

КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

з дисципліни «Ресурсоенергозбереження»

на тему: Ресурсоенергозбереження при використанні сонячних батарей

Студенки 1 курсу групи ТЗД-16м
напряму підготовки 6.040106 - Екологія,
охорона навколишнього середовища та
збалансоване природокористування
Панькевич А.С.
Керівник к.т.н., доц. Іщенко В.А.

Національна шкала _____
Кількість балів: _____ Оцінка: ECTS _____

Члени комісії

_____	_____
(підпис)	(прізвище та ініціали)
_____	_____
(підпис)	(прізвище та ініціали)

м. Вінниця – 2016 рік

АНОТАЦІЯ

У курсовому проекті розглянуто загальну характеристику сонячних панелей. Проаналізовано шляхи використання сонячних модулів та потенціал геліоенергетики в Україні. Розглянуто основи технології фотоелектричних перетворювачів та недоліки сонячних панелей. Досліджено питання утилізації сонячних батарей та запропоновано спосіб вилучення шкідливих речовин при утилізації сонячних панелей.

					08-48 РЕЗ 207.01.01 ПЗ	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

					08-48 РЕЗ 207.01.01 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Традиційні шляхи отримання електроенергії не є екологічно безпечними. Тому енергетика повинна розвиватися у першу чергу в напрямку підвищення безпеки експлуатації енергоустановок, впровадження безвідходних технологій використання палива і розробки альтернативних «чистих» джерел енергії.

Альтернативні або поновлювані джерела енергії, мають дуже багато перспектив у порівнянні з традиційними, особливо у зниженні кількості токсичних речовин, які є побічними продуктами використання енергії.

Альтернативні джерела електроенергії стають все більш актуальними та доступними у побутовому і промисловому використанні. Так як у недалекому майбутньому буде досить важко задовольняти потреби людства за рахунок невідновлювальних джерел енергії, тому людство все більше звертає увагу на альтернативну енергетику, одним з найперспективніших напрямків якої є сонячна енергетика.

Сонце є найпотужнішим джерелом екологічно чистої енергії. На кожний квадратний метр поверхні земної атмосфери падає 1300 Вт сонячної енергії.

Найефективнішим методом отримання електроенергії вважається безпосереднього перетворення випромінювання на електричну енергію за допомогою сонячних батарей. Сонячна батарея - це електрична установка, що генерує постійний струм та складається з орієнтованих за сонцем сонячних модулів, які мають спільну несучу конструкцію.

Отже, сонячне випромінювання є загальнодоступним і невичерпним джерелом енергії. Теоретично сонячна енергетика вирізняється повною безпечністю для навколишнього середовища (якщо не брати до уваги наявність отруйних речовин у фотоелементах).

Метою роботи є ресурсоенергозбереження при виготовленні, використанні та утилізації сонячних панелей.

					08-48 РЕЗ 207.01.01 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ТА ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

1.1 Типи сонячних панелей та їх ефективність

Використання енергії сонця дозволяє економити дорогу електроенергію, яка постачається в будинки енергетичними компаніями, і навіть заробляти на поставках енергії в електричну мережу, якщо останнє передбачено місцевим законодавством. З цією метою все більше власників приватних будинків монтують на дахах індивідуальні сонячні електростанції. Та прогрес не стоїть на місці, сьогодні ринок пропонує далеко не одне рішення цієї проблеми.

Головна складова домашньої сонячної електростанції – сонячні батареї, або фотоелектричні панелі, як їх ще називають. Їх призначення – пряме перетворення сонячної енергії в електричну. Сонячна батарея складається з окремих фотоелектричних елементів, які з'єднуючись разом, забезпечують необхідну потужність батареї. В даний час на ринку можна зустріти п'ять типів сонячних батарей, які відрізняються матеріалами, з яких виготовлені їх елементи [1].

Найбільш поширені технології виробництва фотоелементів:

1. Кристалічні фотоелементи:

- монокристалічні кремнієві фотоелементи;
- полікристалічні фотоелементи;

2. Тонкоплівкові фотоелементи:

- фотоелементи з використанням індію і міді (CIS технологія);
- фотоелементи з використанням телуриду кадмію (CdTe технологія);
- фотоелементи з використанням аморфного кремнію.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) для фотоелементів – це ефективність перетворення сонячної енергії в електричну, це означає, що чим менше ККД тим більше площі фотоелементів необхідно для забезпечення тієї ж потужності в порівнянні з елементами у яких ККД має більш високе значення.

					08-48 РЕЗ 207.01.01 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Монокристалічні сонячні батареї створені на основі монокристала кремнію, вирощеного з розплаву полікристалічного кремнію, розпиляного і відполірованого. Середня продуктивність таких батарей становить до 19 % від встановленої потужності. Тобто встановивши систему номінальною потужністю 1 кВт, ви фактично отримуєте на годину 190 Вт електричної енергії [2].

Найчастіше монокристалічні сонячні батареї застосовуються в проектах з встановленою потужністю до 10 кВт. Традиційно монокристалічні модулі вставлені в алюмінієву рамку і закриті протиударним склом. Колір монокристалічних фотоелементів темно-синій або чорний (рис. 1.1).

Характеристики:

- Коефіцієнт корисної дії (ККД) від 15 до 18 відсотків;
- Форма квадратна або квадратна із закругленими або зрізаними кутами;
- Товщина 0,2 – 0,3 мм;
- Колір від темно-синього до чорного з антивідбиваючим покриттям або сірий без покриття;
- Зовнішній вигляд – однорідний.
- Монокристалічні фотоелементи найбільш складні і дорогі [3].



Рисунок 1.1 – Сонячна монокристалічна батарея

Сонячні панелі з полікристалічних фотоелектричних елементів найбільш поширені у зв'язку з оптимальним співвідношенням ціни і коефіцієнта корисної дії серед всіх різновидів панелей. Для їх виготовлення використовуються

пресовані кристали різної форми, тому їх іноді ще називають мультикристалічними фотоелементами. Їх ККД становить 12 – 16%. У елементів, які утворюють панель, характерний синій колір і кристалічна структура (рис. 1.2).

Середня продуктивність таких батарей становить до 16% від встановленої потужності. Тобто встановивши систему номінальною потужністю 1 кВт, фактично отримуємо на годину 160 Вт електричної енергії [2].

Характеристики:

- ККД до 16 відсотків;
- Форма квадратна;
- Товщина 0,24 – 0,3 мм;
- Колір синій з антивідбиваючим покриттям, сріблясто-сірий без покриття;
- Зовнішній вигляд – блок кристалів різного напрямку, деякі кристали чітко видно на зрізі [3].



Рисунок 1.2 – Полікристалічна сонячна панель

Сонячні батареї з аморфного кремнію мають один з найбільш низьких ККД. Зазвичай його значення в межах 6 – 8%. Однак серед усіх кремнієвих технологій фотоелектричних перетворювачів вони виробляють найдешевшу електроенергію (рис. 1.3).

Тонкоплівкові фотоелементи використовують тонкі плівки, що є найбільш дешевою технологією. Для їх виготовлення використовується аморфний (розплавлений) кремній, що наноситься шляхом напилення на різні поверхні:

полімерну плівку, скло, пластик. Завдяки чому є можливість виготовлення фотоелементів з різним ступенем прозорості та забарвлення, а це в свою чергу створює більш широкий спектр їх застосування.

