

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Розробка побутової сонячної електростанції

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

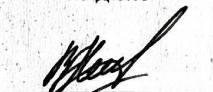
Шифр МРМА-25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу
група ЕТмз-24-1


Підпис


В. Т. Шевчук
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

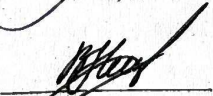
В. С. Неймак
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

О. Тимошенко
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:


Підпис, дата

В. С. Неймак
Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС

10 12 2025 р.

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень магістр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка


Шифр і назва

Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

к.т.н., доц. Неймак В.С.

 12 .2025р.

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Шевчук Владислав Тарасович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка побутової сонячної електростанції

керівник роботи Неймак Віталій Станіславович, к.т.н., доцент

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

Затверджено наказом ректора університету від 25 08 2025 р. № 65

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 10.12.2025

3. Вихідні дані до роботи технічні характеристики фотоелементів

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

Вступ. 1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. 2. Розробка конструкції побутової сонячної електростанції 3. Розрахунки елементів конструкції побутової сонячної електростанції. Перелік джерел посилання.

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

1. Типи використання сонячних електростанцій (ДО, А1). 2. Відновлювані джерела енергії (ДІ, А1). 3. Дах сонячний (МК, А1). 4. Побутова геліоелектростанція (Е3, А1). 5. Побутова геліоелектростанція (Е4, А1). 6. Інверторно-контролюючий пристрій (Е4, 2А2).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Огляд та аналіз існуючих з технологічних та технічних рішень тематики магістерської роботи.	до 30.10.25р.	
2. Розробка конструкції побутової сонячної електростанції	до 10.11.25р.	
3. Розрахунки елементів конструкції побутової сонячної електростанції	до 20.11.25р.	
4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	до 12.12.25р.	

Студент _____

Керівник роботи _____


Підпис _____


Підпис _____

В.Т. Шевчук
Ініціали, прізвище

В.С. Неймак
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи студента
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка».


1. Прізвище, ім'я та по батькові Шевчук Владислав Тарасович

2. Тема магістерської роботи Розробка побутової сонячної електростанції

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 6 арк., сторінок записки 70

5. Основними стримуючими факторами для розвитку альтернативної енергетики є висока ціна видобутої енергії, обумовлена високою вартістю обладнання (фотоелементів, вітрових турбін) та достатньо тривалим терміном окупності (для фотоелементів – близько 5 років, для вітряних агрегатів – близько 2-3-х років, залежно від природних умов у місці розташування агрегатів). Тому найважливішою проблемою – є заохочення розвитку відновлюваних джерел енергії, щоб зробити їхню частку в загальному обсязі поставок більш значною. В даній магістерській роботі було поставлено задачу розробити побутову сонячну електростанцію. В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам. В першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень з тематики магістерської роботи. В другому розділі здійснюється розробка конструкції побутової сонячної електростанції. В третьому розділі проведено розрахунки елементів конструкції побутової сонячної електростанції.

Підпис студента 
" 10 " 12 20 25 р.


РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 5 від " 29 " 12 20 25 р.

Оцінка проекту ЕК Відмінно / А / 100

Рекомендації ЕК впровадження у виробництво



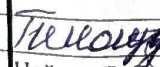

Особливі відмітки -

Технічний секретар Безрук А.В. 

" 29 " 12 20 25 р.

ЗМІСТ

Вступ	с. 5
1 Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень із тематики магістерської роботи	11
1.1 Розвиток відновлюваних джерел енергетики в світі та Україні.....	11
1.2 Сонячна електроенергетика	16
1.3 Роль відновлюваної енергетики в охороні навколишнього середовища	43
Висновки до першого розділу	48
2 Розробка конструкції побутової сонячної електростанції	49
2.1 Опис конструкції побутової сонячної електростанції	49
2.2 Визначення параметрів ланцюга споживання	51
2.3 Опис принципової схеми фотоелектричної системи	53
Висновки до другого розділу	56
3 Розрахунки елементів конструкції побутової сонячної електростанції	57
3.1 Визначення параметрів інвертора	57
3.2 Визначення параметрів акумуляторної батареї	57
3.3 Визначення параметрів фотоелектричних модулів	58
3.4 Опис функціональної схеми	59
3.5 Розрахунок та вибір блоків ФЕС	61
Висновки до третього розділу	64
Загальні висновки	66
Перелік джерел посилання	67

МРМА 25.00.00.000 ПЗ								
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Шевчук В.Т.			Розробка побутової сонячної електростанції	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Неймак В.С.				М	5	60
Н.контр.					ХНУ гр.ЕТМз-24-1			
Затвер.		Неймак В.С.						

необхідно проаналізувати останні вагомі події, які дають змогу оцінити поточний стан розвитку галузі у світі та ставлення міжнародної спільноти до відновлюваної енергетики. Це також допоможе адекватно зважити сучасне становище та майбутні перспективи цієї сфери в Україні.

Експлуатація енергетичних ресурсів, що поновлюються, несе значну кількість переваг, серед яких домінуючими є їхня практична нескінченність та екологічна бездоганність. Це сприятливо позначається на загальному стані довкілля на планеті, оскільки не призводить до дестабілізації енергетичного балансу біосфери. Якщо говорити про відновлювані джерела електропостачання, то вони також мінімізують негативний вплив від видобутку, переробки та доставки звичайного палива, а також усувають необхідність утилізації великих обсягів небезпечних субстанцій, що утворюються при традиційному енерговиробництві [2, с.11].

Якщо простежити зміну загальної потужності вітрових електростанцій упродовж минулих десятиліть, чітко видно тенденцію до її подвоєння кожні три роки. Прикметно, що світові фінансові спади майже не відбивалися на розвитку цього напрямку.

У світі, протягом останніх п'яти років, вливання капіталу у «зелену» енергетику піднялося на 230%. За період дворіччя 2018–2019 років обсяг інвестицій у цю сферу від країн «Великої двадцятки» становив приблизно 32 мільярди доларів щокварталу. Інвестиції у «чисті» енергетичні рішення за цей час у світі вперше в історії перевершили обсяги вкладень у створення традиційних енергетичних потужностей. Протягом 2019 року обсяг генерації електроенергії з використанням відновлюваних джерел зріс і досяг показника у 250 ГВт.

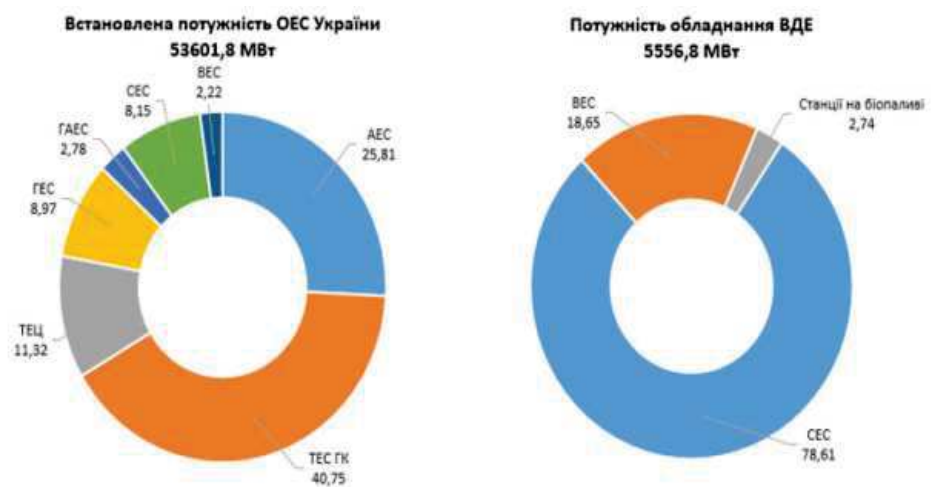
За останні п'ять років у світі спостерігається приблизно 60-відсоткове щорічне збільшення обсягів генерації сонячної електроенергії та 27-відсоткове приросту вітрової. Варто також звернути увагу на поширення за-

ніцію альтернативної енергетики як галузі, що займається виробництвом електричної, теплової та механічної енергії з нестандартних джерел, а альтернативні енергоресурси визначено як відновлювані джерела, куди відносять сонячну, вітрову, геотермальну енергію, енергію морських хвиль та припливів, гідроенергію, енергію біомаси, газ, отриманий з органічних відходів, та подібні [4].

П'ятнадцятого березня дві тисячі шостого року Кабінет Міністрів України затвердив «Енергетичну стратегію України до 2030 року». Цей документ розглядає нетрадиційні та відновлювані джерела електроенергії як вагомий фактор у зниженні антропогенного тиску на довкілля та посиленні енергетичної самодостатності держави. Альтернативна енергетика є суттєвим елементом у покращенні загальносвітової екологічної ситуації та у протидії кліматичним змінам на планеті. З огляду на це, розвиток цієї сфери в Україні має відбуватися з урахуванням міжнародного досвіду, а стратегічні підходи та методи планування у цьому сегменті повинні підтримувати глобальні зусилля, спрямовані на оздоровлення довкілля. Це підкреслює не лише значну загальнодержавну, а й міжнародну важливість реалізації потенціалу альтернативної енергетики в Україні. Позитивним моментом буде узгодженість українського законодавства з основними засадами «Європейської стратегії сталої, конкурентоспроможної та безпечної енергетики», прийнятої у Брюсселі у дві тисячі шостому році. Згадана стратегія передбачає сприятливі наслідки від розвитку відновлюваних джерел енергії [5].

