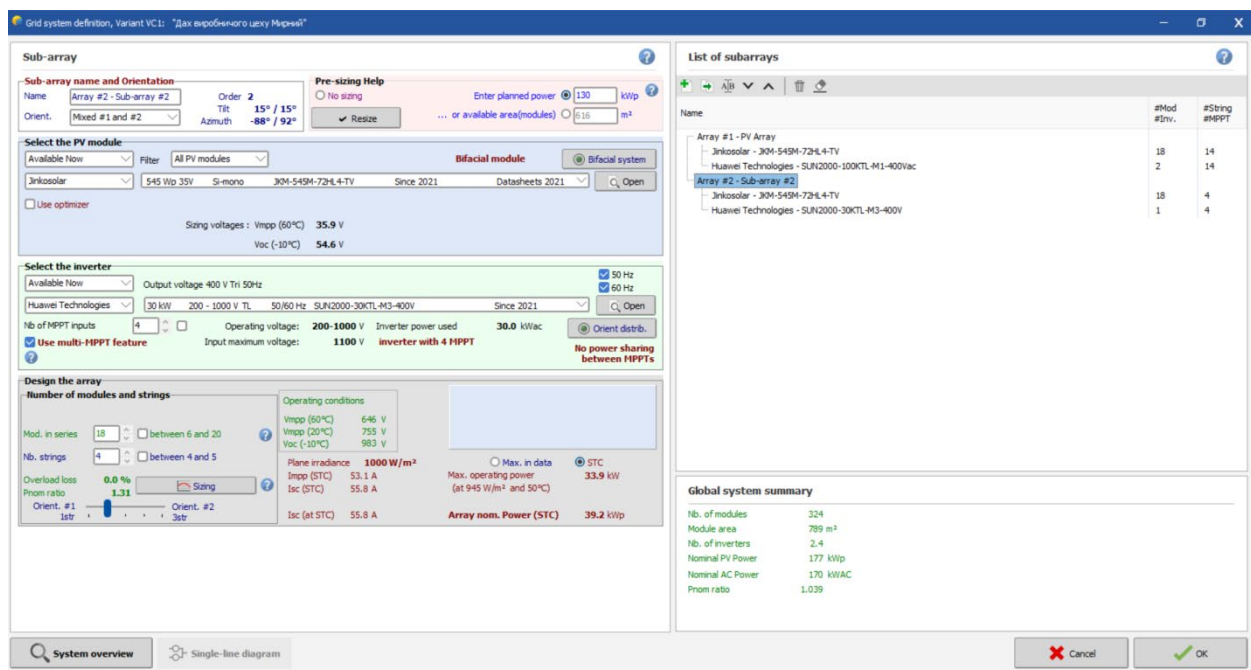


Рисунок 2.5 – Вибір даних в програмі PVsyst

На рис.2.5 показано який вигляд мають дані, які обираються для нашої фотоелектричної станції в програмному забезпеченні.

Обираємо із бази даних необхідні інвертори та модулі. Характеристики сонячної станції будуть виглядати таким чином:



PVsyst V7.4.4

VC1, Simulation date:
29/11/23 15:48
with v7.4.4

Project: New Project
Variant: New simulation variant

General parameters			
Grid-Connected System		No 3D scene defined, no shadings	
PV Field Orientation		Models used	
Orientation		Sheds configuration	
Fixed planes	2 orientations	No 3D scene defined	Transposition Perez
Tilts/azimuths	15 / -88 °		Diffuse Perez, Meteonorm
	15 / 92 °		Circumsolar separate
Horizon		Near Shadings	User's needs
Free Horizon		No Shadings	Unlimited load (grid)

PV Array Characteristics			
Array #1 - Array #1 - PV Array			
Mixed orient.			
#1/2: 0/14 strings			
Tilt/Azimuth		15/-88 °	
		15/92 °	
PV module			
Manufacturer		Generic	
Model		JKM-545M-72HL4-TV	
(Original PVsyst database)			
Unit Nom. Power		545 Wp	
Number of PV modules		252 units	
Nominal (STC)		137 kWp	
Modules		14 string x 18 In series	
At operating cond. (50°C)			
Pmpp		125 kWp	
U mpp		674 V	
I mpp		186 A	
Array #2 - Array #2 - Sub-array #2			
Mixed orient.			
#1/2: 1/3 strings			
Tilt/Azimuth		15/-88 °	
		15/92 °	
PV module			
Manufacturer		Generic	
Model		JKM-545M-72HL4-TV	
(Original PVsyst database)			
Unit Nom. Power		545 Wp	
Number of PV modules		72 units	
Nominal (STC)		39.2 kWp	
Modules		4 string x 18 In series	
At operating cond. (50°C)			
Pmpp		35.8 kWp	
U mpp		674 V	
I mpp		53 A	
Total PV power			
Nominal (STC)		177 kWp	
Total		324 modules	
Module area		836 m²	
Inverter			
Manufacturer		Generic	
Model		SUN2000-100KTL-M1-400Vac	
(Original PVsyst database)			
Unit Nom. Power		100 kWac	
Number of inverters		14 * MPPT 10% 1.4 unit	
Total power		140 kWac	
Operating voltage		200-1000 V	
Max. power (=>33°C)		110 kWac	
Pnom ratio (DC:AC)		0.98	
No power sharing between MPPTs			
Inverter			
Manufacturer		Generic	
Model		SUN2000-30KTL-M3-400V	
(Original PVsyst database)			
Unit Nom. Power		30.0 kWac	
Number of inverters		4 * MPPT 25% 1 unit	
Total power		30.0 kWac	
Operating voltage		200-1000 V	
Max. power (=>55°C)		33.0 kWac	
Pnom ratio (DC:AC)		1.31	
No power sharing between MPPTs			
Total inverter power			
Total power		170 kWac	
Nb. of inverters		3 units	
		0.6 unused	
Pnom ratio		1.04	

Рисунок 2.6 – Характеристики обладнання фотоелектричної станції

Згідно з розрахунками, для першої ділянки до інвертора 30 кВт Huawei SUN2000-30KTL-M3 рекомендується приєднати 72 сонячні батареї Jinko Solar

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

JKM545M-72HL4 545Вт. Для нормального режиму роботи інвертора в одному стрінзі буде 18 панелей, на одному столі чотири стрінги.

Для другої ділянки до інвертора 100 кВт Huawei SUN2000-100KTL-M2 рекомендується приєднати 252 сонячні батареї Jinko Solar JKM545M-72HL4 545Вт. Для нормального режиму роботи інвертора в одному стрінзі буде 18 панелей, на одному столі чотирнадцять стрінгів.

2.3.2 Визначення конструкції окремого стола з фотоелектричними модулями

ФЕМ встановлюється на комплект опорних металоконструкцій (стіл) з кутом нахилу ф. Так, як проєктована ФЕС встановлюється на плоскій покрівлі було прийнято рішення щодо використання двонаправленої баластної системи кріплення сонячних панелей. Баластна система СХІД/ЗАХІД, має двонаправлене розташування сонячних панелей - на схід та захід, що дозволяє сонячній станції мати високі показники ефективності протягом дня [20].

Баластна система Схід/Захід (див. рисунок 2.7) служить підтримуючою конструкцією фотоелектричних модулів, які розміщуються на дахах промислових, комерційних та приватних будівель. Система дозволяє встановлювати сонячні станції на плоских дахах баластно без анкерування.

Двонаправлена система OST/WEST включає опорні трикутники, прижими панелей, захисні килимки та анкери кріплення для баласту. Кут нахилу модулів замовляється в межах 15-25 градусів.

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48



Рисунок 2.7 – Баластна система Схід/Захід

В нашому випадку найкраща орієнтація панелей з фіксованими кутами нахилу $15/92^\circ$ та $15/-88^\circ$ (див. рис.2.3).

Конструкція столу для фотоелектричних модулів може бути досить різноманітною. Зазвичай такий стіл складається з металевої рами або каркасу із спеціального матеріалу, що витримує навантаження та забезпечує стабільність. У верхній частині столу розташовуються самі фотоелектричні модулі. Стіл може мати спеціальні кріплення для фіксації модулів. Ряди сонячних панелей з'єднуються між собою, утворюючи один стрінг. Стрінги підключаються проводом PV 6 мм² із застосуванням конекторів PV-C1F-S (+) та PV-C1F-S (-). Довжина столу визначається за геометричними розмірами ФЕМ та їх кількості в одному стрінгу з урахуванням технологічних відстаней між панелями для їх кріплення до металоконструкцій (приймається за конкретними розмірами кріплень). Приймаємо відстань між панелями – $\Delta_{\text{фем}} = 0,02$ м (ширина п-образного кріплення).

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Таким чином, довжина столу рахується за формулою:

$$L_{\text{ст}} = N_{\text{ФЕМ}} * (b_{\text{ФЕМ}} + \Delta_{\text{ФЕМ}}), \quad (2.11)$$

де $b_{\text{ФЕМ}}$ - ширина модуля, м

$$L_{\text{ст}} = 18 * (1,134 + 0,02) = 20,8 \text{ м}$$

Відстань між рядами не менше 0,5 м тому, що двонаправлені баластні конструкції мають досить невелику висоту що дозволяє розташовувати поряд декілька столів без створення тіньової зони.

Схема підключення фотоелектричних модулів у стрінг (для одного столу на 72 ФЕМ)

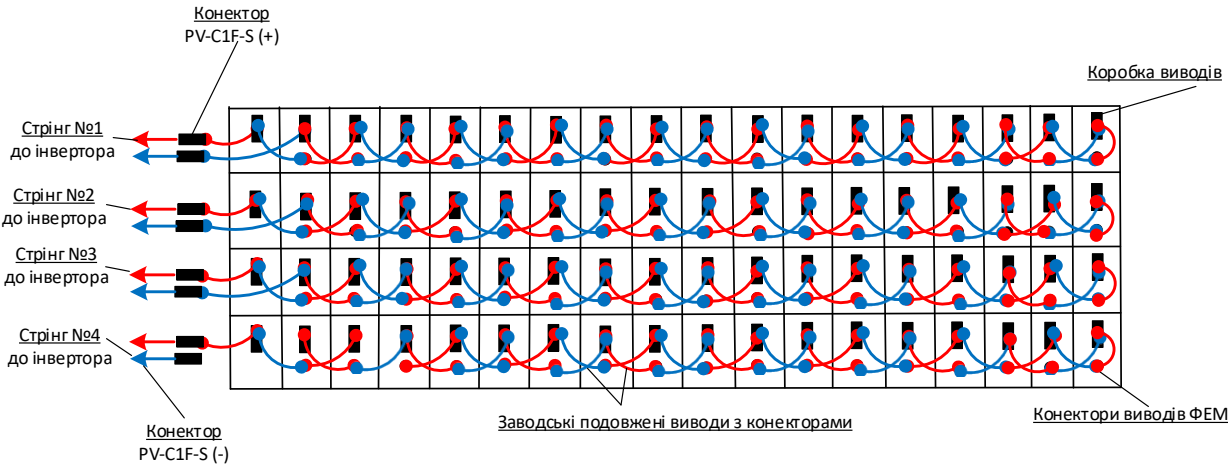


Рисунок 2.8 – Зображення конструкції одного столу ФЕМ

На рисунку 2.8 показано схему підключення фотомодулів у стрінг для одного столу на 72 фотоелектричних модуля.