Тонкоплівкові панелі не вимагають попадання на них прямого сонячного проміння, працюють при розсіяному випромінюванні, завдяки чому сумарна потужність, що виробляється за рік, більша на 10 – 15%, ніж виробляють традиційні кристалічні сонячні панелі (монокристалічні та полікристалічні). Також потрібно сказати, що встановлення плівкових сонячних батарей можливе не тільки на дахах, але й на бічних поверхнях будівель.

Характеристики:

- ККД від 5 до 7 відсотків;
- Форма відповідає формі модуля, максимальний розмір 2×3 м;
- Товщина елемента в незагартованому склі від 1 до 3 мм;
- Колір від коричневого до синього або фіолетового;
- Зовнішній вигляд – однорідний [3].



Рисунок 1.3 – Сонячна панель на основі аморфного кремнію

Сонячні панелі з телуриду кадмію (CdTe) виготовляються на основі плівкової технології. Напівпровідникову плівку наносять тонким шаром у кілька сотень мікрометрів. Ефективність елементів з телуриду кадмію невелика, ККД близько 11%. Проте, в порівнянні з кремнієвими панелями, ват потужності цих батарей обходиться на кілька десятків відсотків дешевше (рис. 1.4).

Характеристики:

					08-48 РЕЗ 207.01.01 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- ККД 8,5 – 11 %;
- Форма елемента відповідає формі модуля;
- Товщина модуля в незагартованому склі – 3 мм;
- Колір від дзеркального темно-зеленого до чорного;
- Зовнішній вигляд – однорідний [3].



Рисунок 1.4 – Сонячна панель на основі телуриду кадмію

Сонячні панелі на основі CIGS виготовлені за плівковою технологією, але в порівнянні з панелями з телуриду кадмію мають більш високу ефективність, ККД сягає 15%. CIGS (Copper indium gallium selenide) – це напівпровідник, який складається з міді, індію, галію та селену (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Сонячна панель на основі CIGS

Ефективність сонячних батарей безпосередньо не впливає на кількість виробленої установкою енергії. Однакову потужність всієї установки можна

отримати за допомогою будь-яких типів сонячних батарей, однак більш ефективні фотоелектричні перетворювачі займуть менше місця, для їх розміщення знадобиться менша площа. Наприклад, якщо для отримання одного кіловата електроенергії буде потрібно близько 8 м² поверхні сонячної батареї на основі монокристалічного кремнію, то панелі з аморфного кремнію займуть вже близько 20 м².

Наведений приклад, звичайно ж, не є абсолютним. На виробництво електроенергії фотоелектричними перетворювачами впливає не лише загальна площа сонячних панелей. Електричні параметри будь-якої сонячної батареї визначаються в так званих стандартних умовах тестування, а саме при інтенсивності сонячного випромінювання 1000 Вт/м² і робочій температурі панелі 25°C [1].

Поширеною є помилка про те, що полікристалічні фотоелектричні модулі більш ефективно перетворюють сонячне випромінювання в порівнянні з монокристалічними. Насправді перетворення енергії прямого сонячного випромінювання у монокристалічних елементів відбувається з найбільшою ефективністю, у полікристалічних модулів це перетворення відбувається з меншою ефективністю у зв'язку з різною орієнтацією кристалів в елементі. Розсіяне випромінювання кристалічні фотоелементи перетворюють з однаковою ефективністю. Тому частка виробітку від розсіяного випромінювання в полікристалічних панелях вища ніж в монокристалічних, а значить і вплив орієнтації на вироблення нижче.

У тонкоплівкових елементів у зв'язку з більшим ступенем безладності орієнтації світлочутливих елементів вироблення з розсіяної частини випромінювання становить основну частку виробітку. Тому й прийнято говорити, що на роботу тонкоплівкових модулів не впливає орієнтація. Але енергію сонячного випромінювання, не залежно від його форми, найефективніше перетворюють монокристалічні модулі тому що у них ККД вищий [3].

					08-48 РЕЗ 207.01.01 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Шляхи використання сонячних панелей

Найперспективнішим методом одержання електроенергії вважається метод безпосереднього перетворення випромінювання на електричну енергію за допомогою сонячних батарей. Метод прямого перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію є, по-перше, найбільш зручним для споживача, оскільки отримується вживаний вид енергії, і, по-друге, такий метод вважається екологічно чистим засобом одержання електроенергії на відміну від інших, які використовують органічне паливо, ядерну сировину чи гідроресурси.

Сонячна батарея – це електрична установка, що генерує постійний струм та складається з орієнтованих за сонцем сонячних модулів, які мають спільну несучу конструкцію [4].

У 1954 р. американці Д. Пірсон, К. Фуллер і Д. Чапін запатентували перший елемент з прийнятним (близько 6 %) ККД. А з 1958 р. кремнієві сонячні батареї стали основними джерелами електрики на радянських і американських космічних апаратах.

Сьогодні популярність побутових сонячних батарей зростає у всьому світі, особливо в Азії та Західній Європі, де ними іноді цілком покривають дахи будинків, що істотно здешевлює електроенергію. Це призводить до стрімкого зростання попиту на кремній, з поставками якого останнім часом виникли проблеми.

Сонячну батарею можна встановити на даху автомобіля і крилах літака, вбудувати у годинник, калькулятор, ноутбук і навіть у ліхтарик. У сонячному елементі немає рухомих частин, термін його використання становить приблизно 30 років. За цей час елемент, на виготовлення якого витрачено лише 1 кг сонячного кремнію, може дати стільки само електроенергії, скільки виробить ТЕС зі 100 т нафти або АЕС – з 1 кг збагаченого урану [4].

					08-48 РЕЗ 207.01.01 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Встановлення мережевої станції – самий простий і практичний спосіб використання сонячної електроенергії. Для роботи такої станції не потрібні ні дорогі акумулятори, ні складні пристрої керування. Ви просто встановлюєте фотоелектричні модулі, підключаєте їх до мережевого інвертору, а інвертор – до мережі через пристрій обліку електричної енергії. При цьому не потрібно піклуватися про безпеку та відповідність характеристик інвертора характеристикам мережі. Автоматика інвертора синхронізує його з мережею і забезпечить відключення станції в разі аварійного режиму роботи мережі. Також цей спосіб використання дуже швидко окупається завдяки високій ставці зеленого тарифу в Україні.

Іншим шляхом використання сонячних батарей є часткове заміщення ними споживання електроенергії з мережі. Мається на увазі встановлення мережевої сонячної електростанції. Така станція проста в установці і практично не потребує обслуговування. Для цього способу використання рекомендується встановлювати станції на об'єктах з основним споживанням енергії вдень (офісні будівлі, магазини тощо). Подібна установка здатна влітку повністю компенсувати енергоспоживання, а взимку дозволить економити на електроенергії до 80 % [5].

За допомогою сонячних батарей можна реалізувати електропостачання віддалених об'єктів встановивши автономну станцію. Це ідеальне рішення, якщо підключення споживачів до загальної електромережі утруднено. Такі станції відрізняються від мережевих наявністю акумуляторів і контролерів заряду. Для споживачів, що працюють тільки влітку, немає необхідності в установці дублюючих джерел електроенергії. Для споживачів, які цілий рік працюють, рекомендується використання дублюючих джерел (бензиновий генератор, вітрогенератор тощо).