Хоча частка використання відновлюваних енергоджерел у загальному обсязі виробництва енергії наразі невелика, Україна володіє значним, у кілька разів більшим за власне споживання, потенціалом у цій галузі. Проте, у сучасному українському контексті не простежується тенденція до заміщення традиційної енергетики альтернативною у найближчому майбутньому. Крім того, держава суттєво залежить від імпортованих енергоресурсів, включ-

із очищених стічних вод та біогаз. При цьому дається роз'яснення щодо термінів: аеротермічна енергія – це тепло, що виділяється з атмосферного повітря; геотермальна – тепло, видобуте з-під земної поверхні; гідротермальна – тепло, отримане з поверхневих водних об'єктів; біомаса – це біологічна складова продукції, відходів та залишків біологічного походження із сільськогосподарства, включно з рослинними та тваринними субстанціями, лісового господарства та суміжних сфер, як-от рибальство та аквакультура, а також біологічна частина промислових і побутових відходів [7, 8].



АЕС – це атомні електростанції, тоді як ТЕС та ГК – це теплові електростанції; ТЕЦ розшифровується як теплоелектроцентралі. ГЕС позначають гідроелектростанції, а ГАЕС – гідроакumuлюючі електростанції. СЕС та ВЕС – це сонячні й вітряні електростанції відповідно.

Схема 1.1 – Обсяг встановленої потужності джерел електроенергії в Україні, зведений за даними на квітень 2025 року.

Не існує єдиного, універсального визначення поняття "альтернативні джерела енергії". У сфері міжнародного права можна зустріти низку термінів для позначення цієї категорії, зокрема: "відновлювані", "нові", "альтернативні" джерела. Європейський Союз, у своїй практичній діяльності, опе-

3) якщо екологічні стандарти безпеки та вплив застосування нетрадиційних паливних ресурсів на довкілля та здоров'я людини відповідають законодавчо визначеним в Україні вимогам для звичайних видів палива.

Таким чином, вже закладено фундамент для подальшого прогресу нетрадиційної енергетики в Україні, і значний досвід закордонних країн має допомогти у виборі оптимальних шляхів стимулювання задля досягнення енергетичної незалежності та поліпшення стану довкілля.

На сьогодні одним із ключових чинників, що сприяють розширенню використання та розвитку нетрадиційних енергоносіїв, є суттєве зниження собівартості апаратури завдяки інтеграції найновіших досягнень у науці та техніці. Ця обстановка підвищує економічну вигоду та рентабельність застосування відновлюваних джерел енергії.

Окремі методи використання відновлюваних енергоресурсів, як-от геотермальна та гідроенергетика, вже тривалий час є доволі поширеними та конкурентоздатними, проте простежується виразна тенденція до нарощування обсягів виробленої електроенергії за рахунок сонячної та вітрової енергії, що є наслідком впровадження інноваційних рішень та зростання привабливості цього сектору.

Інвестори тепер менш схильні вважати цю сферу винятково такою, що потребує надмірних фінансових інвестицій. Це пов'язано з тим, що завдяки державній допомозі у низці держав навіть рядові домогосподарства можуть дозволити собі облаштування, приміром, сонячних генеруючих установок та отримувати зиск від продажу надлишків згенерованої потужності до загальної мережі.

На додаток до здешевлення виробництва енергії з відновлюваних джерел, слід звернути увагу й на напрямок зменшення витрат на її зберігання. Це стало реальністю завдяки суттєвому падінню цін на виготовлення літій-іонних батарей. Прогнозується, що ця тенденція збережеться протягом

ності відбувається різноманітними методами, серед яких найбільш поширеними є фотоелектричні модулі. Останні здатні трансформувати сонячне випромінювання у практично застосовну електроенергію. Окрім застосування ФЕ-систем для генерації струму, сонячна енергія часто залучається у теплових проєктах: для обігріву будівель або підігріву рідин. Власники як приватних, так і ділових об'єктів нерухомості мають змогу монтувати сонячні установки для нагріву води та проєктувати свої споруди, враховуючи принципи пасивного сонячного обігріву, аби скористатися усіма перевагами сонячної технології.

Фотоелектрична панель (інакше – сонячний модуль) формується з послідовності кремнієвих комірок, металевого остову, захисного скляного покриття та електричних провідників, призначених для відведення струму від кремнію. Кремній — це хімічний елемент, який не є металом, але має певні провідні характеристики, що дає йому здатність поглинати сонячне світло та перетворювати його на корисну електричну енергію. Коли промені потрапляють на кремнієву комірку, це змушує електрони рухатися всередині кремнію, тим самим започатковуючи проходження електричного струму. Цей феномен відомий як "фотогальванічний ефект" і він лежить в основі функціонування сонячних панелей [12].

Суть науки про отримання електроенергії від сонця через панелі криється у фотоелектричному явищі. Його вперше зафіксував Едмон Беккерель ще 1839 року, і його можна трактувати як здатність певних речовин (званих напівпровідниками) генерувати електричний струм під впливом сонячного проміння.

Справу було зрушено з мертвої точки в 1954 році, коли Bell Labs створили першу фотоелектричну комірку на основі кремнію. Хоча сонячне тепло й раніше збирали та перетворювали на корисну енергію різними спо-

проміння в електричний струм, використовуючи фотоелектричний ефект (див. Ілюстрацію 1.3).

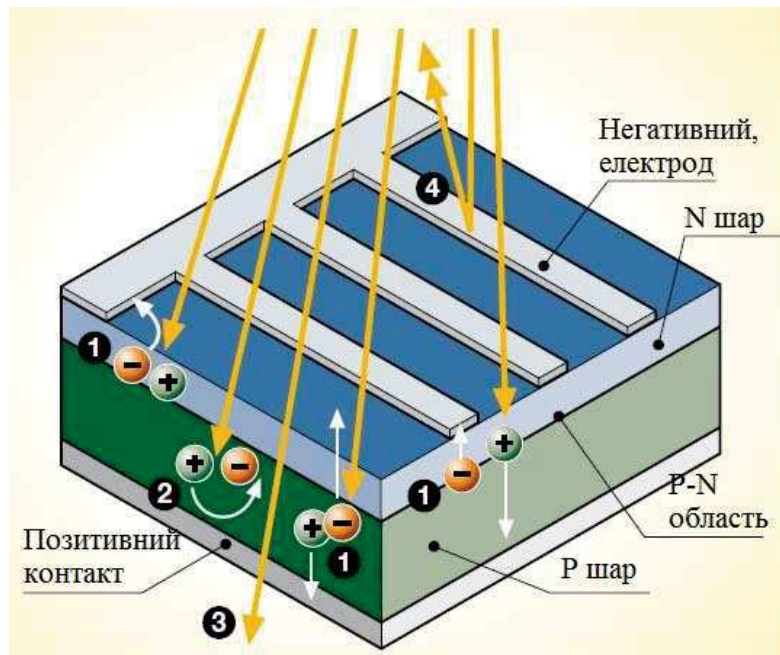


Рисунок 1.3 – Фотоелектричний ефект

Фотогальванічний ефект являє собою явище, коли сонячне світло, що потрапляє на фотоелектричний модуль, поглинається напівпровідниковим складником, наприклад, кремнієм кристалічної структури. Фотонна складова сонячного випромінювання вивільняє електрони з їхніх атомних зв'язків, уможливлуючи їхній безперешкодний рух у межах матеріалу, що генерує електричний струм постійної спрямованості (постійного струму). Для забезпечення потреб домогосподарств або загальнокомунальних систем потрібен інвертор, здатний трансформувати цей постійний струм у змінний (змінного струму). Поодинокі фотоелементи згруповані у складі сонячної панелі. Поверхня сонячної батареї захищена скляним покриттям або спеціальною плівкою для убезпечення елементів від потенційних дефектів. Сучасні розробки дають змогу монтувати сонячні модулі на гнучкій основі, котра зазвичай виготовляється з алюмінію, та покривати їх полімерною плівкою, що сприяє зниженню загальної ваги та собівартості панелі. Такі тон-

вих наразі перебуває на етапах проєктування та зведення. Хоча у сфері концентраційних сонячних установок (КСУ) застосовується кілька різних технічних рішень, спільним для всіх є принцип: відбиття сонячного випромінювання з концентрацією його на матеріалі, що має високу теплоємність, через який циркулює теплоносій. Цей матеріал, котрим зазвичай виступає або синтетичне мастило, або розплавна сіль, акумулюється у сховищі тепла і згодом іде на виробництво пари, яка вже обертає стандартні генератори [13].

Кожна система КСУ (Концентрована Сонячна Потужність) включає в себе поля дзеркал. Найперший тип КСУ-технології, що використовується й досі, базується на параболічних жолобах — протяжних вигнутих дзеркалах, які переміщуються, слідуючи за рухом сонця, і спрямовують концентроване тепло на трубу, розташовану перед дзеркалом. Це спричиняє стрімке зростання температури теплоносія, який, своєю чергою, перетворює воду на пару, що приводить у рух турбіну (схема 1.5) [13].