Інвертори ФЕС є першою перетворювальною ланкою енергії з постійного струму у змінний для ФЕМ. У сонячних електростанціях інвертори, як правило, розташовуються близько до сонячних панелей або в системному блоку, в зоні зберігання електричної енергії.

2.3.3 Проведення розрахунків фотоелектричної станції

В програмі PVsyst були виконані розрахунки виробництва енергії з урахуванням різних факторів, як то втрати в інверторах, фотоелектричних модулях, втрати за рахунок тіней і т.п.

Наведемо основні діаграми розрахунку.

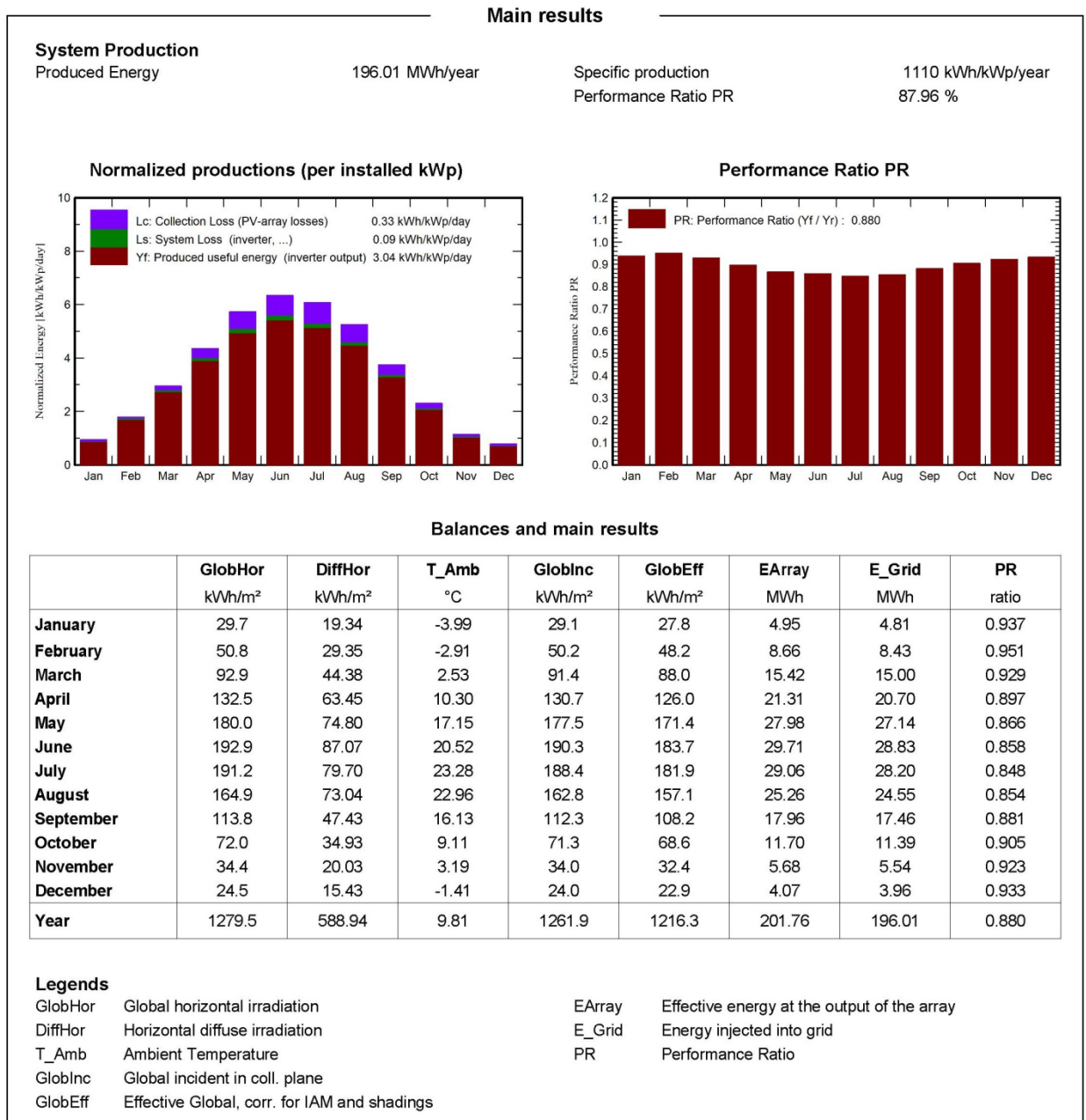


Рисунок 2.9 – Основні результати виробництва енергії

Як бачимо із таблиці наша ФЕС виробляє 196,01МВт*год.

На наступних діаграмах показані затінення для наших двох орієнтацій з кутами нахилу панелей 15/92° та 15/-88°

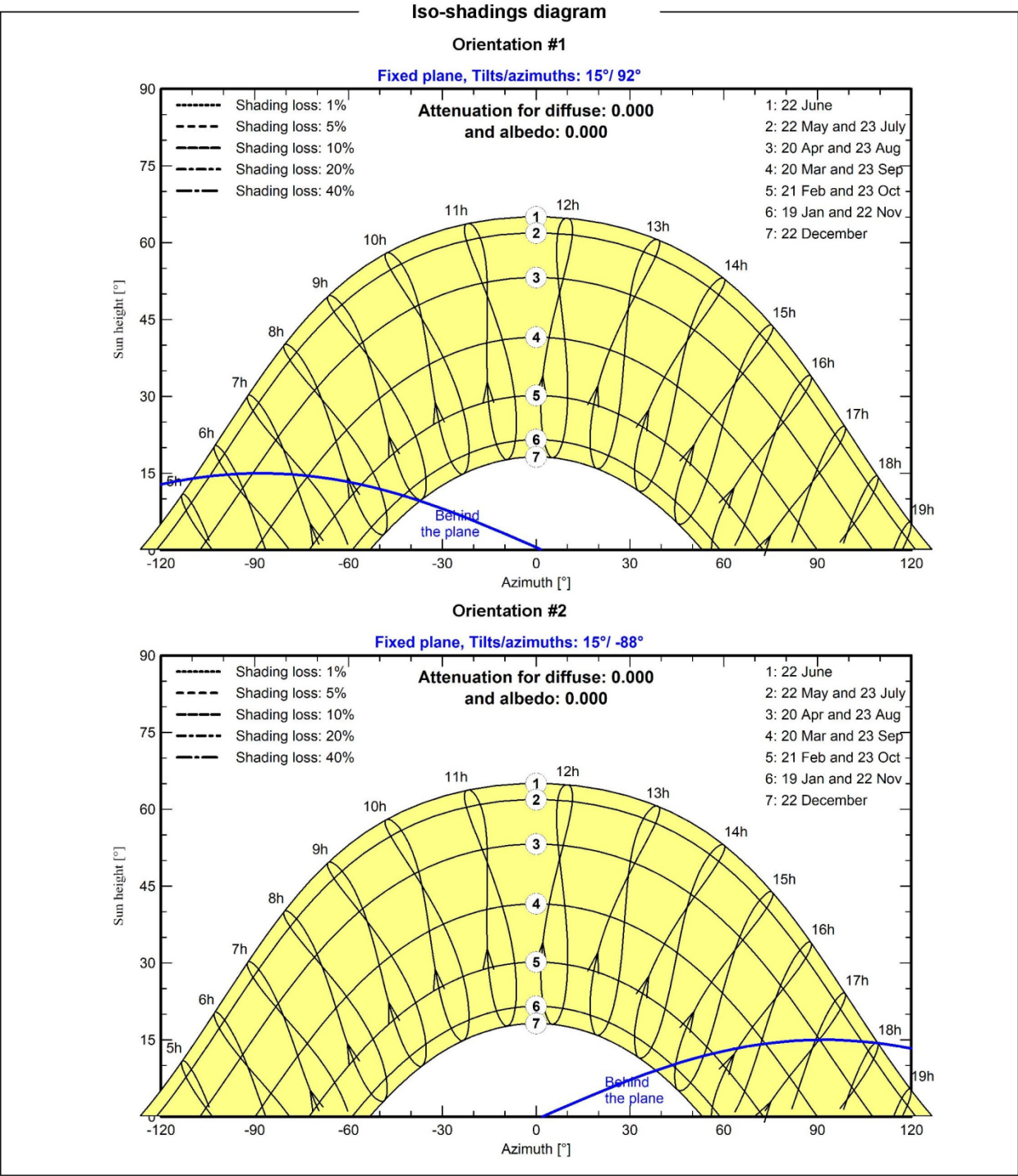


Рисунок 2.10 – Затінення для двох орієнтацій з кутами нахилу панелей 15/92°, 15/-88°

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ

Арк.

52

Наступні діаграми показують падіння енергії в колекторній площині та нормовані коефіцієнти виробництва та втрат за рахунок втрат в інверторах та фотоелектричних модулях.