Сонячні панелі можна також використовувати для вуличного освітлення і систем відеоспостереження. З використанням сонячних батарей для вуличного освітлення та систем відеоспостереження немає необхідності в прокладанні довгих кабельних ліній і підключенні об'єктів до мережі [5].

					08-48 РЕЗ 207.01.01 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Потенціал геліоенергетики в Україні

Експлуатація фотогальванічних установок для виробництва електроенергії здійснюється в даний час в Україні у незначних обсягах. Незважаючи на високі пільгові тарифи дана технологія не може пробити собі дорогу через велику потребу в інвестиціях.

Україна має власне виробництво PV-панелей (Photovoltaics (PV) – фотовольтаїка – метод генерації електроенергії шляхом перетворення енергії сонячного випромінювання у постійний електричний струм з використанням напівпровідникових матеріалів, які проявлять фотоелектричний ефект). Річний обсяг їхнього виробництва становить приблизно 150 МВт, причому близько двох третин продукції експортується [6].

На 1 січня 2015 року в Україні діяло 98 сонячних станцій загальною встановленою потужністю 819 МВт, якими у 2014 році вироблено 485 млн. кВт/год електричної енергії [7].

З урахуванням досвіду з впровадження сонячних електростанцій в європейських країнах із схожим рівнем сонячного випромінювання, а також з огляду на світові тенденції постійного зниження собівартості будівництва сонячних електростанцій в результаті розвитку технологій в Україні виробництво електроенергії може бути збільшено шляхом вдосконалення технології та введення в експлуатацію нових потужностей до 1050 ГВт·год у 2015 році (загальною потужністю 1000 МВт) та до 2420 ГВт·год у 2020 році (загальною потужністю 2300 МВт) [9].

Україна має значний технічно-досяжний потенціал вироблення енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива, який становить понад 98,0 млн. т у. п. на рік (6 млн. т у. п. становить сонячна енергетика).

					08-48 РЕЗ 207.01.01 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Потенціал альтернативних джерел енергії в Україні абсолютно недовикористаний і це є одним з тих пріоритетних напрямів економічного розвитку, який міг би стати привабливим для прямих іноземних інвестицій.

Структура виробництва електроенергії в Україні в 2014 р. об'єктами альтернативної енергетики, що працюють за “зеленим” тарифом, наведена на рисунку 1.6 [8].

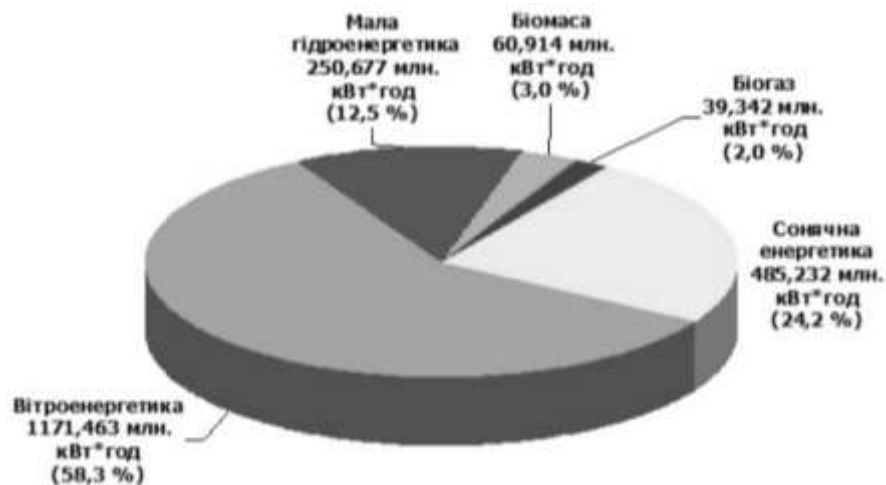


Рисунок 1.6 – Структура виробництва електроенергії в Україні об'єктами альтернативної енергетики, що працюють за “зеленим” тарифом, 2014 р.

Україна має достатній досвід проектування, будівництва, експлуатації та обслуговування сонячних електростанцій. На сьогодні сонячна енергетика широко застосовується у випадках, коли малодоступність інших джерел енергії в сукупності з достатньою кількістю сонячного випромінювання виправдовує її економічно.

2 ОСНОВИ ВИРОБНИЦТВА СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ТА ЇХ ВПЛИВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

2.1 Основи технології фотоелектричних перетворювачів

Фотоелектричні перетворювачі або сонячні елементи — це напівпровідникові вироби, які перетворюють сонячне випромінювання в електричний струм. Найбільш ефективними, з енергетичної точки зору, пристроями для перетворення сонячної енергії в електричну є напівпровідникові фотоелектричні перетворювачі (ФЕП), оскільки це прямий, одноступінчастий перехід енергії.

Найважливішою та найдорожчою частиною будь-якого сонячного елементу є кремнієва пластина. Вона може бути як монокристалічною, так і мультикристалічною. Зазвичай монокремній вирощують у вигляді круглих злитків, з яких потім вирізають так звані псевдоквадратичні пластини. Ця форма забезпечує максимальне використання кремнію з круглого злитка і, в той же час, найбільш щільне заповнення поверхні майбутнього сонячного модуля (сонячної батареї). Мультикремнієві пластини ж являють собою правильні квадрати заданого розміру і товщини [10].

Так як будь-яка пластина має поверхню, пошкоджену при нарізанні злитків, то цей порушений шар необхідно прибрати. Якщо просто зняти кілька мікрон за допомогою хімічного травлення, то поверхня пластини виявиться гладкою, і буде відбивати істотну частину падаючого на неї випромінювання. Так як для отримання більш ефективних сонячних елементів важливо перетворити в струм якомога більше сонячного світла, то поверхню намагаються зробити нерівною на мікрорівні. Для монокремнієвих пластин така операція називається текстурованням.

Текстурована поверхня являє собою безліч, на перший погляд, хаотично розташованих мікропірамід. Світло, потрапляючи на поверхню піраміди,

відбивається під тим же кутом і в більшості випадків потрапляє на поверхню сусідньої пірамідки. При цьому, за рахунок створення текстурованої поверхні вдається знизити коефіцієнт відбиття кремнію з 35% до 11%.

Для видалення порушеного шару і формування текстури на поверхні пластин застосовується хімічна обробка пластин. Склад розчинів, температура і тривалість обробок залежать від типу оброблюваних пластин, стану їх поверхні перед обробкою, подальших технологічних операцій і багатьох інших факторів. Зазвичай, для монокремнієвих пластин застосовують травлення в лужних розчинах і одну або кілька кислотних обробок [10].

Після проведення всіх необхідних хімічних операцій, пластини промиваються у воді і сушаться. Це прості, але теж дуже важливі операції. Так, наприклад, від якості сушки залежать параметри дифузійного шару, створюваного на наступній операції.