Diagram 2. Parabolic trough solar power plant

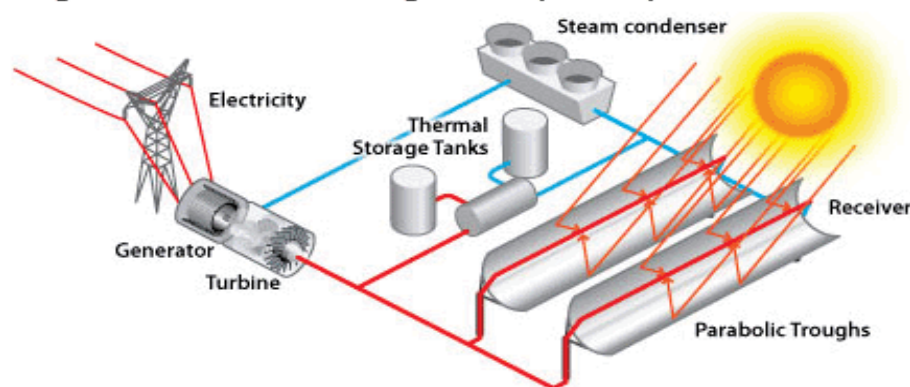
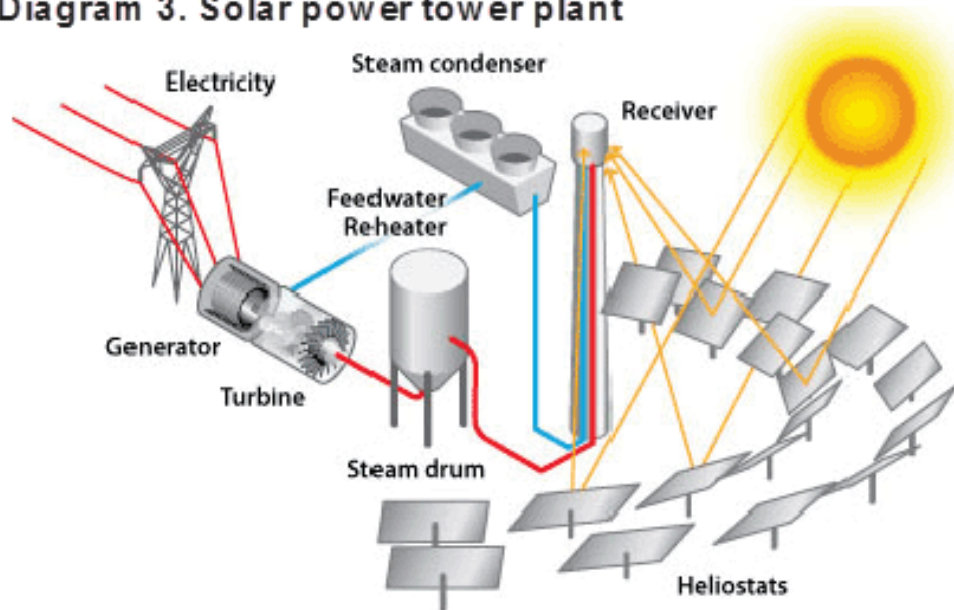


Рисунок 1.5 – Схема роботи параболічних концентраційних сонячних станцій

Сонячні електростанції вежового типу являють собою ще один варіант технології CSP. Вперше їх застосували на дослідних об'єктах у пустелі Каліфорнії у вісімдесятих та дев'яностих роках минулого століття. Суть роботи таких станцій полягає у використанні значних площ плоских відбива-

чів — геліостатів, — чиї промені сфокусовані на верхівці спеціальної вежі. На цій вежі вміщено резервуар, найчастіше чорного кольору, наповнений теплоносієм. Цей теплоносій потім закачується до накопичувачів, здатних утримувати теплову енергію протягом доби. Далі він прямує у теплообмінник, де відбувається процес пароутворення, що, у свою чергу, приводить у рух електричні генератори (схема 1.6).

Diagram 3. Solar power tower plant



Мал. 1.6 – Пристрій роботи сонячних генеруючих установок вежового зразка

Параболічні сонячні енергетичні установки функціонують за подібним до вежових СЕС принципом отримання електрики, проте їхня конструктивна будова відрізняється. Установку утворюють відокремлені блоки. Кожен такий блок являє собою стійку, на якій змонтовано дзеркало параболічної конфігурації, що нагадує супутникову антену й спрямовує тепло на приймач, розміщений над серединою диска. (мал. 1.7).

Diagram 4. Solar dish power plant

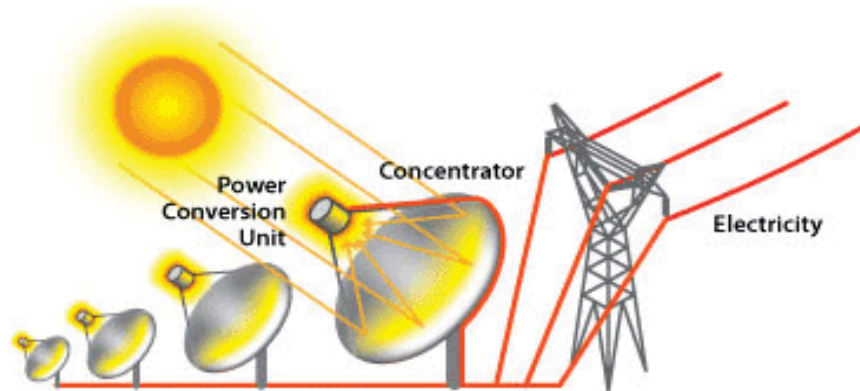


Рисунок 1.7 - Сонячна установка тарілчастого типу

Теплоносій у колекторі розігрівається до позначки 1000°C , і ця тепла енергія перетворюється на електричну за допомогою двигуна Стерлінга чи установки, яка працює за циклом Брайтона. Зазначені дзеркала можуть мати діаметр до двох метрів, а їхня загальна кількість сягає кількох десятків штук.

Технологія лінійної системи Френеля також належить до сонячних електростанцій. За принципом дії ця система схожа на параболічний жолоб, проте тут задіяно низку плоских дзеркал. Вони спрямовують сонячне проміння на блок із труб, що дає змогу підвищити температуру робочої рідини (див. Малюнок 1.8).

Diagram 5. Linear Fresnel solar power plant

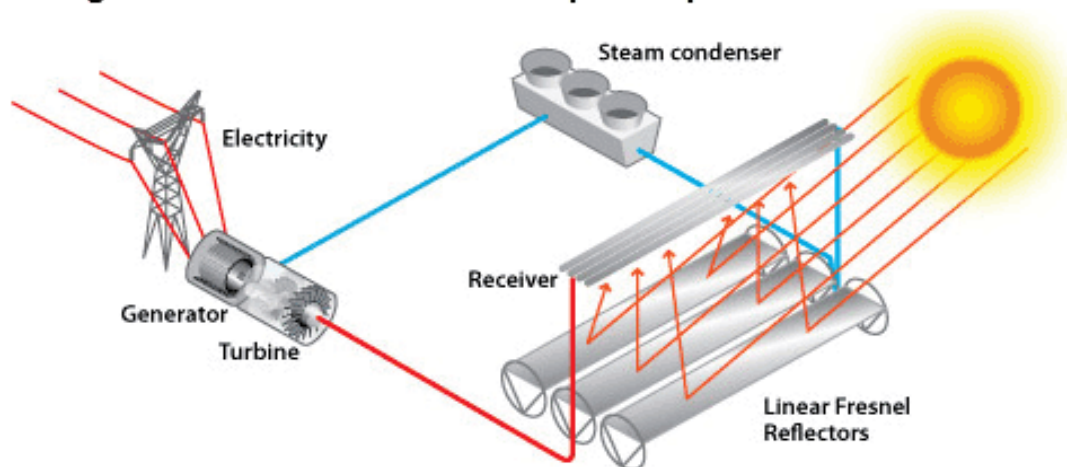


Рисунок 1.8 – Лінійна система Френеля

Головна перевага використання системи Френеля – це значно менша вартість виробництва плоских дзеркал порівняно з тими, що мають криволінійну форму [13].

Щодо сонячних електростанцій на базі аеростатів, то вони демонструють найвищий рівень енергоефективності серед усіх подібних установок, маючи здатність акумулювати до 97% сонячного випромінювання. Крім того, ці об'єкти потребують порівняно невеликих площ на землі, оскільки апаратура, розміщена на поверхні, займає скромну територію, тоді як громіздка частина – аеростат з фотоелектричною сферою – знаходиться у повітрі. Ця повітряна конструкція здатна практично повністю поглинати сонячне світло у будь-який час доби та за будь-яких погодних умов, завдяки можливості змінювати висоту підйому чи спуску відповідно до потреби

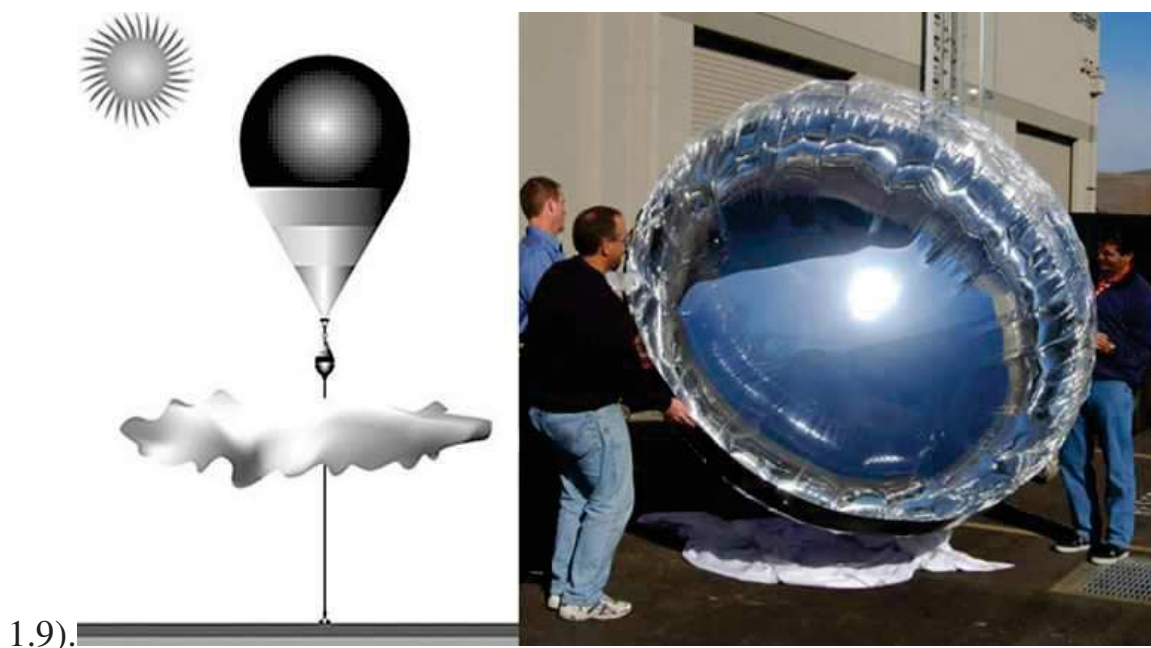


Рисунок 1.9 – Аеростатна сонячна електростанція

Слід особливо зауважити, що розміщення подібних генеруючих об'єктів не обмежується лише земною поверхнею чи водною гладдю. Китайський науковець Ван Лі висунув гіпотезу про застосування такого типу електростанцій у гірській місцевості Тибету, де аеростатні балони розміщувалися

потужностей потребує менше землі). Однак зведення сонячних станцій такої величини здатне спричинити зміни у мікрокліматичних умовах довкілля. З огляду на це, переважно монтуються фотоелектричні установки потужністю від 1 до 2 МВт поблизу місць споживання, а інколи навіть індивідуальні чи пересувні системи.