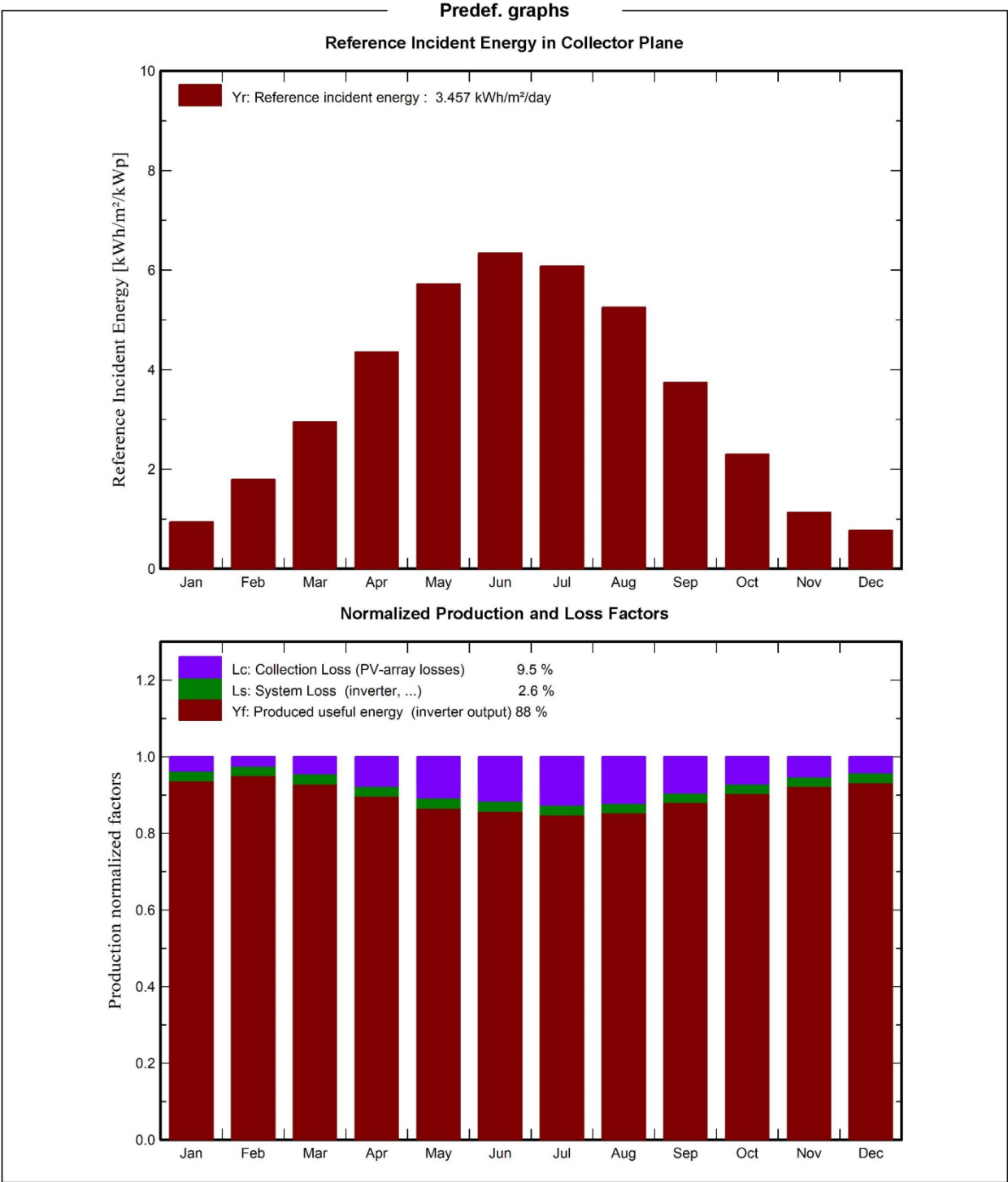


Рисунок 2.11 – Падіння енергії в колекторній площині та нормовані коефіцієнти виробництва та втрат

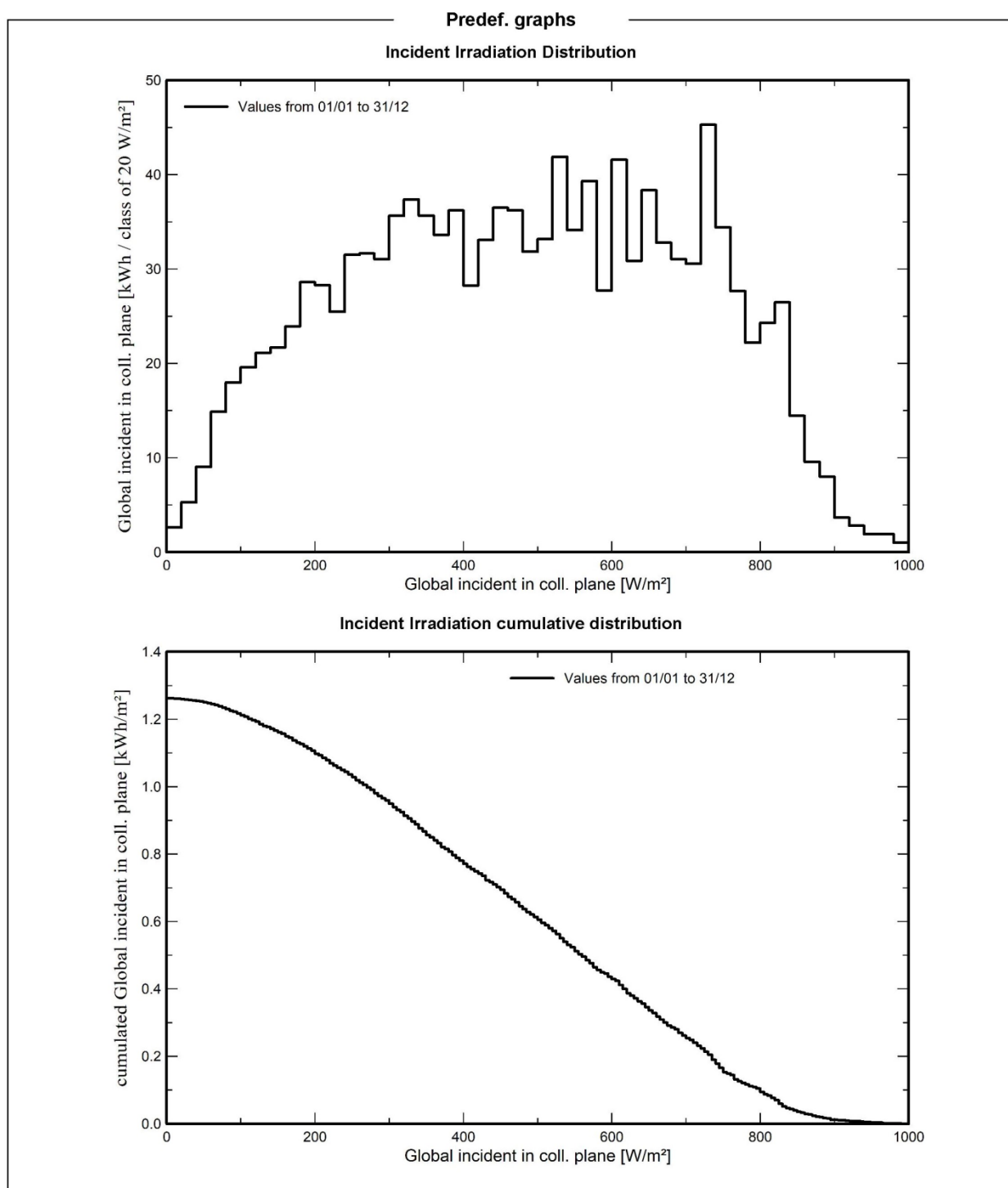


Рисунок 2.12 – Розподіл опромінення

Діаграми залежності температури масиву від опромінення та щоденного вводу/виводу енергії виглядають наступним чином

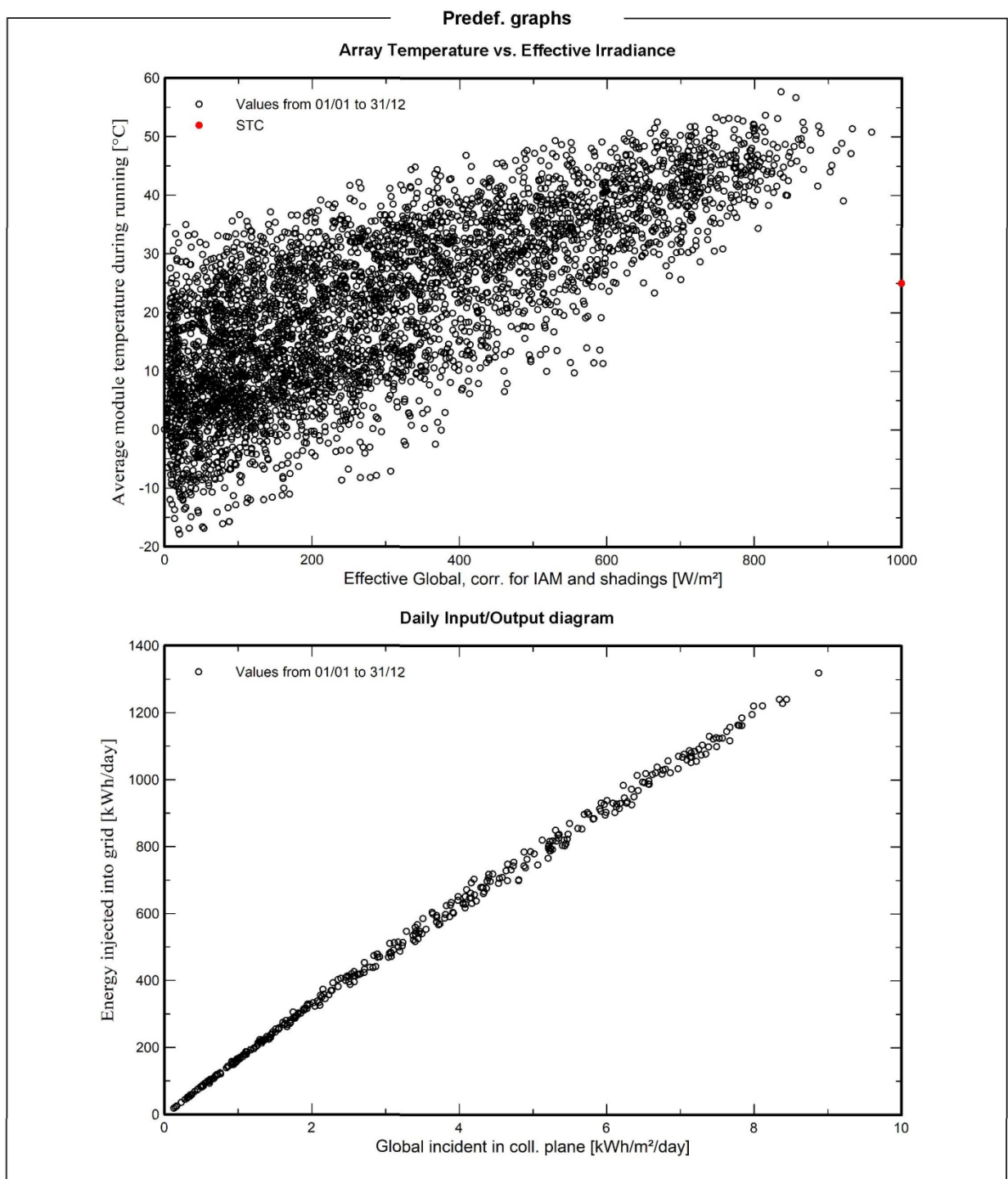


Рисунок 2.13 – 1 - графік залежності температури масиву від опромінення;
2 – графік щоденного вводу/виводу енергії