Ключовим елементом конструкції кристалічних кремнієвих ФЕП є р-п перехід. Напівпровідник залежно від типу своєї провідності може бути або n-типу (електронна провідність), або р-типу (діркова провідність). При цьому, якщо в пластині одного типу створити шар іншого типу, то місце контакту цих областей і буде р-п переходом.

Одним із головних властивостей р-п переходу є його здатність бути енергетичним бар'єром для носіїв струму, тобто пропускати їх тільки в одному напрямку. Саме на цьому ефекті і базується генерація електричного струму в сонячних елементах.

У виробництві сонячних елементів використовуються вихідні пластини з провідністю n-типу. Для цього кремній ще на етапі вирощування злитків легують відповідними домішками, наприклад, бором. Тому для створення в ньому n-шару необхідно в одну з поверхонь елемента впровадити іншу домішку, яка буде компенсувати дію бору та наситить напівпровідник носіями заряду n-типу. Це можна зробити, ввівши в кремній фосфор або іншу підходящу домішку.

Одним з найбільш традиційних і економічно обґрунтованим способом насичення кремнію фосфором є дифузія, тобто процес при якому фосфор під дією високих температур проникає в напівпровідник. Традиційно дифузію фосфору проводять в трубчастих або конвеєрних печах при температурах близько 800 °С. У першому випадку пластини поміщають в кварцові касети, а трубу печі заповнюють парами речовини, що містить фосфор. Регулюючи час знаходження пластин в реакторі, температуру і потоки газів всередині нього, технологи отримують р-п перехід з необхідними їм властивостями. У другому випадку фосфоровмісні речовини наносять розпиленням на поверхню пластин, що лежать на стрічці конвеєрної печі. Після цього пластини за допомогою конвеєра пересуваються в наступну зону, де також піддаються високотемпературній обробці [10].

У результаті проведення дифузії фосфору на поверхні і торцях кремнієвої пластини товщиною близько 200 мкм формується шар n-типу, що проникає на глибину всього близько 0,5 мкм. Тобто р-п перехід залягає у самої поверхні сонячного елемента.

Конструкція сонячного елемента передбачає наявність р-п переходу поблизу лицьової або робочої сторони. Інша ж поверхня називається тильною. Зазвичай на лицьовій поверхні розташовується струмознімальна решітка, а на тильній — суцільний контакт. Так як n-шар, сформований за допомогою дифузії, сильно насичений домішками, то він добре проводить електричний струм. Під час дифузії цей шар утворюється не тільки на лицьовій стороні пластини, але і на її торцях і навіть по периметру тильної поверхні. При цьому має місце електричне замикання між лицьовим і тильним контактами.

Зазвичай таку проблему вирішують шляхом фізичного його видалення з торців пластин. Зробити це можна механічно, лазером, хімічним або плазмохімічним травленням. Одним з найбільш раціональних методів є плазмохімічне травлення (ПХТ).

За допомогою текстури віддзеркалення від поверхні пластини знижується в середньому з 35% до 11%. Це означає, що десята частина випромінювання, що падає на поверхню сонячного елемента, все ще буде відображатися назад і не зможе брати участь в процесі генерації електричного струму. З метою ще більшого зменшення цих втрат, що класифікуються як оптичні, на робочу поверхню сонячних елементів наноситься так зване антивідбиваюче покриття (АВП) [10].

На практиці як АВП для кремнієвих сонячних елементів найчастіше використовуються плівки оксиду титану або нітриду кремнію. Нітрид кремнію зазвичай наноситься шляхом прискореного плазмою хімічного напылювання з газової фази, у спеціальних трубчастих печах.

Товщина нітриду кремнію складає близько 70 нм, що набагато менше розмірів мікропірамід текстури і дозволяє добитися ефекту антивідбиття незалежно від структури рельєфу поверхні.

Після нанесення АВП сонячний елемент практично готовий. Під дією випромінювання всередині приладу вже відбувається генерація носіїв заряду, які потім розділяються р-п переходом і практично готові до подальшого використання. Але їх потрібно передати в ланцюг навантаження, а для цього необхідно сформувати контакти на поверхні сонячного елемента.

Лицьова поверхня служить в першу чергу для максимального поглинання випромінювання, що падає на неї, чим і визначаються технічні вимоги до контактної металізації. Саме з цієї причини контакт, розташований на робочій стороні сонячного елемента, виконується у вигляді ґрат, зазвичай складається з 2-3 широких контактних майданчиків і декількох десятків тонких струмозбираючих ліній, розташованих перпендикулярно до широких.

Для зниження вартості сонячного елемента контактна металізація наноситься методом трафаретного друку. Суть цього методу полягає в тому, що за допомогою так званого ракеля (якщо дуже просто, то гумового бруска) через дрібну сітку трафарету продавлюється паста, до складу якої входять

металеві кульки, флюс і різні зв'язуючі добавки. На сітці попередньо сформований малюнок, що задає місця, в яких паста повинна бути нанесена на пластину, а в яких — ні. Після цього паста підсушується, і пластина надходить в піч, де при температурі понад 800 градусів метал впікається в поверхню сонячного елемента [10].

Для формування лицьової металізації сонячних елементів сьогодні використовуються складні за складом сбірновмісні пасти.

На відміну від лицьової металізації, що виконує тільки функцію контакту, тильна металізація вирішує ще одну задачу. Зазвичай на тильній поверхні сонячного елемента наноситься не один, а цілих два типи металу. Один з них являє собою суцільний шар алюмінію, що покриває практично всю площу за винятком декількох отворів. А вже в цих отворах сформована знайома нам срібна металізація, що виконує функцію контакту.

Алюмінієвий шар служить своєрідним дзеркалом для носіїв заряду. Але дзеркалом не оптичним, а енергетичним. За допомогою алюмінієвої металізації формується так зване BSF (back side field) — тильне поле, «віддзеркалювач» носіїв заряду, які ще не встигли дати внесок у генерацію струму. Шар алюмінію на тильній стороні дозволяє отримати від сонячного елемента більшу напругу.

Суцільний алюмінієвий шар на тильній стороні сонячного елемента формується все тим же способом трафаретного друку. Після нанесення кожного шару пасти його сушать у спеціальних печах, і тільки після нанесення всіх трьох шарів (1 на лицьовій і 2 на тильній стороні) пластина передається на впалювання.

Після складання всіх складових сонячного модуля, отриманий напівфабрикат проходить тестування на відсутність розривів електричного кола і надходить на герметизацію при високій температурі і надмірному тиску. Ця операція носить назву ламінування, а напівфабрикат, що вийшов в її результаті — називається ламінатом.

Підготований на попередніх етапах ламінат, вже здатний генерувати електричну енергію, але все ще не є кінцевим продуктом. Для завершення

					08-48 РЕЗ 207.01.01 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробництва необхідно встановити раму по периметру сонячного модуля і змонтувати сполучну комутаційну коробку. Ці операції можуть здійснюватися як вручну, так за допомогою спеціальних автоматизованих установок.

Тестування готового сонячного модуля включає визначення електричних параметрів і вимір напруги. В якості тестерів може використовуватися як компактне обладнання, так і спеціально підготовлені вимірювальні приміщення, в яких встановлюються надточні імітатори сонячного випромінювання з необхідними характеристиками [10].