На потужних сонячних електростанціях фотоелементи розміщують на висоті 1,8–2,5 метра, що дає змогу використовувати землю під ними для аграрних потреб, наприклад, для випасу худоби. Питання виділення великих площ для СЕС також знімається, якщо застосовуються сонячні аеростатні станції, які придатні для розміщення як на суші, так і на морі чи на значній висоті.

Інтенсивність сонячної енергії, що потрапляє на фотоелемент, встановлений під найкращим кутом, варіюється залежно від географічної широти, пори року та кліматичних умов, і може вдвічі відрізнятись на освоєних територіях суходолу (а з урахуванням пустелі Сахара – до трьох разів). Атмосферні ефекти (хмарність, туман, пил тощо) не лише трансформують спектр та потужність сонячного випромінювання, яке досягає поверхні Землі, а й змінюють співвідношення між прямою та розсіяною радіацією, що істотно впливає на певні типи СЕС, зокрема ті, що використовують концентратори чи елементи з широким діапазоном перетворення.

Сонцедаїні перетворювачі працюють найвправніше у денний час, їхня продуктивність знижується у ранкові та вечірні години сутінків. При цьому, якраз на вечір припадає найбільше споживання електроенергії. Додатково, обсяг виробленої енергії може значно і непередбачувано коливатися через погодні зміни. Для вирішення цих недоліків на сонячних електростанціях впроваджують потужні електричні накопичувачі, які спрямовують накопичену енергію на інші види перетворення, наприклад, зведення гідроакumuлюючих установок, які займають великі площі.

Існує три ключові категорії СЕС, відмінності між якими визначаються головним чином їхньою природою, методом експлуатації та першочерговою функцією, яку вони покликані реалізувати: мережеві, острівні (автономні) та комбіновані (гібридні) системи [МРМА 25.00.00.000 ДО].

Сонячні електростанції, підключені до мережі. Архітектура таких установок включає мережевий інвертор сонячної енергії, фотоелектричні панелі, розподільчий вузол із захистом від імпульсних перенапруг (блискавок), двонаправлений прилад обліку, системи фіксації (виготовлені з алюмінію чи хрому), а також необхідний набір додаткових компонентів та елементів для забезпечення зв'язку споживачів із загальнодоступною електричною мережею (ЗЕМ). Принцип функціонування цього типу сонячної установки показано на ілюстрації 1.10.

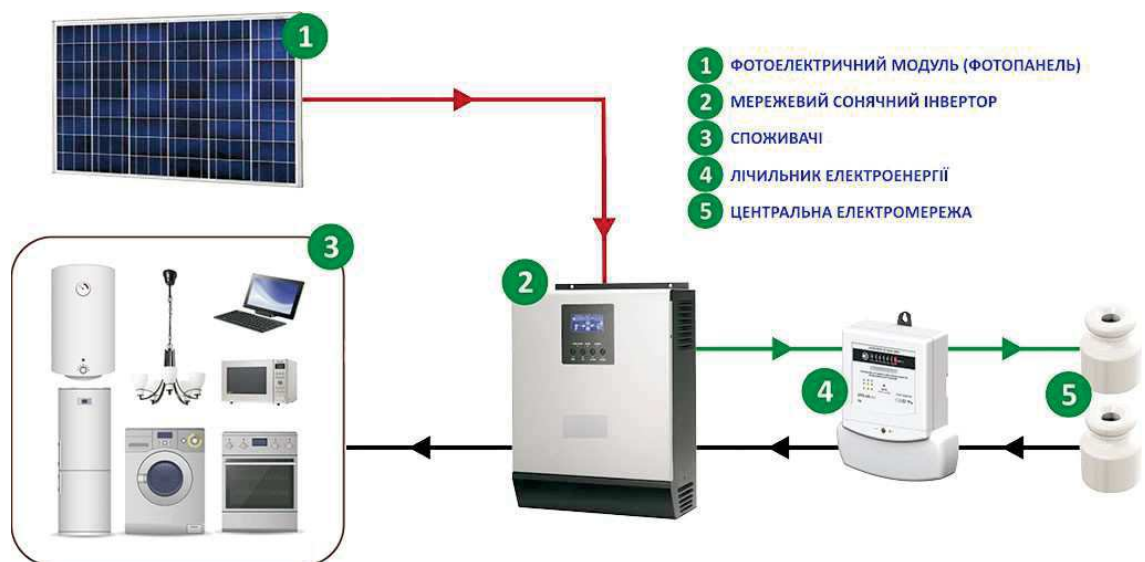


Рисунок 1.10 - Мережева сонячна електростанція .

Ключовою особливістю сонячних генеруючих установок, що працюють паралельно з мережею, є можливість збувати вироблену енергію за спеціальним "Зеленим тарифом" (ЗТ). Проте, в першу чергу, вироблена електрична енергія спрямовується для задоволення актуальних потреб самого споживача.

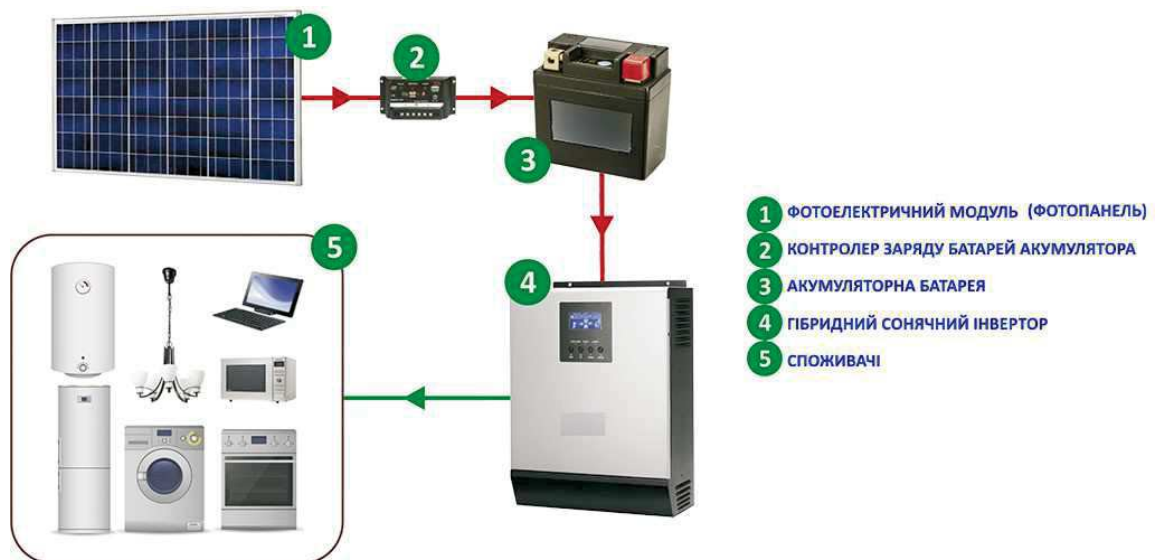


Рисунок 1.11 - Автономна сонячна електростанція.

Сонячні електростанції, що функціонують ізольовано та складаються лише із сонячних модулів, не здатні гарантувати цілковиту незалежність, попри те, що назва може вказувати на протилежне.

У зимовий період генерація сонячної енергії на території України падає у чотири-п'ять разів. Для досягнення абсолютної автономії сонячної електростанції (СЕС) потрібно інтегрувати додатковий генератор із функцією автоматичного старту, або ж вітрогенератор, що забезпечить безперербійне функціонування незалежної СЕС у темну пору доби.

Гібридні сонячні електростанції. Наявність накопичувачів енергії (аккумуляторних батарей) зменшує ступінь залежності від центральних електромереж. Найчастіше такі СЕС застосовуються як ключовий елемент системи безперербійного живлення у локаціях, де відзначається нестабільність муніципального електропостачання. Принцип функціонування цього різновиду СЕС відображено на ілюстрації 1.12.