Наступні діаграми відображають щоденну вихідну енергію системи та розподіл потужності масиву

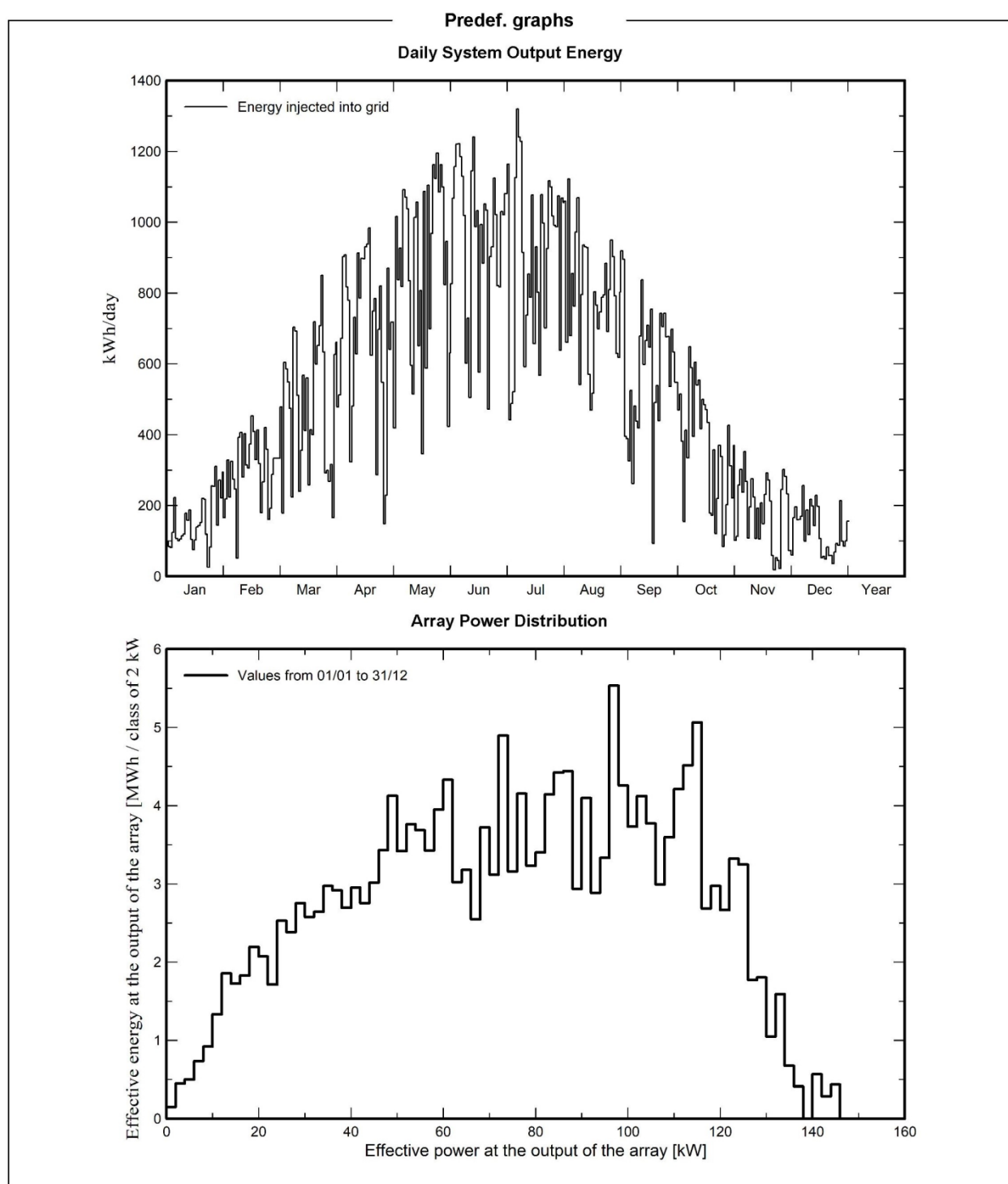


Рисунок 2.14 – Щоденна вихідна енергія системи,
розподіл потужності масиву

Графік розподілу вихідної потужності системи та сукупний розподіл вихідної потужності системи наведені на рис.2.15