2.2 Основні недоліки сонячних панелей

Головними перевагами використання сонячної енергії є: екологічна чистота, надійність та можливість довготривалої експлуатації, безпека (наявність автоматичного захисту від короткого замикання, перегріву, перевантажень приладів, розрядження акумуляторів), простота монтування і розбирання, стійкість до впливу природних факторів.

Проте слід сказати і про деякі її недоліки. По-перше, для сонячної енергетики потрібне використання великих земельних площ під електростанції. По-друге, СЕС не працює вночі і недостатньо ефективно працює у ранкових і вечірніх сутінках. При цьому пік споживання електроенергії припадає саме на вечірні години. Крім того, потужність електростанції може стрімко і несподівано коливатися внаслідок змін погоди. Для подолання цих недоліків потрібно або використовувати ефективні електричні акумулятори, або будувати гідроакумулюючі станції, які теж займають велику територію, або використовувати концепцію водневої енергетики, яка також поки далека від економічної ефективності. Проблема залежності потужності сонячної електростанції від часу доби і погодних умов може бути вирішена спорудженням сонячних аеростатних електростанцій. Ще один шлях вирішення проблеми –

					08-48 РЕЗ 207.01.01 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

будівництво гібридних електростанцій, тобто вдень електроенергія виробляється параболічними концентраторами, а вночі – з природного газу.

По-третє, сонячні фотоелементи високовартісні. Ймовірно, з розвитком технології цей недолік буде подолано. Ще одним недоліком є недостатній ККД сонячних елементів. Крім того, поверхню фотоелектричних панелей періодично потрібно очищувати від пилу та інших забруднень. Зважаючи на те, що їх площа досягає декількох квадратних кілометрів, це також можна вважати серйозним недоліком.

Ефективність фотоелектричних елементів значно знижується при їх нагріванні, тому виникає необхідність в установці систем охолодження, зазвичай водяних. Знижується вона також і через 30 років експлуатації, що теж належить до проблемних питань.

Незважаючи на екологічну чистоту отримуваної енергії, самі фотоелементи містять отруйні речовини, наприклад, свинець, кадмій, галій, миш'як. Сучасні фотоелементи мають обмежений термін експлуатації (30-50 років), їх активне застосування передбачатиме виникнення проблеми їх утилізації. Тому останнім часом починає активно розвиватися виробництво тонкоплівкових фотоелементів, у складі яких міститься близько 1 % кремнію, завдяки чому вони дешевші у виробництві, але поки мають меншу ефективність.

Північна Асоціація США з поновлюваних джерел енергії у своїй публікації «Сонячна енергія», опублікованій в 2008-му році, пише: «З усіх доступних поновлюваних джерел енергії саме сонячна енергія і сонячні батареї наносять мінімальної шкоди навколишньому середовищу. Електрика, вироблена за допомогою сонячних батарей, не робить шкідливого впливу на повітряні маси. Ніяк не забруднює ні поверхневі, ні підземні води, не виснажує природні ресурси і не несе небезпеки, як для тваринного світу, так і для здоров'я людини. Єдиний реально небезпечний ефект даного типу енергії пов'язаний з отриманням певної кількості токсичних речовин і хімікатів, наприклад, кадмію і миш'яку, які використовуються при виробництві сонячних батарей. Але, за великим рахунком,

					08-48 РЕЗ 207.01.01 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

і ці негативні ефекти мінімальні за своїм обсягом, якщо є продумана політика в плані їх повторного використання та утилізації».

У 2008-му році Управління енергоефективністю та поновлювальними джерелами енергії (EERE) на своєму сайті в блоці «Чому так важлива сонячна енергетика» розмістило наступний матеріал: «Малі електричні підстанції наносять незначний збиток навколишньому середовищу, так само як і сонячні батареї. Дивно, але так запросто виробляючи потрібну людині електричну енергію, сонячні батареї не забруднюють навколишнє середовище, не виробляють ризиковані для фауни і флори викиди і відходи. Це виробництво енергії не вимагає ні рідкого, ні газоподібного палива, його не треба ні транспортувати, ні спалювати.»

2.3 Проблема утилізації сонячних панелей

Утилізація значних обсягів сонячних модулів на конкретній території призводить до збільшення ризику для місцевої флори, фауни і для здоров'я людей. Витік хімічних реагентів з утилізованих модулів дає можливість зараження місцевого ґрунту і поверхневих вод.

Питання утилізації сонячних батарей в світі ще не до кінця вирішене. Далі представлений у вирішенні цього питання підхід Німеччини - провідного світового лідера в сфері відновлюваної енергетики.

У Німеччині вже давно діє система переробки макулатури і пластикових пляшок. Однак вона не поширюється на переробку високотехнологічного обладнання, напівпровідників і цінних металів.

Компанія «PV-Cycle» обслуговує 89 приймальних пунктів відпрацьованих сонячних панелей в Німеччині. Засновник компанії «PV-Cycle» стверджує, що прийом відпрацьованих панелей проводиться тими ж компаніями, які встановили даний сонячний модуль. Але, що стосується великогабаритного обладнання, навіть компанія PV-Cycle немає умов для його переробки.

					08-48 РЕЗ 207.01.01 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

«PV-Cycle» - загальноєвропейська система, яка пропонує послуги з управління відходами сонячної енергетики. Дані об'єкти сонячної енергетики, які потребують утилізації, відповідають «Директиві щодо відпрацьованого електричного й електронного обладнання».

Дана директива покладає відповідальність за утилізацію відпрацьованого електричного й електронного обладнання на його виробників. Такі компанії мають запровадити інфраструктуру для збору відпрацьованого електричного й електронного обладнання: «Користувачам електричного й електронного обладнання у приватних домогосподарствах слід надати принаймні можливість безкоштовного повернення відпрацьованого електричного й електронного обладнання». Крім того, компанії зобов'язані використовувати зібрані відходи в безпечний для навколишнього середовища спосіб – шляхом або екологічно безпечної утилізації, або повторного використання чи відновлювального ремонту зібраного відпрацьованого електричного й електронного обладнання.

Директива WEEE (Waste Electrical & Electronic Equipment) зобов'язала двадцять п'ять країн, які в той час були членами ЄС, втілити її вимоги в національних законах до 13 серпня 2004 року. Зробити це до встановленого терміну встиг лише Кіпр. До 13 серпня 2005 року, рік по тому, усі країни-члени (окрім Великої Британії) запровадили принаймні основні вимоги. У закони Великої Британії вимоги Директиви WEEE були втілені у 2007 році. Оскільки в різних країнах процес втілення вимог Директиви WEEE відбувався по-різному, у країнах Європи виникло чимало різноманітних проблем, пов'язаних із втіленням цих вимог і їх відповідності національним законам.

Переробка фотоелектричних модулів – це ще молода сфера промисловості, яка тільки саме набирає обертів.

У майбутньому кількість відходів сонячної енергетики буде тільки зростати. Найбільший відсоток відходів, близько 90 %, становить скло. Меншу частку становлять кабелі і напівпровідники з цінних металів, які обмотані з усіх боків пластиком. Компанії застосовують для переробки таких матеріалів теплові або

					08-48 РЕЗ 207.01.01 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

механічні методи. Наприклад, щоб отримати бажану сировину, на підприємствах широко застосовуються подрібнювачі і дробарки.