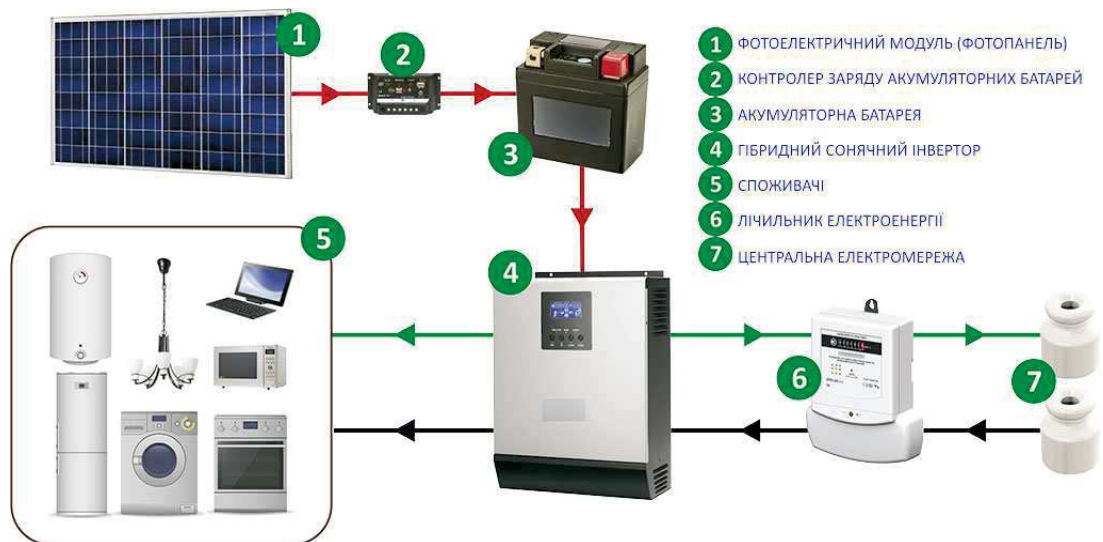


Рисунок 1.12 - Гібридна сонячна електростанція.

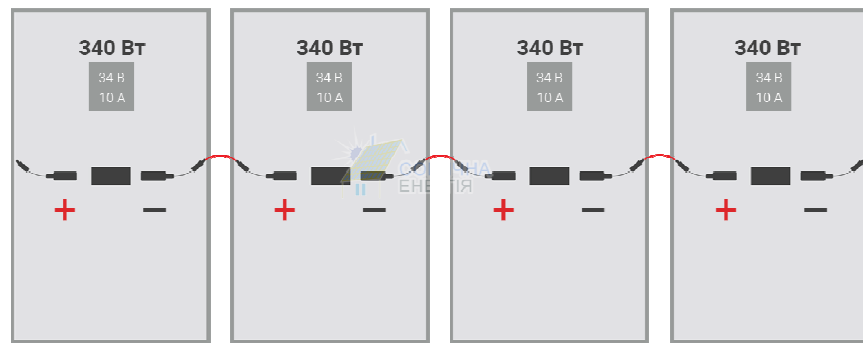
Характерною рисою функціонування сонячних електростанцій гібридного типу є здатність акумулювати добуту електричну енергію в сховищах (аккумуляторних батареях) з метою її подальшого споживання, коли зовнішнє живлення недоступне. Основною вадою вважається відносно висока ціна комплектації (унаслідок ємності аккумуляторів та специфічних інженерних рішень інвертора: наявності інтегрованого зарядного блоку та типу контролера, а також опції реалізації виробленої енергії за «зеленим тарифом»).

Гібридні сонячні системи можуть забезпечити оселі високим ступенем енергетичної самостійності, гарантуючи необхідну зручність у випадках збоїв електромережі.

Механізм дії гібридних СЕС охоплює наступні ключові аспекти:

1. Взаємодія із загальною мережею (зарядження аккумуляторів від мережі при дефіциті сонячної інсоляції);
2. Комплексна робота з паливними генераторами або вітрогенераторами;
3. Накопичення згенерованої електрики, що уможливорює її використання у темний час доби, забезпечуючи тим самим економічний ефект;

ПОСЛІДОВНЕ ПІДКЛЮЧЕННЯ ПАНЕЛЕЙ



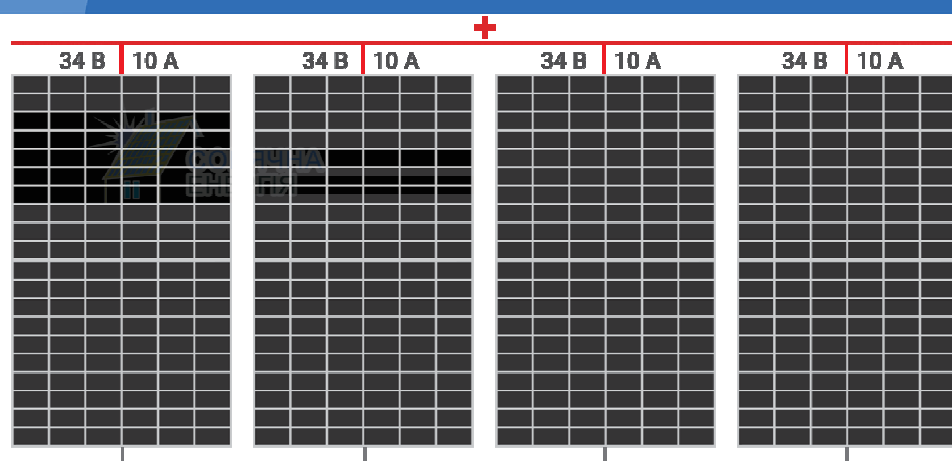
$$U_{\text{sum}} = U_1 + \dots + U_4 = 136 \text{ В} \quad I_{\text{sum}} = I_1 = \dots = I_4 = 10 \text{ А}$$

Рисунок 1.13 - Послідовне з'єднання СП

Коли декілька модулів з'єднані послідовно, сумарна напруга буде сумою напруг кожного з них. При цьому загальний струм системи визначатиметься найменшим струмом серед усіх панелей. Саме тому не варто з'єднувати послідовно модулі, струми максимальної потужності яких відрізняються, адже вони не зможуть віддавати всю свою номінальну потужність.

2) З'єднання сонячних панелей (СП) паралельно (схема 1.14)

ПАРАЛЕЛЬНЕ ПІДКЛЮЧЕННЯ ПАНЕЛЕЙ



$$U_{\text{sum}} = U_1 = \dots = U_4 = 34 \text{ В} \quad I_{\text{sum}} = I_1 + \dots + I_4 = 40 \text{ А}$$

Рисунок 1.14 – Паралельне з'єднання СП

У разі такого способу підключення, напруга на виході від кожної окремої панелі буде однаковою і відповідатиме загальній напрузі системи панелей. При цьому струми від усіх панелей додаватимуться. Такий варіант конфігурації дає змогу наростити загальний струм від панелей, не підвищуючи при цьому напругу.

3) Змішане (серійно-паралельне) з'єднання сонячних панелей (СП).

Цей останній вид з'єднання поєднує в собі характеристики двох попередніх. Використовуючи таку схему об'єднання панелей, з'являється можливість гнучко налаштовувати як напругу, так і струм на виході із сукупності кількох панелей, що дає змогу досягти найбільш вдалого робочого режиму для всієї сонячної електростанції (СЕС).

Загальну ефективність СЕС оцінюють на основі її максимальної потужності, вимірюваної у ватах постійного струму (Вт), що досягається в умовах стандартних випробувань.

Стандартні умови, за якими проводяться випробування, встановлюються такими параметрами: робоча температура фотоелемента становить 25 °С (77°F), інтенсивність сонячного випромінювання сягає 1000 Вт/м², а спектральна щільність випромінювання відповідає коефіцієнту повітряної маси 1,5.

1.2.2 Сонячна енергетика, перспективи розвитку

Скорочення викидів вуглекислого газу CO_2 є наріжним каменем прискореного світового зсуву від кліматично шкідливих копалин до екологічно чистих, регенеративних енергоносіїв. Невпинне нарощування потужностей сонячної фотоелектричної (ФЕ) енергетики є невід'ємною складовою цієї планетарної трансформації енергетики.

Окрім досягнення цілей Паризької угоди, джерела відновлюваної енергії є критично важливими для пом'якшення забруднення повітря, покращення здоров'я та загального добробуту населення, а також гарантування фінансово доступного енергозабезпечення у світовому масштабі.

Прискорене впровадження сонячних генеруючих об'єктів, у комбінації із суттєвою електрифікацією, здатне забезпечити 21% зниження викидів CO_2 (що еквівалентно майже 4,9 мільярда тонн щорічно) до 2050 року. До середини століття сонячна генерація може задовольнити чверть світових потреб в електроенергії, обійшовши більшість інших джерел, поступаючись лише вітровій енергетиці.

Глобальний нарощування сумарної сонячної потужності очікується майже у шість разів протягом наступного десятиліття: від загального показника 480 ГВт у 2018 році до 2840 ГВт до 2030 року, і далі до 8519 ГВт до 2050 року — це зростання, що становить майже вісімнадцятикратне збільшення порівняно з рівнем 2018 року та перевищує існуючі потужності у 18 разів, досягнувши позначки понад 8000 гігават до середини століття [16].

Азійський регіон збереже провідну позицію у впровадженні сонячних фотоелектричних систем, відповідаючи за понад 50% нових встановлюваних потужностей, далі йтимуть Північна Америка (20%) та Європа (10%).

Витрати на спорудження сонячних електростанцій, які вже зараз у світовому вимірі є нижчими за граничну вартість традиційних енергоносіїв, матимуть тенденцію до подальшого зниження протягом прийдешніх десятиліть.