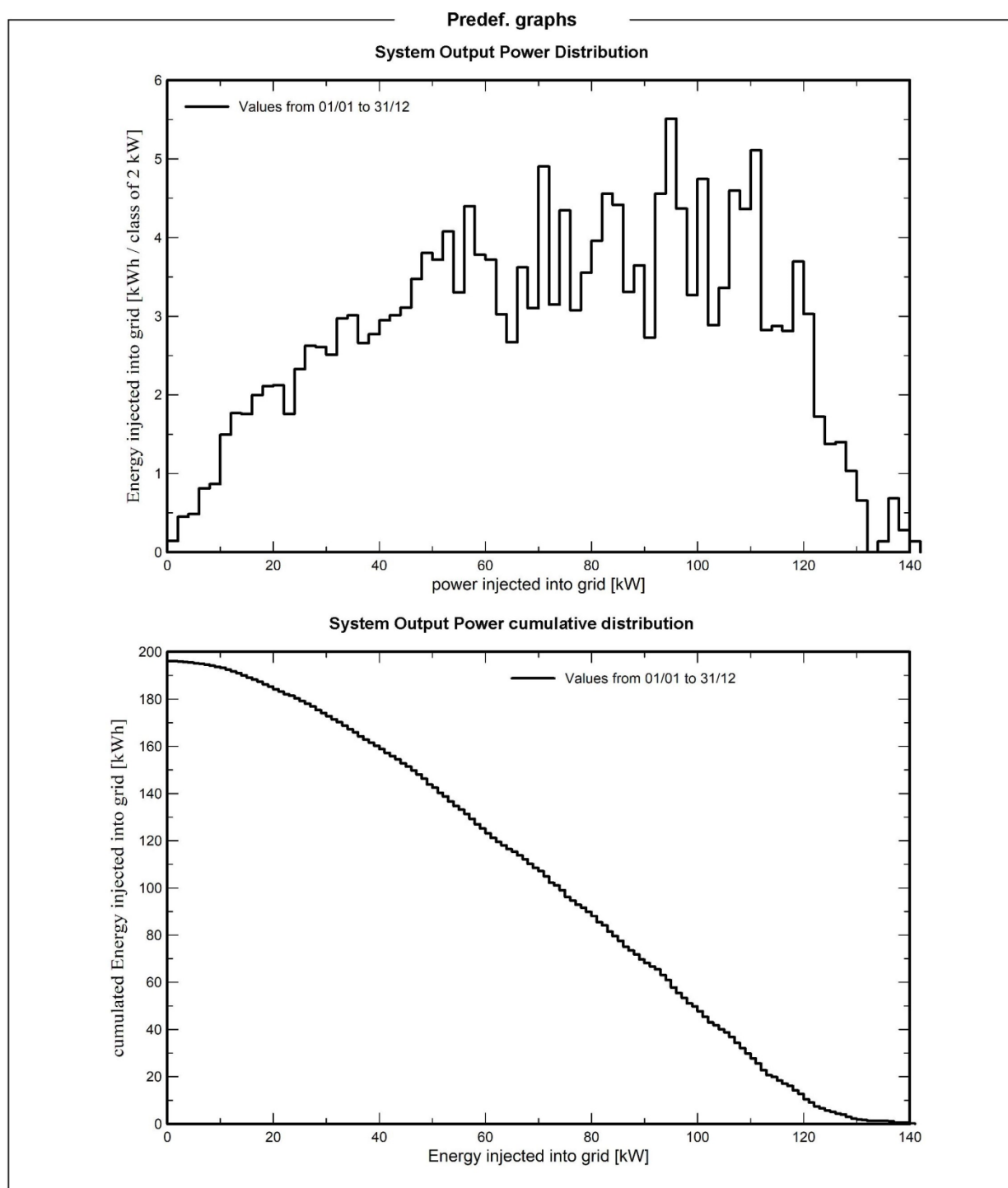


Рисунок 2.15 – Вихідна потужність системи
та сукупна вихідна потужність

На рис.2.16 показаний розподіл напруги та температури масиву під час роботи

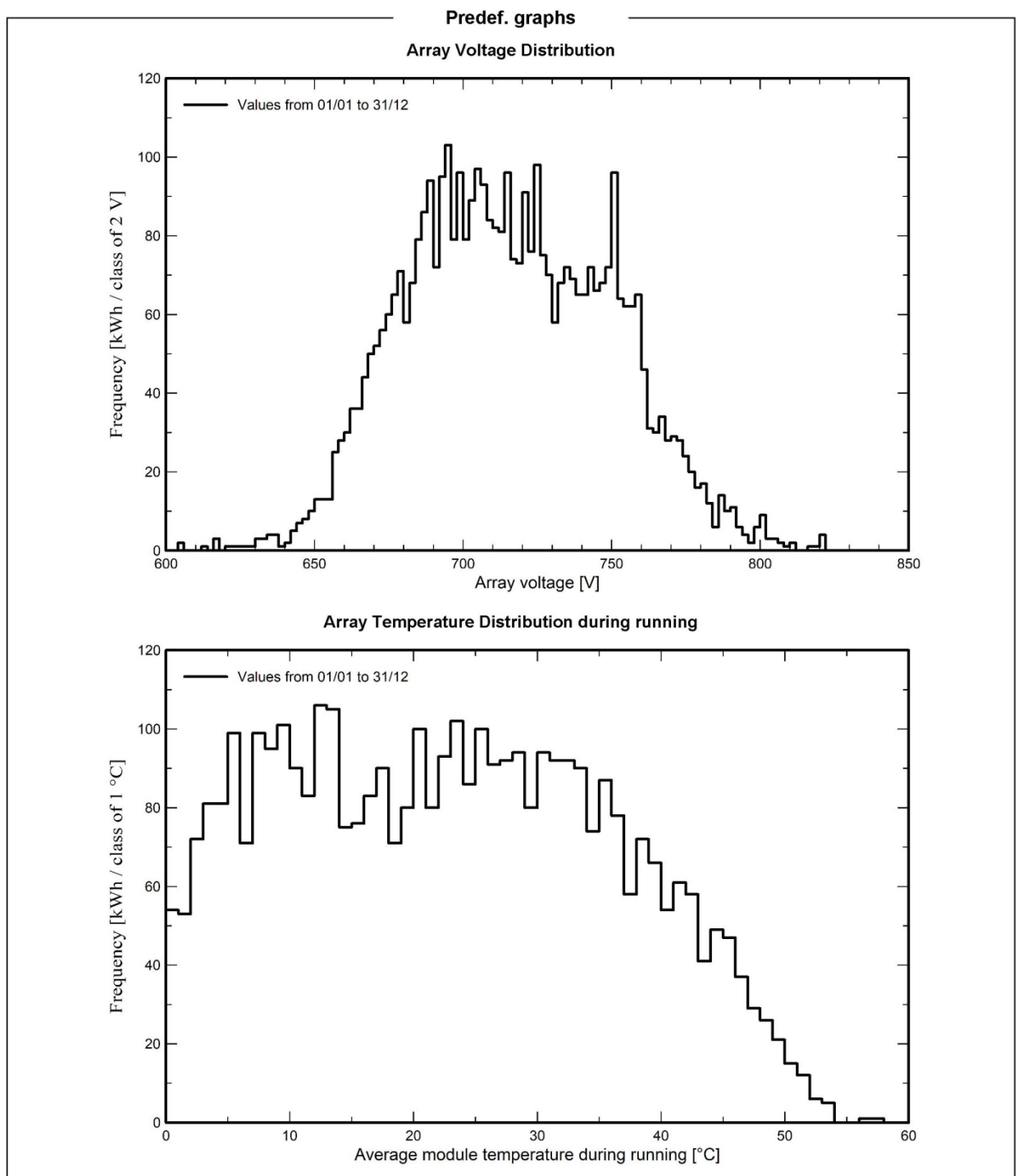


Рисунок 2.16 – Діаграми розподілу напруги та температури масиву під час роботи

На рис.2.17 показана ймовірність річного виробництва електроенергії в залежності від похибки та невизначеності різних даних, як то зміни клімату, варіації метеоданих, невизначеність параметрів фотомодулей, інверторів, забруд-

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

нення поверхні масиву, деградації. Так прогнозоване виробництво сонячної енергії 196,01 МВт*год

Ймовірність річного виробництва енергії:

Варіативність – 9,89 МВт*год

P50 – 196,01 МВт*год

P90 – 183,33 МВт*год

P95 – 179,76 МВт*год

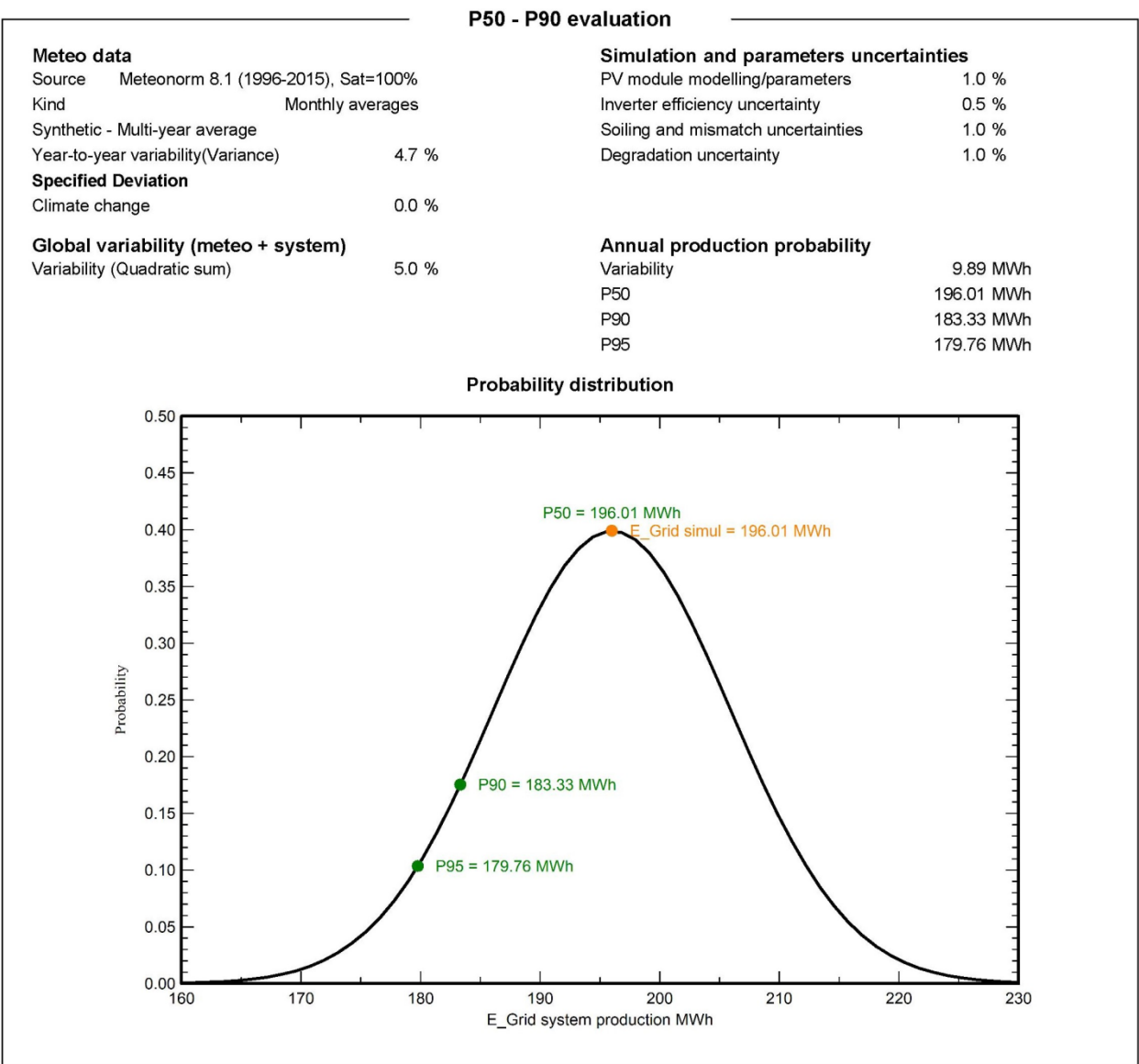


Рисунок 2.17 – Розподіл ймовірностей річного виробництва енергії

В таблиці 2.8 наведена погодинна сумарна за 30 днів відповідного місяця за відповідну годину генерація нашої системи.

Таблиця 2.8 – Погодинна генерація системи з ФЕС

TIME год/Р, кВт	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Year
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3
4	0	0	0	0	131	326	151	0	0	0	0	0	606
5	0	0	0	201	648	780	687	442	14	0	0	0	2773
6	0	0	174	748	1260	1445	1260	992	585	196	0	0	6658
7	0	213	704	1309	1968	2048	1843	1637	1095	675	159	0	11651
8	241	589	1220	1881	2512	2605	2458	2210	1565	1163	504	270	17218
9	492	948	1589	2316	2884	2956	2896	2579	1900	1534	773	525	21391
10	713	1232	1937	2492	3052	3140	3103	2812	2303	1756	980	738	24259
11	835	1446	2081	2624	2991	2983	2962	2744	2406	1793	942	793	24600
12	821	1330	2012	2498	2974	2883	3069	2781	2261	1569	884	711	23791
13	952	1228	1980	2214	2680	2716	2809	2668	1975	1295	757	615	21887
14	557	884	1632	1866	2238	2342	2391	2256	1594	885	424	304	17374
15	208	464	1080	1372	1753	1936	1964	1713	1086	460	118	7	12160
16	0	102	552	807	1200	1446	1420	1078	574	72	0	0	7250

Закінчення таблиці 2.8

TIME, год/Р, кВт	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December	Year
17	0	0	41	372	637	815	792	538	107	0	0	0	3300
18	0	0	0	1	212	407	394	100	0	0	0	0	1112
19	0	0	0	0	0	3	2	0	0	0	0	0	2
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-3

3 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ НА ЯКІСТЬ
ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Для аналізу візьмемо споживання нашого об'єкту (сумарне споживання обома ділянками) за один день 24 серпня 2023 року та порівняємо з виробленою енергією фотоелектричною станцією за той же день. При цьому, виконаємо перерахунок погодинного вироблення енергії за день серпня місяця, дані зведемо до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Кількість виробленої електроенергії за серпень

Час доби, год	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Сумарна генерація за 31 день P, кВт	0	0	0	0	0	442	992	1637	2210	2579	2812	2744	2781	2668	2256	1713	1078	538	100	0	0	0	0	0
Сумарна генерація за один день P, кВт	0	0	0	0	0	14,25806452	32	52,80645161	71,29032258	83,19354839	90,70967742	88,51612903	89,70967742	86,06451613	72,77419355	55,25806452	34,77419355	17,35483871	3,225806452	0	0	0	0	0

В таблиці 3.2 зведено почасове споживання нашого об'єкту (сумарне споживання обома ділянками) за один день та вироблена енергія фотоелектричною станцією за той же день.

Таблиця 3.2 – Кількість спожитої та виробленої електроенергії

Час доби, год	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Сумарне на- вантажен- ня об'єкту по двом діль- ницям P,кВт	1,07511	1,349869	0,9277952	1,405452	0,8465275	0,5916553	0,6657338	1,683006	50,75285	54,23152	64,97826	69,74283	47,8542	66,87244	88,72168	77,40222	75,19109	48,2568	29,41622	30,81249	3,691006	3,118363	2,642667	1,95297
Сумарна генерація P, кВт	0	0	0	0	0	52	32	61	58	39	42	03	42	13	55	52	55	71	52	0	0	0	0	0

По даним з цієї таблиці побудуємо діаграми виробництва та споживання. З рис.3.1 видно, що виробництво енергії фотоелектричною станцією в цілому більше, але максимуми споживання та вироблення енергії не співпадають.