Іншою проблемою є те, що зі збільшенням виробництва електроенергії з використанням фотоелектричних установок, зростає попит на рідкісні метали – наприклад, телур і індій, які використовуються в платах сонячних модулів. В результаті цього запаси руди будуть знижуватись, тому необхідно буде освоювати нові глибини для видобутку рідкісних металів.

На сучасному етапі розвитку «сонячних» технологій при виготовленні батарей використовуються шкідливі речовини, які тим чи іншим чином можуть нашкодити природі. Вже готові зразки (фотоелементи) містять отруйні речовини, такі як свинець, кадмій, галій, миш'як.

На сьогоднішній день, більшість частин сонячного модуля можуть бути перероблені, це, насамперед, напівпровідникові матеріали або скло, а також велика кількість чорних і кольорових металів.

Можливості переробки залежить від виду технології, використовуваної в сонячних модулях:

– Сонячні батареї на основі кремнію

Підготовча фаза включає в себе вилучення рами та розподільчого коробу вручну перед початком процесу переробки сонячного модуля. Модуль потім подрібнюють в млині і різні фракції розділяють. Вихідними фракціями є чорні і кольорові метали, скло, кремній і пластмаса. За допомогою даного методу переробки можна відновити більше 80% початкової ваги сонячної батареї.

– Сонячні модулі не на основі кремнію

Вони вимагають застосування спеціальних технологій переробки, таких як використання хімічних ванн для того, щоб відокремити різні напівпровідникові матеріали. Процес переробки модулів на основі телуриду кадмію починається шляхом дроблення модулів і потім розподілу різних фракцій. Цей процес переробки призначений для відновлення до 90% скла і 95% напівпровідникових матеріалів, що містяться в сонячних батареях.

					08-48 РЕЗ 207.01.01 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В результаті скло з перероблених фотоелектричних модулів переміщується із звичайним склобом і частково зі скловолкнами або ізоляційними матеріалами і частково зі склотарою. Метали і пластики можуть бути використані для виробництва новий видів сировини.

Кремній з відпрацьованих сонячних батарей переробляється на установці компанії «Solar World». Оскільки відсутня єдина система приймання відпрацьованих сонячних панелей на завод-виготовлювач, розвиток ринку переробки тільки починається.

2.4 Спосіб вилучення шкідливих речовин при утилізації сонячних модулів

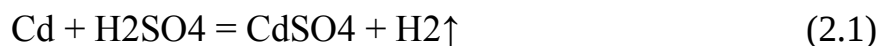
Переробка сонячних батарей є процесом з відновлення та експлуатації тих матеріалів, з яких вони виготовлені. Під час цього процесу є можливість витягувати метали, які потім вдруге включатимуться до складу нових виробів. Метою такого процесу є збереження сировини. Переробка подібних виробів сприяє збереженню навколишнього середовища для здорової життєдіяльності людини.

Так як свинцево-кадмієві гальванічні елементи містять в своєму складі свинець та кадмій, які можна за допомогою ресурсозберігаючої й екологічно безпечної технології повернути дані компоненти СКЕ у сферу виробництва з урахуванням їх екологічних стандартів, а також поліпшити екологію довкілля. Дану технологію переробки можна використати і для витягування свинцю і кадмію із сонячних батарей в процесі їх утилізації [11].

Для переробки сонячних модулів пропонується реагентний спосіб, заснований на різній здатності кадмію, свинцю та їх сполук до комплексоутворення, відношення до кислот, лугів і розчинності.

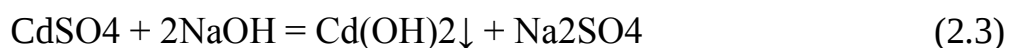
Відпрацьовані сонячні панелі спочатку треба подрібнити і розділити різні фракції. Фракції, що містять свинець та кадмій, потрібно розчинити в 60 % сірчаній кислоті. При цьому відбудуться наступні реакції (2.1, 2.2):

					08-48 РЕЗ 207.01.01 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Використання сірчаної кислоти з концентрацією понад 60 % недоцільне, оскільки знижується розчинність сульфату кадмію. У результаті цих процесів утворюється змішаний розчин сульфатів кадмію і свинцю та газоподібна суміш водню і кисню (останні надалі можна використовувати для різних технічних цілей).

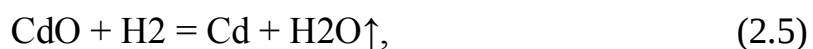
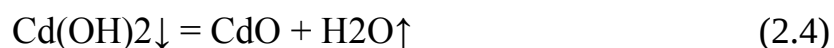
Для розділення кадмію і свинцю розчин сульфатів цих металів фільтрують і отримують осад сульфату свинцю, в розчині залишається сульфат кадмію, який після стехіометричної обробки розчином гідроксиду натрію осідає у вигляді гідроксиду кадмію (2.3) [11].



Осад фільтрують і отримують розчин сульфату натрію, який випаровують, кристалізують і сушать.

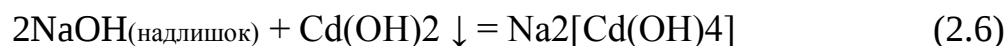
Кадмій з осаду його гідроксиду повертають у сферу виробництва ХДС (хімічних джерел струму) у вигляді металевого кадмію по реакціях (2.4, 2.5):

t°



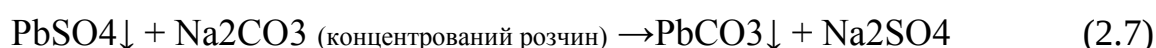
або в сферу гальванічного виробництва у вигляді електроліту $\text{Na}_2[\text{Cd}(\text{OH})_4]$ (2.6):

					08-48 РЕЗ 207.01.01 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Альтернативним реагентом для виділення кадмію є 25 %-й водний розчин гідроксиду амонію, з яким кадмій утворює амонійний комплекс $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$, котрий використовують у гальванічному виробництві [11].

З осаду сульфату свинцю отримують товарні продукти – свинець у вільному вигляді або оксид свинцю (IV) по реакціях (2.7 – 2.10):



Таблиця 3.1 – Етапи і хімізм процесу переробки СБ

Стадії процесу	Результати
Розчинення кадмію і діоксиду свинцю в сірчаній кислоті	$\text{Cd} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CdSO}_4 + \text{H}_2 \uparrow$ $\text{PbO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{PbSO}_4 + \text{H}_2\text{O} + 0,5\text{O}_2 \uparrow$
Розділення свинцю і кадмію фільтруванням	осад PbSO_4 , розчин CdSO_4
Отримання карбонату свинцю	$\text{PbSO}_4 \downarrow + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{PbCO}_3 \downarrow + \text{Na}_2\text{SO}_4$
Фільтрування розчину з осадом карбонату свинцю	осад PbCO_3 , розчин Na_2SO_4
Сушка і прожарювання осаду карбонату свинцю	PbO і CO_2
Відновлення оксиду свинцю (II) воднем у вільний свинець	$\text{PbO} + \text{H}_2 = \text{Pb} + \text{H}_2\text{O}$
Осадження сульфату кадмію гідроксидом натрію	осад $\text{Cd}(\text{OH})_2$, розчин Na_2SO_4
Фільтрування розчину з осадом гідроксиду кадмію	осад $\text{Cd}(\text{OH})_2$
Сушіння і прожарення осаду гідроксиду кадмію	CdO і H_2O

пульпу з реактора 6 на нутч-фільтр 12, котрий безперервно розділяє пульпу на осад і фільтрат. Осад сульфату свинцю (II) після фільтру 12 подає шнек 13 у реактор 14 [12].