Очікується, що у глобальному розрізі середньорічні вкладення коштів у розвиткову базу сонячної фотоелектрики зростуть на 68% від поточного рівня до 2050 року (його прогнозований обсяг – 192 мільярди доларів США щорічно). Для порівняння, у 2018 році річні інвестиції у цю сферу сягнули 114 мільярдів доларів США. Загальна вартість облаштування сонячних фо-

Річний приріст потужності сонячної фотоелектрики, що зростає майже утричі, має досягти 270 ГВт на рік до 2030 року, а до 2050 року – зрости чотириразово (до 372 ГВт на рік) порівняно із поточними показниками (94 ГВт у 2018 році). Завдяки своїй модульності та розподіленому характеру, технологія сонячної фотоелектрики підходить для широкого спектру автономних (off-grid) застосувань та адаптується до локальних умов. Протягом останнього десятиліття (2008–2018 рр.) глобально встановлена потужність позамержевих сонячних ФЕС зросла більш ніж у десять разів – приблизно з 0,25 ГВт у 2008 році до майже 3 ГВт у 2018 році, що робить цю технологію ключовою для забезпечення повної енергетичної доступності та досягнення цілей сталого розвитку [17].

Середня розрахункова вартість генерації електроенергії протягом усього життєвого циклу (LCOE) для сонячних фотоелектричних систем вже є конкурентоспроможною щодо усіх джерел, заснованих на викопному паливі, і очікується, що вона продовжить знижуватися паралельно зі зменшенням капітальних витрат та підвищенням продуктивності. У світовому масштабі LCOE для сонячної фотоелектрики продовжуватиме падати з середнього рівня 0,085 дол. США за кіловат-годину (кВт-год) у 2018 році до діапазону від 0,02 до 0,08 дол. США / кВт-год до 2030 року.

1.3 Роль відновлюваної енергетики в охороні навколишнього середовища

Кожне джерело енергопостачання залишає певний слід на нашій планеті. Ресурси, отримані із залишків викопних речовин — вугілля, нафти та газу — спричиняють значно серйозніші наслідки для екології, ніж енергія з поновлюваних джерел. До таких негативних ефектів відносять забруднення повітряних мас та водойм, шкоду для здоров'я людей, знищення флори і

фауни та їхніх природних оселищ, споживання водних ресурсів, використання земельних площ та емісії газів, що спричиняють парниковий ефект. Проте, навіть енергія з відновлюваних джерел, як-от вітрова, сонячна, геотермальна, біомаса та гідроенергетика, неминуче впливає на природу, і деякі з цих впливів можуть бути вельми відчутними.

Конкретний характер та ступінь цього впливу на природу залежить від обраної технології, місцевості, де вона розгорнута, а також низки інших чинників. Усвідомлюючи наявні та потенційні екологічні виклики, пов'язані з кожним із відновлюваних способів отримання енергії, ми матимемо змогу вживати дієвих кроків для успішного запобігання або зменшення цих ефектів, особливо зважаючи на те, що частка електроенергії, яку вони генерують, неухильно зростає.

Далі сфокусуємося на детальнішому аналізі їхньої дії на навколишнє середовище.

Енергія вітру. Застосування сили вітру належить до рівня найбільш екологічно чистих та довговічних методів генерації електрики, адже таке виробництво не спричиняє отруйних забруднень чи викидів, що ведуть до глобального потепління. Вітер як джерело живлення є невичерпним, стабільним та завжди поряд, що перетворює його на життєздатний і широкомасштабний замітник палива, отриманого з надр.

Проте, попри неабиякий потенціал, у сфері виробництва вітрової енергії скупчується низка екологічних наслідків, які потребують усвідомлення та зменшення їхнього впливу. Серед них — проблеми, пов'язані з освоєнням територій, а також виклики для фауни та природних оселищ.

Сонячна енергія. Подібно до вітрової енергетики, Сонце надає колосальні запаси для створення електрики, яка є чистою та має тривалу перспективу.

Екологічний відбиток, асоційований із сонячною енергією, може охоплювати: потребу у землях та витіснення ареалів проживання, споживання водних ресурсів та застосування шкідливих субстанцій у процесі виготовлення; однак характер цих ефектів суттєво варіюється, залежно від розміру установок та застосовуваних технологій — чи то фотоелектричні (PV) панелі, чи системи концентрованої сонячної теплової генерації (CSP).

Енергія Землі

Найпоширенішим різновидом геотермальних генеруючих потужностей (відомих як гідротермальні об'єкти) є ті, що розташовані поблизу зон підвищеної геологічної активності, де розпечені магматичні породи залягають близько до земної кори, нагріваючи воду.

В інших локаціях розширені геотермальні системи (або геотермальні резервуари із сухою гарячою породою) передбачають буріння на значній глибині для доступу до більш глибоких геотермальних запасів, що може забезпечити ширше використання геотермальної потужності.

Геотермальні установки також різняться залежно від застосованої технології перетворення первинного ресурсу в електрику (використання сухого пари, флеш-системи або системи подвійного циклу), а також від типу охолодження, що використовується (водяне чи повітряне). Екологічний вплив коливається залежно від обраних методів обробки та охолодження.

Електропостачання з використанням біомаси

Електростанції, що працюють на біомасі, мають певну схожість із тепловими електростанціями на копалинному паливі: обидва типи передбачають спалювання первинної сировини для виробництва електрики. Отже, генеруючі потужності на біомасі викликають схожі, хоча й не ідентичні, занепокоєння стосовно атмосферних викидів та водоспоживання, як і об'єкти на вичерпаному паливі. Проте рослинна сировина біомаси може бути отрима-

2. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПОБУТОВОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

2.1 Опис конструкції побутової сонячної електростанції

Оселя розташована у місті Хмельницький, а її прив'язка до географії — це координати 49.392306, 26.999449. Виходячи з відомостей, представлених у першому розділі, обґрунтовано вважати, що природні та погодні умови даної території створюють сприятливі передумови для інтеграції домашньої сонячної електростанції потужністю орієнтовно 8 кВт.

Для встановлення сонячних панелей планується задіяти даховий простір будівлі, що забезпечить оптимальне захоплення сонячної енергії упродовж доби.

Фотоелектричні, або сонячні панелі, становлять головний і незамінний компонент фотоелектричних систем будь-якого виду. Найширшого вжитку набули модулі, виготовлені на базі монокристалічних чи полікристалічних кремнієвих сонячних комірок. Панелі, призначені для наземного використання, як правило, проєктуються таким чином, аби забезпечувати зарядку свинцево-кислотних акумуляторних блоків із стандартною напругою 12 В. Для досягнення цієї мети 36 сонячних елементів послідовно зв'язуються та формуються в єдиний модуль. Отриманий вузол зазвичай поміщають в алюмінієву оболонку (ілюстрація 2.1), що спрощує процес його кріплення до опорної конструкції, на якій він монтується. Електрична потужність таких сонячних модулів може варіюватися від 10 до 300 Вт.

Щоб досягти потрібної загальної потужності та робочої напруги, окремі модулі об'єднують шляхом послідовного чи паралельного з'єднання [10]. Група модулів, з'єднаних таким чином, формує фотоелектричний генератор.

Вихідна потужність цього генератора завжди буде дещо нижчою за сукупну потужність окремих модулів, що спричинено неминучими втратами, зумовленими невеликими відмінностями в характеристиках ідентичних за типом панелей.

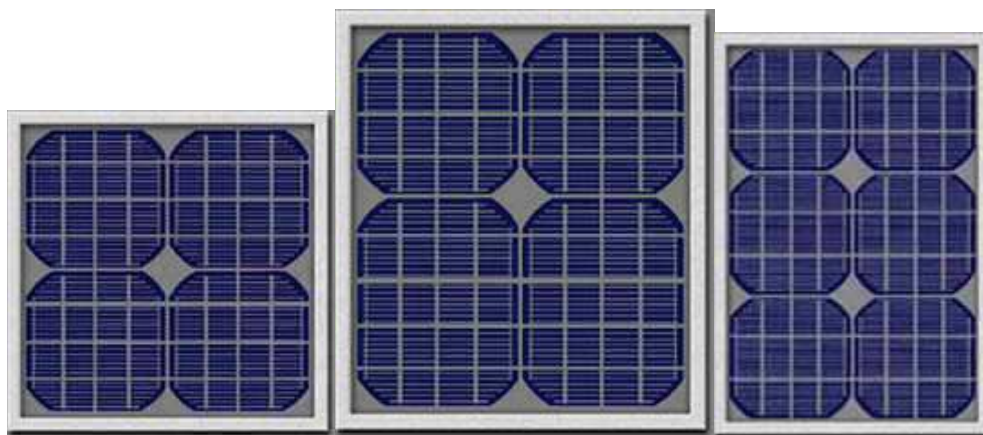


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд фотоелектричних модулів.

Чим ретельніше допасовані елементи в сонячній батареї, або чим менша різниця у їхніх параметрах, тим меншими будуть втрати енергії через невідповідність. Наприклад, коли десять модулів з'єднані послідовно, а розкид їхніх характеристик становить 10%, загальні втрати сягають приблизно 6%; тоді як при розбіжності в 5% ця втрата знижується до 2%. Якщо ж один із модулів у системі (або частина елементів у ньому) опиняється у тіні при послідовному з'єднанні, виникає явище, відоме як «гаряча точка» – затінений компонент починає поглинати всю енергію, що генерується освітленими частинами, швидко перегрівається та виходить з ладу. Щоб запобігти цьому, паралельно до кожного модуля (чи його секції) монтують байпасний (шунтуючий) діод. Такий захист є обов'язковим, якщо послідовно з'єднано понад два модулі. Крім того, до кожної низки послідовно з'єднаних модулів встановлюють блокувальний діод, метою якого є вирівнювання потенціалів між цими рядами. Усі ці діодні елементи, як правило, інтегровані у комутаційну коробку самого модуля. Панелі монтуються на металевих (сталевих чи алюміні-

нієвих) опорних конструкціях, що можуть бути встановлені безпосередньо на ґрунті, або ж розміщені на даху чи фасадній частині будівлі, виконуючи при цьому функцію елемента покриття чи захисту.