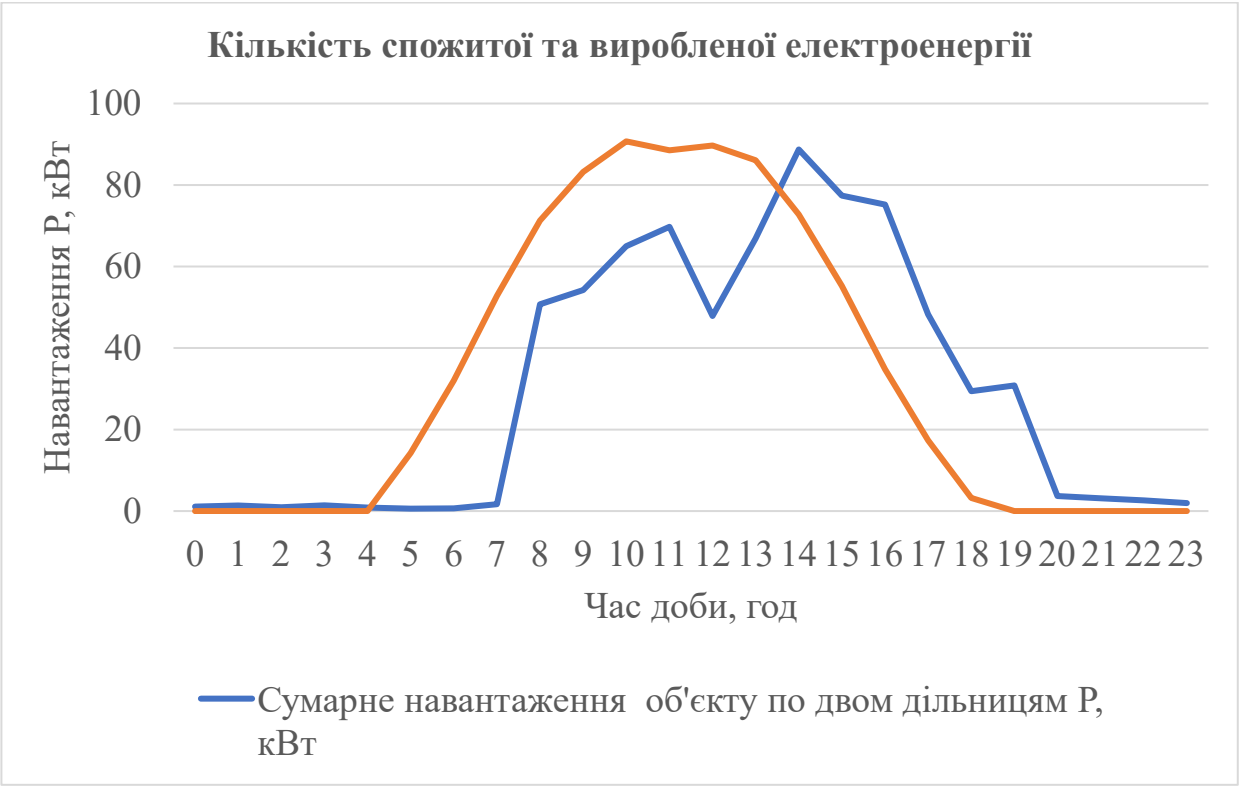


Рисунок 3.1 – Діаграми виробництва та споживання

Якщо зробити аналіз по відношенню значення потужності генерування до потужності навантаження вузлів, можна зробити певні висновки:

- а) У випадку коли потужність фотоелектричної системи менша за навантаження, то в мережі відбувається зменшення втрат.
- б) У випадку коли вихідна потужність ФЕС більша ніж власне навантаження, то в електричній мережі відбуваються додаткові коливання та генерація вищих гармонік.

Встановлення джерела живлення на основі відновлювальної енергії в РЕМ неподалік від навантаження може змінювати напрямки перетоків потужності. Відповідно виникають проблеми, що пов'язані з появою реверсивних потоків.

Однією з таких проблем є збільшення втрат активної потужності в електричних мережах.

Коли частка розподіленої генерації (РГ) зростає у загальній потужності енергосистеми, то це веде до появи нових характеристик енергосистеми. Одна з цих характеристик - підвищена надійність, оскільки з'являється можливість розділити енергосистему на окремі райони під час аварійних ситуацій. Але реалізація такої властивості потребує певної модернізації енергосистеми [21].

Зовнішні умови, особливо інтенсивність сонячного випромінювання, головним чином визначають, наскільки ефективно генерують електроенергію сонячні джерела. Ця потужність не так сильно залежить від роботи електричної мережі, до якої вони підключені. Установки, що використовують сонячну енергію, можуть мати характер коливання або переривання у генерації потужності, що призводить до значних змін у системі та впливу на її режим роботи. Більшість сонячних генераторів підключаються до мережі за допомогою силових електронних перетворювачів, які мають велику чутливість до рівнів напруги.

У енергетичних системах з розподіленою генерацією лінії електропередачі, що працюють на середній або низькій напрузі та, зазвичай, мають вертикально-радіальну структуру і одне джерело енергії, перетворюються в лінії електропередачі з підключенням декількох джерел живлення та випадковим способом генерації електроенергії. Більш того, поява резервних генеруючих джерел змінює інші характеристики енергосистеми. Сонячні установки працюють тільки під час світлового дня, їх генерація електроенергії характеризується пульсуючим та нерівномірним режимом роботи. Інвертори цих установок створюють в електричній мережі додаткові коливання та генерують в мережу вищі гармоніки.

На нашому об'єкті працюють виробничі станки з електродвигунами, які досить багато споживають реактивної потужності при запуску, тому коефіцієнт потужності коливається в межах 0,6 – 0,8.

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Як вже було наведено вище проведено низку вимірювань приладом Smart-Maіc [11] для визначення споживання енергії нашим об’єктом. Ці дані наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Дані спожитої електроенергії об’єктом

Час до-би, год	1 фаза				2 фаза				3 фаза			
	U1-Voltage, В	I1-Current, А	P1-Power, Вт	PF1-Power Factor, (cosφ)	U2-Voltage, В	I2-Current, А	P2-Power, Вт	PF2-Power Factor, (cosφ)	U3-Voltage, В	I3-Current, А	P3-Power, Вт	PF3-Power Factor, (cosφ)
0	237,58	0,81	192,4398	0,55	239,885	2,1	503,7585	0,53	239,275	1,59	380,4473	0,88
1	239,22	1,6	382,752	0,59	241,54	2,21	533,8034	0,52	241,095	1,8	433,971	0,88
2	240,26	0,4	96,104	0,6	242,485	1,79	434,0482	0,53	242,095	1,65	399,4568	0,9
3	240,07	1,35	324,0945	0,6	242,65	2,55	618,7575	0,52	241,74	1,92	464,1408	0,87
4	240,315	0,69	165,8174	0,53	242,805	1,52	369,0636	0,53	242,475	1,29	312,7928	0,84
5	241,11	0,21	50,6331	0,56	243,605	1,37	333,7389	0,55	242,73	0,86	208,7478	0,89
6	240,83	0,41	98,7403	0,7	243,17	1,43	347,7331	0,69	242,255	0,91	220,4521	0,73
7	239,715	1,87	448,2671	0,68	241,515	2,85	688,3178	0,73	241,09	2,27	547,2743	0,69
∞	235,895	68,4	16135,22	0,71	237,23	73,23	17372,35	0,71	237,235	72,71	17249,36	0,72

Продовження таблиці 3.3

Час до-би, год	1 фаза				2 фаза				3 фаза			
	U1-Voltage, В	I1-Current, А	P1-Power, Вт	PF1-Power Factor, (cosφ)	U2-Voltage, В	I2-Current, А	P2-Power, Вт	PF2-Power Factor, (cosφ)	U3-Voltage, В	I3-Current, А	P3-Power, Вт	PF3-Power Factor, (cosφ)
9	234,115	73,8	17277,69	0,7	235,255	79,25	18643,96	0,69	235,21	77,86	18313,45	0,7
10	233,605	87,96	20547,9	0,66	234,935	95,7	22483,28	0,67	234,485	93,62	21952,49	0,66
11	233,52	92,37	21570,24	0,74	235,195	96,83	22773,93	0,72	234,645	108,27	25405,01	0,74
12	233,955	62,98	14734,49	0,77	235,61	62,72	14777,46	0,76	235,175	78,01	18346	0,82
13	232,785	90,55	21078,68	0,7	234,12	92,48	21651,42	0,7	233,55	103,38	24144,4	0,74
14	232,575	120,85	28106,69	0,74	233,74	124,87	29187,11	0,73	233,53	134,6	31433,14	0,75
15	233,21	104,67	24410,09	0,74	234,615	108,45	25444	0,72	234,045	117,72	27551,78	0,72
16	234,11	100,42	23509,33	0,8	235,865	103,41	24390,8	0,79	235,25	116,03	27296,06	0,86
17	235,06	62,93	14792,33	0,83	237,615	60,71	14425,61	0,82	236,81	80,41	19041,89	0,88
18	236,25	40,44	9553,95	0,83	238,6	38,8	9257,68	0,83	238,04	44,55	10604,68	0,87

Закінчення таблиці 3.3

Час до-би, год	1 фаза				2 фаза				3 фаза			
	U1-Voltage, В	I1-Current, А	P1-Power, Вт	PF1-Power Factor, (cosφ)	U2-Voltage, В	I2-Current, А	P2-Power, Вт	PF2-Power Factor, (cosφ)	U3-Voltage, В	I3-Current, А	P3-Power, Вт	PF3-Power Factor, (cosφ)
19	236,7	44,33	10492,91	0,78	239,095	39,85	9527,936	0,63	238,67	45,2	10787,88	0,96
20	235,43	2,94	692,1642	0,54	237,855	3,73	887,1992	0,51	237,435	8,91	2115,546	0,99
21	235,99	1,72	405,9028	0,6	238,205	2,95	702,7048	0,51	237,76	8,47	2013,827	0,99
22	237,38	2,23	529,3574	0,56	239,56	3,36	804,9216	0,5	239,23	5,48	1310,98	0,89
23	237,7	2,04	484,908	0,53	239,725	3,26	781,5035	0,52	239,7	2,87	687,939	0,86