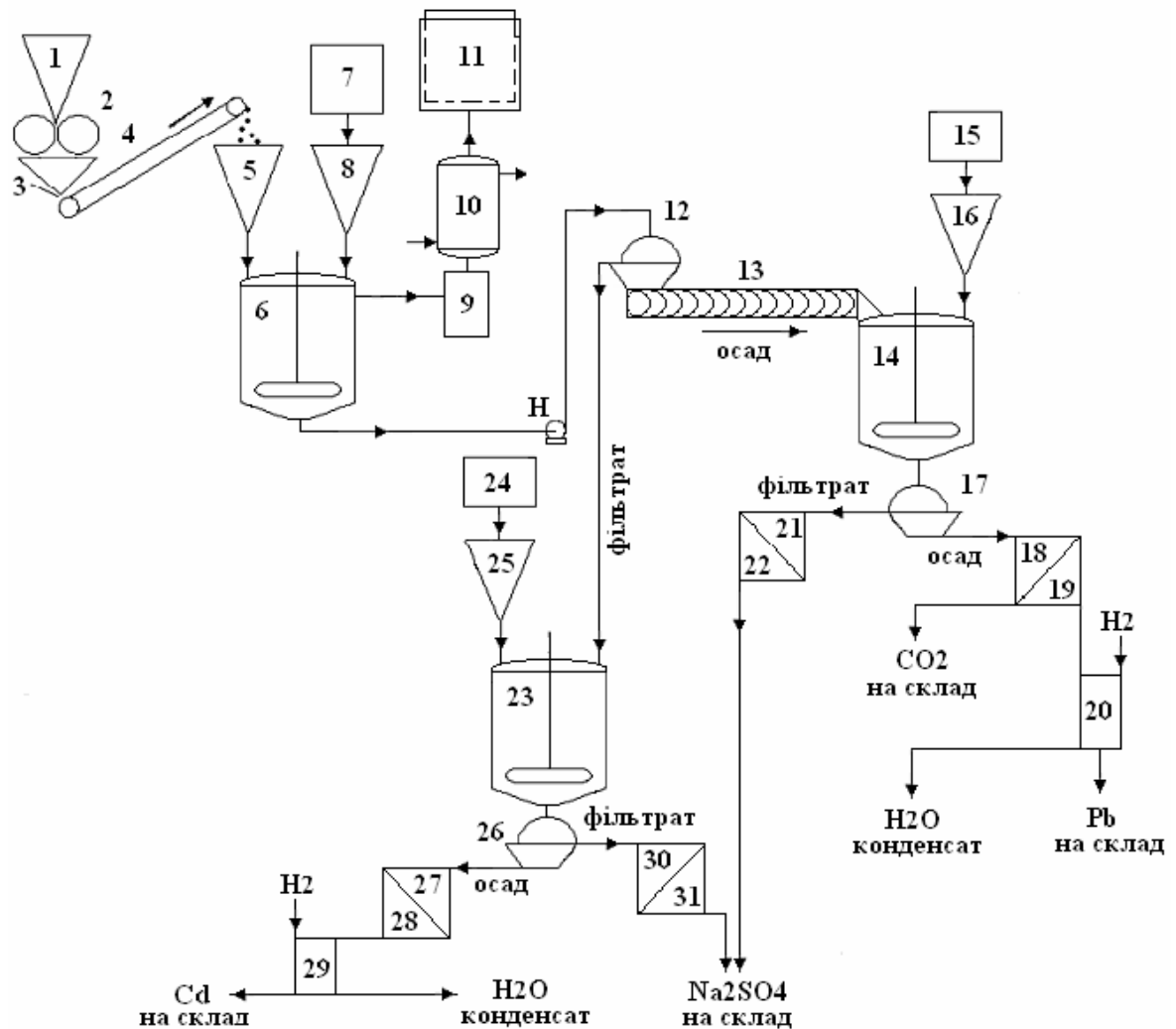


Рисунок 3.2 - Апаратурно-технологічна схема переробки відпрацьованих сонячних панелей [12]

Для перетворення сульфату свинцю (II) у карбонат свинцю (II) у реактор потрапляє насичений розчин карбонату натрію з ємності 15 через дозатор 16. Пульпа з реактора 14 потрапляє на нутч-фільтр 17, котрий її безперервно розділяє на осад і фільтрат.

Осад карбонату свинцю після фільтру 17 піддається сушінню в сушарці 18 і прожарюванню у термокамері 19 з одержанням оксиду свинцю (IV) й оксиду вуглецю (IV), котрий потрапляє на склад. Оксид свинцю відновлюють у печі 20 до металевого свинцю, що потрапляє на склад, а водяна пара утворює конденсат.

Після фільтру 17 розчин сульфату натрію упарюють у випарці 21 і сушать у сушарці 22, після чого сульфат натрію у вигляді кристалогідрату подають на склад. Фільтрат 12 (розчин сульфату кадмію) після фільтру подають у реактор 23. Для перетворення сульфату кадмію на гідроксид кадмію у реактор подають концентрований розчин гідроксиду натрію з ємності 24 через дозатор 25, а суміш осаду гідроксиду кадмію і розчину сульфату натрію, що утворилася, поступає на фільтр 26. Фільтрат (розчин сульфату натрію) після фільтру 26 подають у випарку 30 і далі на склад у вигляді кристалогідрату. Після фільтру 26 осад гідроксиду кадмію подають у сушарку 27 і термокамеру 28 для отримання сухого гідроксиду кадмію, котрий прокалюють і відновлюють у печі 29 до металевого стану і далі відправляють на склад, а водяна пара утворює конденсат. Об'єднані конденсати водяної пари використовують для приготування розчинів реагентів, котрі потрібні технологічному процесу [12].

					08-48 РЕЗ 207.01.01 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РОЗРАХУНОК СОНЯЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ

3.1 Розрахунок сумарної теплової енергії

Розрахунки будуть виконані для 240-го дня 2016 року. Для того, щоб визначити сумарну кількість енергії о 9-15 годині, яка надходить на горизонтальну поверхню, розташовану на місцевості з широтою 48 °, спочатку треба розрахувати кількість енергії, яка надходить на Землю і залежить від висоти Сонця над горизонтом (3.1):

$$h = \arcsin(\sin \mu \cdot \sin \sigma + \cos \mu \cdot \cos \sigma \cdot \cos \omega), \quad (3.1)$$

де σ – схилення Сонця (3.2):

$$\sigma = 23,5 \cdot \sin \left(360 \cdot \frac{284 + n}{365} \right), \quad (3.2)$$

де n – порядковий день року.

$$\sigma = 23,5 \cdot \sin \left(360 \cdot \frac{284 + 240}{365} \right) = 23,5 \cdot \sin 516,8 = 9,26^\circ \quad (3.3)$$

ω – годинний кут (3.4):

					08-48 РЕЗ 207.01.01 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\omega = 15 \cdot (12 - \tau), \quad (3.4)$$

де τ – добове значення години.