Креслення монтажу сонячних панелей, розташованих на покрівлі енергоєфективної будівлі, можна знайти на кресленні МРМА 25.00.00.000 МК.

2.2 Визначення параметрів ланцюга споживання

У таблицю 2.1 заносимо електропобутові прилади, що належать до найнеобхідніших.

Таблиця 2.1 – Перелік електричної потужності, яку споживають побутові прилади протягом доби

Потужність змінного струму	Ват	х	годин/день	=	Вт*г/день
TV-21"	70	х	6	=	420
Праска	1000	х	0.5	=	500
Насос	300	х	4	=	1200
Холодильник	200	х	15	=	3000
Лампи розжарювання	200	х	2	=	400
Люмінесцентні лампи	100	х	4	=	400
Обігрівач	2000	х	3	=	6000
НВЧ піч	1000	х	1.5	=	1500
Комп'ютер	300	х	12	=	3600
Всього					17020

Аби зрозуміти динаміку зміни навантаження протягом доби, варто представити роботу споживачів графічно, використовуючи часові діаграми. (рисунок 2.2)

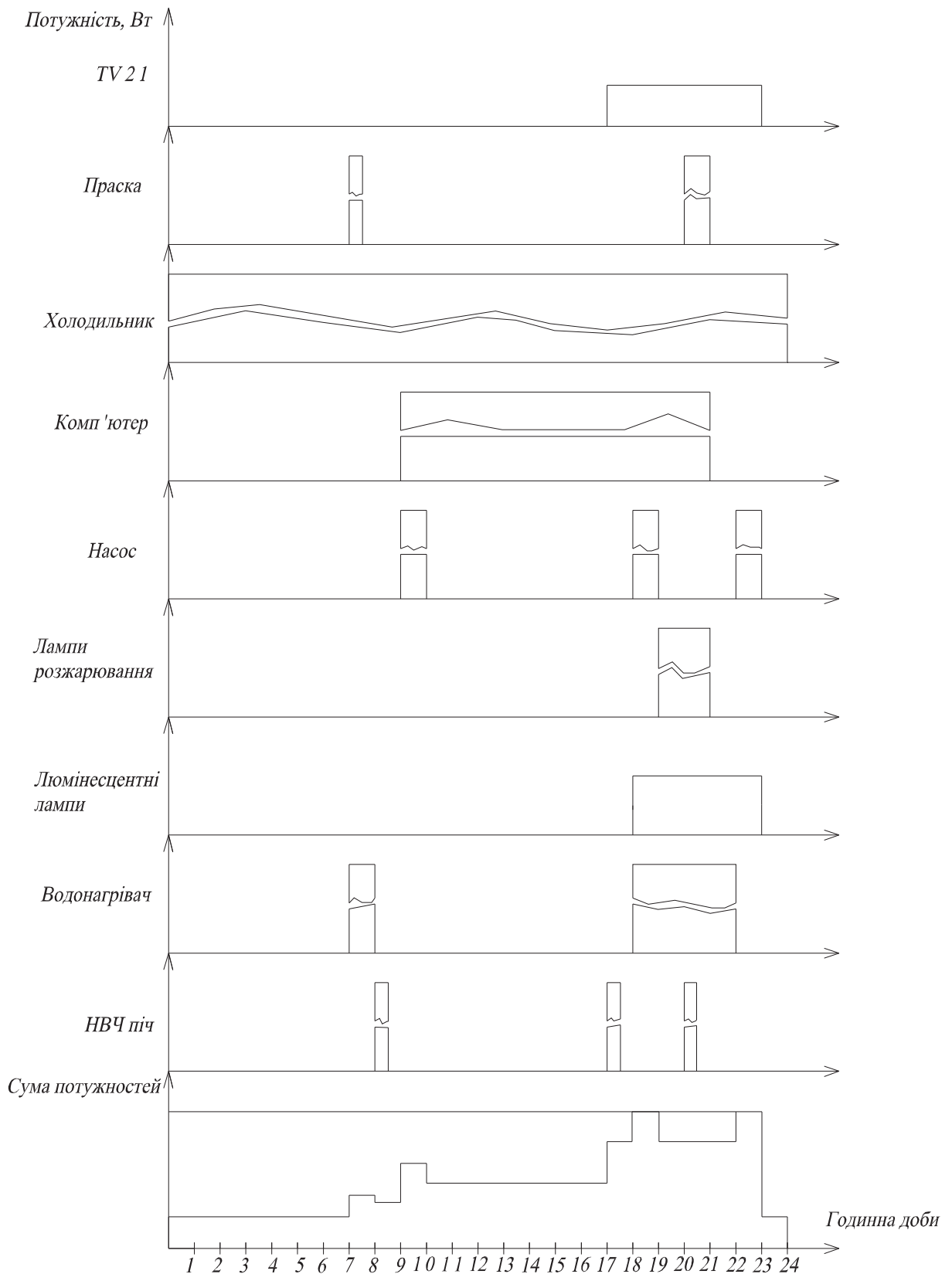


Рисунок 2.2 – Часова діаграма споживання електроенергії, побудована за даними таблиці 2.1

2.3 Опис принципової схеми фотоелектричної системи.

Принципова схема фотоелектричної системи відповідає аркушу МРМА 25.00.00.000 Е3, схема електрична підключень - на аркуші аркушу МРМА 25.00.00.000 Е5, друковані плати інвертора – на аркуші МРМА 25.00.00.000 Е4.

На чіпах DD1.1 та DD1.2 скомплектовано генератор, що задає, з робочою частотою п'ятсот герц. Подільник, збудований на DD2, генерує дві послідовності імпульсів на частоті п'ятдесят герц, фази яких зсунуті на сто вісімдесят градусів, аби керувати VT1 та VT2 силовими ключами у двотактних перетворювачах.

Аби запобігти безперервним (наскрізним) струмам у момент перемикання, передбачено проміжок часу, відомий як "мертва зона", що становить десять відсотків тривалості повного періоду, між повним вимкненням одного ключа та ввімкненням іншого.

Якщо на вхід "V" (який відповідає за блокування) подається високий логічний рівень (одиниця), обидва вихідні ключі переходять у заблокований стан. Максимальна вихідна потужність цього перетворювача лімітується потужністю силового трансформатора T1, а також максимально допустимим струмом, який можуть витримати вихідні транзистори. Коефіцієнт трансформації силового трансформатора становить двадцять ($K_T=20$). Як вихідні транзистори можуть бути використані моделі IRFZ034 (на п'ятнадцять ампер), 1RFZ044 та RG723A (на тридцять ампер), IRFZ046 (на п'ятдесят ампер), а також IRFP064 (на сто ампер). Силкові лінії зв'язку мають бути якомога коротшими і виконані проводами з належним поперечним перерізом.

Схема цього перетворювача збагачена додатковими контурами захисту та обслуговування, а саме:

3. РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ПОБУТОВОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

3.1 Визначення параметрів інвертора

Добовий розрахунок споживання змінного струму, що потрібен для роботи інвертора.

Ефективність роботи інвертора береться за вісімдесят відсотків (що еквівалентно множенню на коефіцієнт 1,2).

$$P_{\text{ж.інв}} = I_{\text{заг}} \cdot \eta_{\text{інв}} = 17020 \cdot 1,2 = 20424 \text{ Вт} \cdot \text{год/тиждень}. \quad (3.1)$$

Живлення постійного струму, що надходить до інвертора, становить: 12 В.

Сукупне споживання змінного струму за добу, виміряне в ампер-годинах:

$$P_{\text{заг}} = \frac{P_{\text{ж.інв}}}{U_{\text{інв}}} = \frac{20424}{12} = 1702 \text{ А} \cdot \text{год}. \quad (3.2)$$

3.2 Визначення параметрів акумуляторної батареї

Електрична потреба у вимірі ампер-годин становить: 1702 А•год

Обсяг електричного заряду, який необхідно акумулювати в акумуляторній батареї:

$$\gamma = P_{\text{заг}} \cdot 2 = 1702 \cdot 2 = 3404 \text{ А} \cdot \text{год}. \quad (3.3)$$

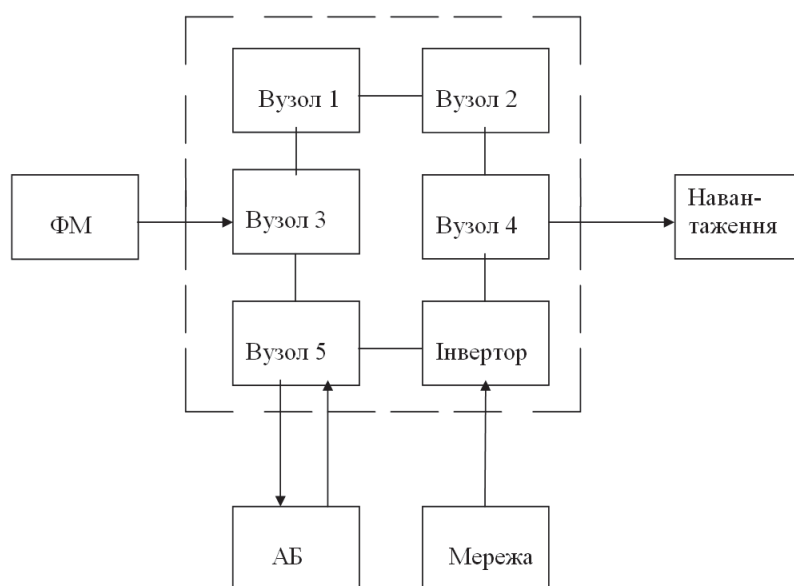
$$N_{\text{заг}} = 54 * 1 = 54 \text{ штук.}$$

3.4 Опис функціональної схеми

Блок-схема побутової сонячної електроустановки зображена на ілюстрації 3.1.