Порахуємо середні, для кожної години, значення напруги U , струму I , активної потужності P , значення PF Power Factor ($\cos\phi$), реактивної потужності Q та повної потужності S за формулами:

$$U_{ср} = (U1+U2+U3)/3, В \quad (3.1)$$

$$U_{ср} = (237,58+239,885+239,275)/3 = 238,9133 В$$

$$I_{ср} = (I1+I2+I3)/3, А \quad (3.2)$$

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			67

$$I_{\text{ср}} = (0,81+2,1+1,59)/3 = 4,5 \text{ A}$$

$$P_{\text{ср}} = (P1+P2+P3)/3*1000, \text{ кВт} \quad (3.3)$$

$$P_{\text{ср}} = (192,4398+503,7585+380,44725)/3*1000 = 1,07664 \text{ кВт}$$

$$PF_{\text{ср}} = (PF1+PF2+PF3)/3, \quad (3.4)$$

$$PF_{\text{ср}} = (0,55+0,53+0,88)/3 = 0,6533$$

$$Q = P*(\text{SIN}(\text{ACOS}(PF))/ PF), \text{ кВар}, \quad (3.5)$$

$$Q = 1,07664 * (\text{SIN}(\text{ACOS}(0,6533))/ 0,6533) = 0,9262$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \text{ кВА} \quad (3.6)$$

$$S = \sqrt{1,07664^2 + 0,9262^2} = 1,42025 \text{ кВА}$$

Аналогічно розрахуємо ці величини для інших годин та занесем до таблиці 3.4

Таблиця 3.4 – Величини напруги, струму, активної потужності, коефіцієнту потужності, реактивної потужності, повної потужності

Час доби, год	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Напруга U, В	238,9133	240,6183	241,6133	241,4867	241,865	242,4817	242,085	240,7733	236,7867	234,86	234,3417	234,4533	234,9133	233,485	233,2817	233,9567	235,075	236,495	237,63	238,155	236,9067	237,3183	238,7233	239,0417
Струм I, А	4,5	5,61	3,84	5,82	3,5	2,44	2,75	6,99	214,3	230,9	277,3	297,5	203,7	286,4	380,3	330,8	319,9	204,1	123,8	129,4	15,58	13,14	11,07	8,17

Закінчення таблиці 3.4

Час доби, год	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Активна потужність P , кВт	1,07511	1,349869	0,9277952	1,405452	0,8465275	0,5916553	0,6657338	1,683006	50,75285	54,23152	64,97826	69,74283	47,8542	66,87244	88,72168	77,40222	75,19109	48,2568	29,41622	30,81249	3,691006	3,118363	2,642667	1,95297
Коефіцієнт потужності PF	0,653333	0,663333	0,676667	0,663333	0,633333	0,666667	0,706667	0,7	0,713333	0,696667	0,663333	0,733333	0,783333	0,713333	0,74	0,726667	0,816667	0,843333	0,843333	0,79	0,68	0,7	0,65	0,636667
Реактивна потужність Q , кВар	0,92624597	1,14844476	0,76051252	1,21021443	0,78094878	0,49672512	0,64641212	1,7427767	49,4051658	55,5828368	73,6800555	64,0815266	36,2787676	63,3342086	79,5711329	73,8570441	50,4609809	29,4708937	18,1701792	19,6760871	2,73651735	2,25238831	2,25867765	1,75241412
Повна по- тужність S , кВА	1,420245	1,772808	1,201063	1,855868	1,152576	0,773645	0,928783	2,423356	70,83175	77,65885	98,24269	94,71743	60,05441	92,10549	119,1807	106,9885	90,55814	56,54683	34,57564	36,5558	4,597921	3,850046	3,478365	2,624965

Як бачимо із таблиці 3.4 з 8:00 до 17:00 години реактивна потужність досить велика. Для компенсації реактиву використовуються компенсаторні установки з можливістю гнучкого регулювання УКРП. Зараз детально розглянемо які компенсації потужності треба для нашого об'єкту.

Порахуємо реактивну потужність з урахуванням ступенів пристрою компенсації реактивної потужності:

$$Q - 1 = Q - Q_{рн}, \text{кВар} \quad (3.7)$$

де Q – реактивна потужність об'єкту;

$Q_{рн}$ – реактивна потужність УКРП.

Для 8:00 год це дорівнює:

$$Q - 1 = 49,86689635 - 50 = - 0,13310365 \text{ кВар}$$

Повна потужність після компенсації буде дорівнювати:

$$S_p = \sqrt{P^2 + (Q-1)^2}, \text{ кВА} \tag{3.8}$$

$$S_p = \sqrt{50,75692775^2 + (-0,12210365)^2} = 50,75710227 \text{ кВА}$$

Коефіцієнт потужності, таким чином, визначиться як:

$$PF_p = P/S_p, \tag{3.9}$$

$$PF_p = 50,75692775 / 50,75710227 = 0,999996562$$

Величини для інших годин порахуємо аналогічно та занесем до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Дані потужностей та коефіцієнту потужності до та після компенсації

Час доби, год	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Активна потужність P, кВт	50,75285	54,23152	64,97826	69,74283	47,8542	66,87244	88,72168	77,40222	75,19109	48,2568
Реактивна потужність Q-1, кВар	-0,13310365	5,84878339	3,30980399	14,664086	7,9769227	15,7018426	10,6464185	23,1794565	3,13850223	0,75223698
Повна по- тужність до компен- сації S, кВА	70,83175	77,65885	98,24269	94,71743	60,05441	92,10549	119,1807	106,9885	90,55814	56,54683
Ступінь УКРП	50	50	70	50	30	50	70	70	50	30
Повна по- тужність після ком- пенсації S _p , кВА	50,7571023	54,5495549	65,0678953	71,2740114	48,518186	68,6931321	89,3633941	77,4711356	75,2616515	48,2656868

Продовження таблиці 3.5

Час доби, год	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Коефіцієнт потужності після ком- пенсації P_{Fp}	0,999999656	0,99423536	0,99870544	0,97860619	0,98639192	0,97352525	0,99287792	0,99915748	0,99913013	0,99987854

На рисунку 3.2 приведена діаграма повної потужності до та після компенсації реактивної потужності.

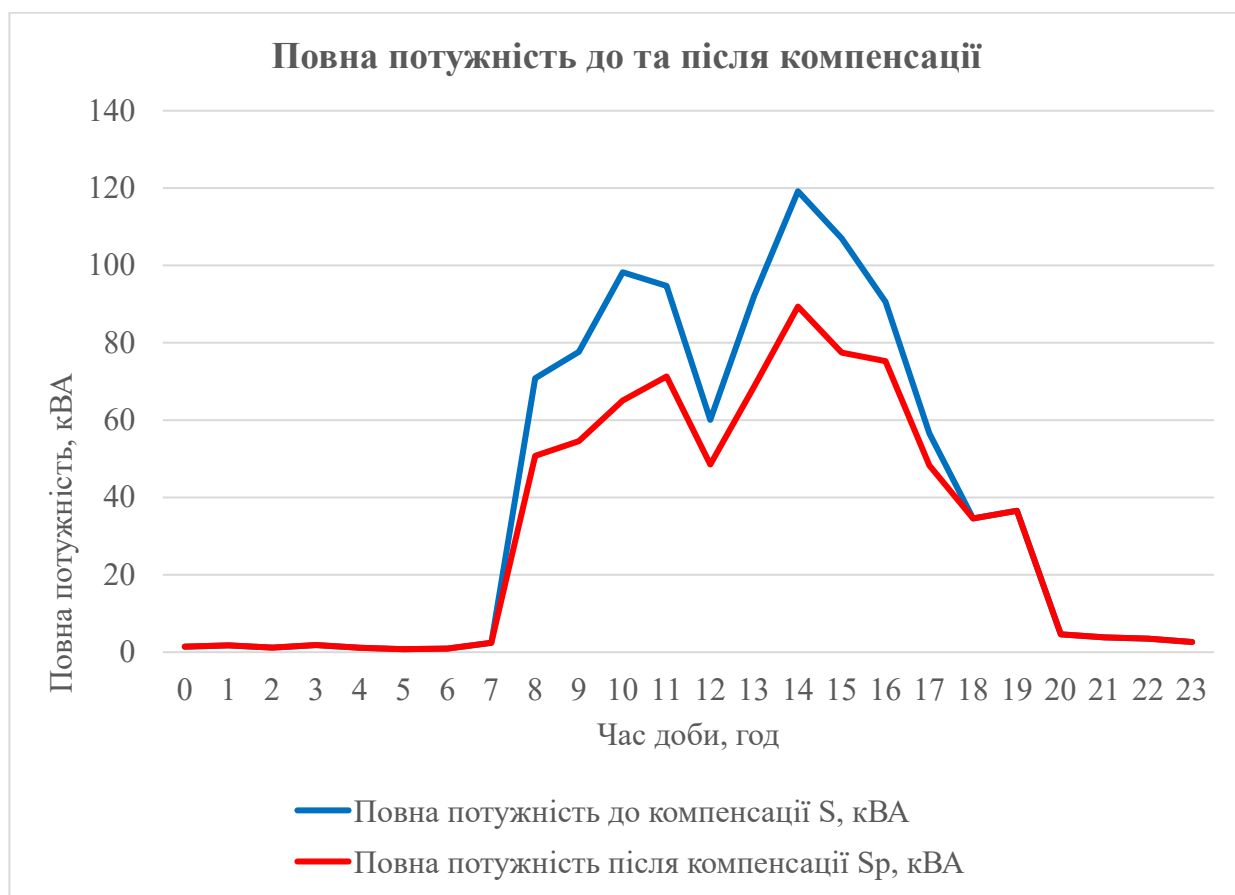


Рисунок 3.2 – Діаграма повної потужності до та після компенсації

Згідно з даними таблиці 3.5 обираємо конденсаторну установку для компенсації реактивної потужності УКРМ 0,4-70/5-10 зі ступенями: 10+10+10+20+20 [22].

При використанні компенсації коефіцієнт потужності піднімається до рівня 0,99 (див. табл.3.5).

На рисунку 3.2 ми бачимо, що в період часу з 11 до 14 години в генерації нашої ФЕС існує провал, який є проблемою з негативними наслідками, що впливає на стійкість енергосистеми та може викликати дисбаланс у енергосистемі. Крім того, значне відхилення графіка генерації від заявленого, може призвести до великих фінансових втрат.

Розглянемо можливість оперативного керування фотоелектричною станцією. Для цього необхідно створити відповідні моделі для оптимізації ФЕС. Для досягнення цього пропонується використовувати критерій оптимізації, яким буде мінімальне відхилення від прогнозованого графіка генерування [24]. Математично критерій оптимізації наведено формулою (3.10):

$$\int_{t_0}^{t_k} \Delta P_{\text{dev}}(t) dt \rightarrow 0, \quad (3.10)$$

де $[t_0, t_k]$ – період часу, за який здійснюється генерування;

ΔP_{dev} – відхилення потужності, визначається за виразом (3.11).

$$\Delta P_{\text{dev}} = P_{\text{pr}} - P_{\text{real}} \quad (3.11)$$

де P_{pr} - прогнозоване значення потужності генерування;

P_{real} - поточне значення генерованої потужності.