Сукупність блоків 1-5 разом із інвертором формує інверторно-керуючий апарат (ІКА), який складається з таких елементів:

- блок 1 – механізм блокування початкового генератора;
- блок 2 – апаратура, що оберігає вихідні напівпровідникові елементи;
- блок 3 – показчик електричного потенціалу накопичувача енергії;
- блок 4 – система безпеки на випадок зворотної полярності накопичувача;
- блок 5 – автоматичний перемикач для зміни джерела живлення (на мережеве або від акумулятора, і навпаки).



ФМ – фотоелектричний модуль; АБ – акумуляторна батарея;

Рисунок 3.1 - Функціональна схема побутової геліоелектростанції

Сонячна електростанція функціонує таким чином: фотомодулі генерують постійний струм із напругою 12В, який контролером заряду (ІКП) спрямовується або до акумуляторної батареї (АБ), або безпосередньо на Споживач (залежно від робочого режиму Споживача). Якщо фотомодулі неспроможні генерувати електроенергію, ІКП забезпечує живлення Споживача через АБ (якщо в батареї достатньо заряду) або від зовнішньої Мережі (коли потужності АБ недостатньо для живлення Споживача). Після відновлення нормальної роботи фотомодулів, ІКП від'єднує Мережу, і живлення Споживача здійснюється від фотомодулів або АБ. (всі компоненти фотоелектричної системи).

3.5 Розрахунок та вибір блоків ФЕС

3.5.1 Вибір фотоелектричних модулів

Базуючись на обчисленнях, представлених у підрозділі 3.3, ми зупиняємося на виборі монокристалічного фотоелектричного модуля, а саме моделі ФСМ серії – ФСМ 150-12, який має такі технічні дані:

- Номінальний робочий вольтаж, В	12
- Максимальна віддача енергії, Вт	150
- Сила струму за умов максимальної потужності, А	8,33
- Вольтаж за умов максимальної потужності, В	18
- Струм у випадку короткого замикання, А	9,2
- Напруга на відкритому контурі, В	21,8
- Габаритна довжина, мм	1350
- Габаритна ширина, мм	945
- Висота корпусу, мм	40
- Маса виробу, кг	15

Графічне зображення залежності струму від напруги для цього модуля наведено на схемі 3.2.

3.5.2 Виконання розрахунку вихідного трансформатора для інверторно-регулюючого обладнання.

Параметри на вході: напруга живлення становить 12 В, необхідна напруга на виході — 220 В, робоча частота струму — 50 Гц, сердечник трансформатора — броньового типу (зібраний з пластин).

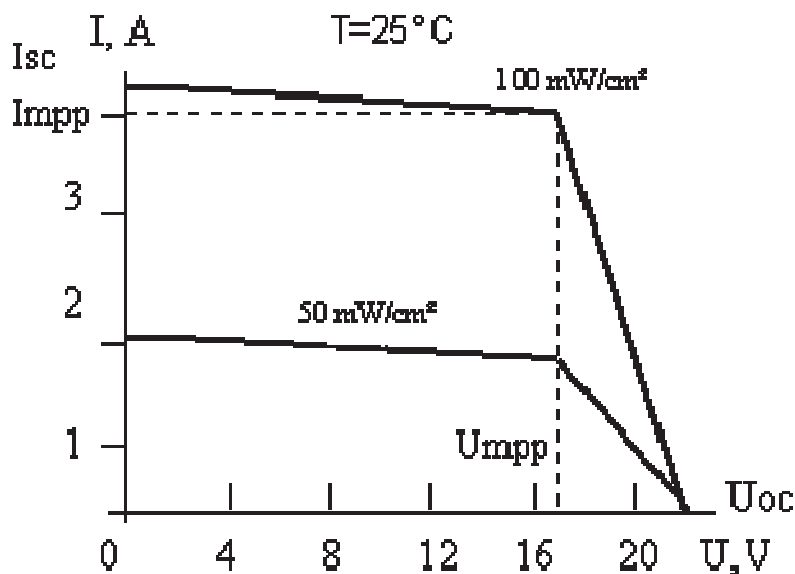


Рисунок 3.2 - Вольт-амперна характеристика модуля

Типова або габаритна потужність:

$$P_{min} = 1,11 \left(1 + \frac{1}{\eta \cdot \cos \varphi} \right) \times (f - \Delta f) \times B_m j k_b S_{ok} k_{zc} S_c \cdot 10^{-2}, \quad (3.9)$$

де B_m – величина індукції, $B_m = 5$;

j – густина струму в обмотках, $j = 3,4$;

κ_M – коефіцієнт заповнення вікна, $\kappa_M=0,38$;

κ_{zc} – коефіцієнт заповнення магнітопроводу, $\kappa_{zc}=0,75$;

$S_{ок}$ – активний переріз сталі, $S_{ок}=0,5$;

S_c – поперечний переріз сталі, $S_c=1,1$.

Тоді

$$P_{min} = 1,11(1 + \frac{1}{60 \cdot 0,8}) \times (50 - 10) \times 5 \times 3,4 \times 0,38 \times 0,1 \times 0,75 \times 0,5 \times 10^{-2} = 1000 \text{ Вт}.$$

Розрахунок кількості витків для первинної та вторинної обмоток здійснюється за допомогою наступних формул:

$$\omega_1 = \frac{U - \Delta U_1}{4,44 B_m S_{cm} (f - \Delta f)}; \quad (3.10)$$

$$\omega_{21} = \frac{U_{H2i} + \Delta U_{2s}}{4,44 B_m S_{cm} (f - \Delta f)}. \quad (3.11)$$

Абсолютні падіння напруги в обмотках ΔU_1 та ΔU_{2i} визначаються за формулами:

$$\Delta U_1 = \frac{\Delta U \% U}{200 \%}, \quad (3.12)$$

$$\Delta U_{2i} = \frac{\Delta U \% U_{H2i}}{200 \%}. \quad (3.13)$$

Тоді:

$$\Delta U_1 = \frac{60 * 12}{200 \%} = 3,6,$$

$$\Delta U_{2i} = \frac{60 * 220}{200 \%} = 66,$$

$$\omega_1 = \frac{12 - 3.6}{4.44 * 5 * 0.5(50 - 10)} = 188,$$

$$\omega_{21} = \frac{220 + 66}{4.44 * 5 * 0.5(50 - 10)} = 644.$$

Визначаємо діаметр проводів обмоток за формулою:

$$d = 2\sqrt{I/\pi j}, \quad (3.14)$$

$$d = 2\sqrt{4.5/3.14 * 3.4} = 1.2 \text{ мм}.$$

Щодо вибору інвертора, придатного для розробленої сонячної електростанції (СЕС), розглянемо їхні сильні та слабкі сторони, аби обрати найкращий варіант для СЕС потужністю 8 кВт.

1) Стрінгові (on-grid) інвертори. Їхнє основне завдання – досягнення максимальної віддачі електроенергії в загальну мережу або покриття власних потреб без використання акумуляторних батарей (АКБ). Серед плюсів: високий коефіцієнт корисної дії (ККД), лаконічність конструкції, менша вартість. Мінуси: як правило, вони не функціонують у разі зникнення зовнішньої мережі (відсутність резервного живлення), або ж для цього потрібні додаткові комплектуючі. Зразок: Huawei SUN2000-10KTL-M1 (стрінговий, має 2 незалежні трекари MPPT, підтримує роботу з оптимізаторами в рамках платформи Huawei).

2) Автономні (off-grid) інвертори. Створені для функціонування незалежно від зовнішньої мережі, зазвичай у зв'язці з акумуляторами та/або допоміжним генератором. Перевага: повна незалежність від централізованого електропостачання. Недоліки: складніше підключення до загальної мережі, іноді обмежена гнучкість роботи з сонячними панелями, іноді менша кіль-

Водночас, існують і певні вади:

- Показник корисної дії (ККД) є відносно невеликим;
- Експлуатація прямо залежить від погодних явищ;
- Загальний період повернення інвестицій у систему є досить тривалим.

						70

11. Концепція реалізації "зеленого переходу" в Україні до 2030 року, Міндовкілля України, 2021.
12. U.S. Department of Energy. Design and Implementation of Residential Energy Systems. Washington, 2020. <https://www.energy.gov>
13. IEA (International Energy Agency). Energy Efficiency 2023: Residential Sector Report. Paris: IEA, 2023. <https://www.iea.org>
14. Lund, H., & Mathiesen, B. V. (2016). Smart Energy Systems for Smart Cities. *Energy*, 115, 1471–1480. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.07.029>
15. Aly, M. E. et al. (2022). Techno-economic analysis of hybrid renewable energy systems for residential use. *Renewable Energy*, 181, 1121–1135.
16. Zhang, C., Wu, J., Zhou, Y., Cheng, M., & Long, C. (2018). Peer-to-peer energy trading in a microgrid. *Applied Energy*, 220, 1–12.
17. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підручник. К.: НТУУ «КПІ». 2012. 492 с.
18. Святненко А., Власов В. С. Отримати свою частину зеленого пирога. Тижневик «Дзеркало тижня» №47. 18.12.2010.
19. Про енергозбереження: Закон України» від 01 липня 1994 року. №74/94-ВР. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 10.11.2020).
20. Про альтернативні джерела енергії: Закон України від 20 лютого 2003 року. № 555IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15> (дата звернення: 10.11.2020).
21. Про затвердження Порядку встановлення, перегляду та припинення дії "зеленого" тарифу на електричну енергію для суб'єктів господарської діяльності та приватних домогосподарств: постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики № 1421 від

ДОДАТОК А