Відхилення потужності може набувати як додатних, так і від'ємних значень, що характеризуватиме перегенерування або недогенерування відповідно.

Згідно з цим критерієм, задачу оптимізації варто розглядати для наступних випадків:

а) Фотоелектрична станція використовується із акумуляторами енергії. Тоді можна досягнути найкращих енергетичних показників та компенсувати у повному обсязі провали генерування та піки перегенерування електричної енергії. В якості обмежень можуть виступати ємність та залишковий заряд накопичувача. Завдяки своїй гнучкості використання та високій швидкодії, ФЕС може

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

компенсувати миттєві відхилення при генеруванні, що забезпечує стабільне джерело енергії.

Недоліки такої системи – це висока вартість. Екологічність використання ФЕС ставиться під питання з огляду на потенційну шкоду накопичувачів на-вколишньому середовищу, а також проблему утилізації відпрацьованих елемен-тів накопичувачів.

б) Якщо ФЕС і стабільне ВДЕ працюють разом, то розв'язання задачі опти-мізації зводиться до оперативного керування спільною роботою ВДЕ для дося-гнення мінімального відхилення від загального графіка генерування ФЕС та стабільного ВДЕ.

Для покриття провалів у генерації електричної енергії фотоелектричними станціями доцільно використовувати стабільні відновлювальні джерела енергії (ВДЕ) з резервом потужності. Серед таких ВДЕ, які можуть працювати паралеле-льно з ФЕС на території України, можна згадати малі гідроелектростанції (МГЕС), електроустановки на базі біогазу (БГЕУ) та повітряно-акумуляуючі електростанції (ПАЕС) [25].

У такому разі провали в генеруванні ФЕС будуть покриватися шляхом резер-ву потужності МГЕС (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Графік сумісної роботи ФЕС та МГЕС

При цьому пропонується використовувати міні-ГЕС з інвертором. Використання інвертора дасть змогу забезпечити високу швидкодію регулювання та покращить енергетичні показники електроенергії.

Робота міні-ГЕС зводиться виключно на покриття провалів генерування.

В додатку А наведена однолінійна схема нашої фотоелектричної станції.

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Завдяки дослідженням, проведеним в цій роботі, можна дійти до наступного:

1) Використання енергії Сонця є перспективним напрямом для забезпечення електроенергією мешканців приватного сектору, багатоквартирних будинків та малих виробництв, паралельно з роботою електричної мережі. Включення фотоелектричних установок до систем електрозабезпечення інфраструктурних об'єктів може забезпечити часткову або повну автономність об'єкта, а також їх впровадження дозволить залучити додаткові кошти, які можливо направити на зменшення експлуатаційних витрат.

2) Зовнішні умови, особливо інтенсивність сонячного випромінювання, головним чином визначають, наскільки ефективно генерують електроенергію сонячні джерела. Сонячні панелі працюють лише вдень, коли є світло. Їх виробництво електроенергії характеризується змінним та нерегулярним режимом роботи. Інвертори фотоелектричних станцій, в свою чергу, створюють в електричній мережі додаткові коливання та генерують в мережу вищі гармоніки, тому система зазнає значних змін і її режим роботи піддається впливу.

3) У роботі було досліджено мікромережу на основі реального об'єкту з фотоелектричною станцією. Виконано розрахунки навантаження та споживання електроенергії. Це зроблено за допомогою програмного забезпечення PVsyst, яке дозволяє робити швидкі прогнози розрахунки виробництва енергії з урахуванням різного роду факторів, як то втрати в інверторах, фотоелектричних модулях, втрати за рахунок тіней і т.п. Користувачі цієї програми можуть вводити початкові дані, в залежності від їх конкретних умов розташування та робити проекти, які враховують потрібну потужність та конфігурацію електростанції.

4) З метою підвищення якості електроенергії використовується конденсаторна установка для компенсації реактивної потужності.

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5) Метод, використаний при розрахунках можливо використовувати виробничими підрозділами, які займаються проектуванням електричних мереж та впровадженням фотоелектричних станцій у ці мережі.

6) У дипломній роботі було визначено, що виробленої енергії фотоелектричної станції не вистачить для повного забезпечення об'єкту та відокремлення його від централізованого електропостачання, але можливі варіанти часткової автономії або експлуатація з метою отримання додаткових коштів, які можливо використовувати для зменшення експлуатаційних витрат.

7) У роботі було встановлено, що нестабільне генерування фотоелектричної станції може викликати дисбаланс у енергосистемі та впливати на якість електроенергії. В результаті проведеного дослідження визначено низку шляхів вирішення питання оптимізації роботи ФЕС для забезпечення мінімального відхилення від прогнозованого графіка генерування. Враховуючи такі критерії, як швидкодія, екологічність, було встановлено, що одним із найперспективніших способів оптимізації є використання сумісної роботи ФЕС із накопичувачами електричної енергії або сумісно з малими гідроелектростанціями.

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Інтернет-ресурс: URL:
<https://www.irena.org/publications/2022/Apr/Renewable Capacity Statistics 2022>
(дата звернення: 23.06.2023)
2. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» URL:
<https://ips.ligazakon.net/document/t030555?an=114> (дата звернення: 05.09.2023).
3. Сектор відновлюваної енергетики України до, під час та після війни URL:
<https://razumkov.org.ua/statti/sektor-vidnovlyuvanoyi-energetyky-ukrayiny-do-pid-chas-ta-pislya-viyny>. (дата звернення: 21.08.2023)
4. Наказ Міністерства енергетики України № 140 від 28.03.2022р.
5. Україна кидає виклик російському вторгненню та просувається до європейської енергетичної інтеграції URL:
<https://www.atlanticcouncil.org/blogs/ukrainealert/ukraine-defies-russian-invasion-and-advances-european-energy-integration/>. (дата звернення: 07.08.2023)
6. План відновлення України до 2032 року URL: <https://recovery.gov.ua/>. (дата звернення: 11.08.2023)
7. Енергія Сонця URL: <http://saee.gov.ua/uk/ae/sunenergy>. (дата звернення: 02.09.2023)
8. Постанова НКРЕКП від 31 березня 2023 року № 594 про новий "зелений" тариф на електричну енергію URL:
https://biz.ligazakon.net/news/218682_onovleno-zelen-tarifi-na-elektrichnu-energyu.
(дата звернення: 03.09.2023)
9. Microgrid-Ready Solar PV - Planning for Resiliency URL:
<https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/70122.pdf>. (дата звернення: 20.06.2023)

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

10. Smart Photovoltaic Microgrids for Cooking in Disadvantaged Communities URL: <https://www.ll.mit.edu/r-d/projects/smart-photovoltaic-microgrids-cooking-disadvantaged-communities>. (дата звернення: 02.05.2023)

11. Розумний лічильник електроенергії з WiFi D103-R1000, трифазний 1000A URL: <https://store.smart-maic.com/ua/p1332709857-umnyj-schetchik-elektroenergii.html>. (дата звернення: 25.10.2023)

12. Метод определения оптимального угла / А.Ю. Гаевский Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE) URL: <https://www.isjaee.com/jour/article/view>. (дата звернення: 11.10.2023)

13. Моя сонячна електростанція (зелений тариф) URL: http://mysolarenergyua.blogspot.com/2017/03/blog-post_30.html. (дата звернення: 28.06.2023)

14. Сонячна панель Jinko Solar JKM545M-72HL4 545Вт URL: <https://ek.ua/ua/JINKO-TIGER-PRO-JKM545M-72HL4-V.htm>. (дата звернення: 20.10.2023)

15. Міжнародні тести сонячних батарей STC і PTC URL: <https://kworum.com.ua/mizhnarodni-testi-sonjachnih-batarej-stci-ptc>. (дата звернення: 25.07.2023)

16. Відрновлювані джерела енергії / За ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.

17. Трифазний інвертор для комерційних станцій SUN2000-30KTL-M3 URL: <https://sun-energy.com.ua/solar-power/solar-inverters/huawei-sun2000-30-m3>. (дата звернення: 18.10.2023)

18. Трифазний інвертор для комерційних станцій Huawei SUN2000-100KTL-M2 URL: <https://se.net.ua/ru/product/huawei-sun2000-100ktl-m2/>. (дата звернення: 18.10.2023)

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

19. 7 найпопулярніших програм для проектування та моделювання сонячної фотоелектричної системи URL: <https://ua.dsisolar.com/info/7-most-popular-solar-pv-system-design-and-simu-34952960.html>. (дата звернення: 10.09.2023)

20. Двонаправлена Баластна Система URL: <https://kripter.ua/services/dvonapravlena-systema-shid-zahid/>. (дата звернення: 15.09.2023)

21. О.В. Кириленко, І.В. Трач Технічні особливості функціонування енергосистем при інтеграції джерел розподіленої генерації URL: <http://dSPACE.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/63716/01-Kirilenko.pdf?sequence=1>. (дата звернення: 02.11.2023)

22. Комплектні конденсаторні установки АКУ, КРМ, УКРМ 58 0.4 (0.38) URL: <https://electrocontrol.com.ua/ua/elektroshhitovoe-oborudovanie/kondensatornye-ustanovki-aku-04>. (дата звернення: 02.11.2023)

23. Облік основних засобів: капітальні інвестиції та амортизація URL: <https://osvita.ua/vnz/reports/accountant/16938/>. (дата звернення: 10.11.2023)

24. Оптимізація роботи фотоелектричних станцій для забезпечення балансової стійкості енергосистеми / Лежнюк П.Д., Бартецький А. А., Бартецька І. А. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки Том 29 (68) Ч. 2 №5 2018, - с.115-118.

25. Мокін Б.І., Чепурний М.М., Мокін О.Б. Повітряна акумулююча електростанція з двома повітросховищами різного тиску. Наукові праці ВНТУ. 2008. № 1. С. 1-7.

26. Д.О. Босий, А.В. Антонов, В.О. Дьяков, І. Ю. Потапчук, О.В. Жевжик, В.О. Перцевий Дослідження та оптимізація систем енергопостачання, навчальний посібник, магістерська робота URL: <https://drive.google.com/drive/folders/11JnojTh6W8nRDa8u3LATtOVVamzBhssc>. (дата звернення: 28.09.2023)

					02.15.EE2226.KPM.2024-ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Однолінійна схема фотоелектричної станції