Кут падіння сонячних променів (3.5):

$$\cos \theta = \cos(\mu - \beta) \cdot \cos \sigma \cdot \cos \omega + \sin \sigma \cdot \sin(\mu - \beta), \quad (3.5)$$

де β – кут нахилу сонячної системи до поверхні землі, $\beta = 30^\circ$.

Таблиця 3.1 – Отримані розрахункові значення

Добове значення години, τ	Годинний кут, ω	Висота сонця над горизонтом, h	Кут падіння сонячних променів, $\cos \theta$
9 годин	45°	$36,16^\circ$	$0,71^\circ$
10 годин	30°	$44,43^\circ$	$0,86^\circ$
11 годин	15°	$49,46^\circ$	$0,96^\circ$
12 годин	0°	$51,26^\circ$	$0,99^\circ$
13 годин	-15°	$49,46^\circ$	$0,96^\circ$
14 годин	-30°	$44,43^\circ$	$0,86^\circ$
15 годин	-45°	$36,16^\circ$	$0,71^\circ$

Інтенсивність дії прямої сонячної енергії на поверхню, перпендикулярну до напрямку променів (3.6):

$$E_{\text{пр}} = \frac{1360 \cdot \sin h}{(\sin h + \frac{1 - P_{\text{пр}}}{P_{\text{пр}}})}, \quad (3.6)$$

де $P_{\text{пр}}$ – коефіцієнт прозорості атмосфери, дорівнює 0,7-0,8.

Інтенсивність прямої сонячної енергії на плоскій горизонтальній поверхні (3.7):

$$E_{\text{пр.г.}} = E_{\text{пр}} \cdot \sin h \quad (3.7)$$

Сумарна теплова енергія на поверхні, орієнтованій під певним кутом на південь (3.8):

$$E_c = 0,96 \cdot (K_{\text{пр}} \cdot E_{\text{пр}} \cdot A + K_p \cdot E_p \cdot A), \quad (3.8)$$

де $K_{\text{пр}}$, K_p – коефіцієнти, які враховують орієнтацію колектора відносно прямої і розсіяної радіації (3.9).

$K_{\text{пр}}$ визначається в залежності від кута нахилу колектора, і дорівнює 1,15.

$$K_p = \cos^2\left(\frac{\beta}{2}\right) = \cos^2\left(\frac{30}{2}\right) = \cos^2 15 = \frac{1 + \cos(2 \cdot 15)}{2} = 0,93 \quad (3.9)$$

A – оптична характеристика сонячної системи, для систем з одним шаром скла дорівнює 0,64, для систем з двома шарами скла становить 0,42.

Залежність інтенсивності розсіяної сонячної радіації у безхмарному небі, яка діє на горизонтальну поверхню, від висоти Сонця приведена в таблиці 3.2:

Таблиця 3.2 - Залежність інтенсивності розсіяної сонячної радіації у безхмарному небі, яка діє на горизонтальну поверхню, від висоти Сонця

Висота сонця, $h, ^\circ$	10	20	30	40	50	60	70
Інтенсивність розсіяної радіації, E_p , Вт/м ²	31,4	43,1	52,4	60,5	65,2	67,5	68,6

Таблиця 3.3 – Значення сумарної теплової енергії

Добове значення години, τ	Інтенсивність дії прямої сонячної енергії на поверхню, перпендикулярну до напрямку променів, Вт/м ²	Інтенсивність прямої сонячної енергії на плоскій горизонтальній поверхні, Вт/м ²	Сумарна теплова енергія на поверхні, орієнтованій під певним кутом на південь(для систем з одним шаром скла), Вт/м ²	Сумарна теплова енергія на поверхні, орієнтованій під певним кутом на південь(для систем з двома шарами скла),
--------------------------------	--	---	---	--

				Вт/м ²
9 годин	872,24	514,66	646,2	424,1
10 годин	924,32	647,06	687,6	451,2
11 годин	948,2	720,6	704,54	462,32
12 годин	955,67	745,42	742,2	467,6
13 годин	948,2	720,6	704,54	462,32
14 годин	924,32	647,06	687,6	451,2
15 годин	872,24	514,66	646,2	424,1
Середнє значення	920,7	644,3	688,4	448,9

3.2 Розрахунок необхідної площі сонячних панелей для приватного домогосподарства

За допомогою сонячної системи можна підтримувати роботу домашніх електроприладів. Тому для того, щоб електричної енергії вистачало для задоволення всіх потреб споживача, треба визначити, яку площу сонячних панелей треба встановити.

Спочатку потрібно скласти список всіх електроприладів в будинку та визначити їхнє енергоспоживання за місяць (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Енергетичний паспорт приватного домогосподарства

Тип приладу	Споживання енергії в місяць
Холодильник	24,6 кВт
Праска	3,6 кВт
Пральна машина	10 кВт
Кондиціонер	18,5 кВт
Мікрохвильова піч	10,5 кВт
Комп'ютер	11,7 кВт
Мультиварка	15 кВт
Разом	93,9 кВт

Знаючи питому теплоту згоряння природного газу (11,4 кВт/м³) та вугілля (8,1 кВт/кг) можна визначити необхідну кількість природного газу та вугілля для вироблення необхідної кількості електроенергії (табл. 3.5).

Сумарний річний потенціал сонячної енергії на місцевості з широтою 48 ° становить (3.10):

$$P_c = 688,4 \cdot 365 = 251266 \frac{\text{Вт} \cdot \text{м}^2}{\text{рік}} \quad (3.10)$$

Приймаємо, що 1 Вт $\approx$ 3,6 кДж, тоді $251266 \cdot 3,6 = 904557,6$ кДж = 0,904 ГДж.

Таблиця 3.5 – Необхідна кількість природного газу та вугілля для вироблення необхідної кількості електроенергії

Назва	Витрачена електроенергія, кВт/місяць	Необхідна кількість природного газу, м³	Необхідна кількість вугілля, кг
Холодильник	24,6 кВт	$24,6 \div 11,4 = 2,16$	$24,6 \div 8,1 = 3,04$
Праска	3,6 кВт	$3,6 \div 11,4 = 0,32$	$3,6 \div 8,1 = 0,44$
Пральна машина	10 кВт	$10 \div 11,4 = 0,88$	$10 \div 8,1 = 1,23$
Кондиціонер	18,5 кВт	$18,5 \div 11,4 = 1,62$	$18,5 \div 8,1 = 2,28$
Мікрохвильова піч	10,5 кВт	$10,5 \div 11,4 = 0,92$	$10,5 \div 8,1 = 1,3$
Комп'ютер	11,7 кВт	$11,7 \div 11,4 = 1,03$	$11,7 \div 8,1 = 1,44$
Мультиварка	15 кВт	$15 \div 11,4 = 1,32$	$15 \div 8,1 = 1,85$
Разом за місяць	93,9 кВт	$93,9 \div 11,4 = 8,24$	$93,9 \div 8,1 = 11,59$
Разом за рік	$93,9 \cdot 12 = 1126,8$ кВт	$1126,8 \div 11,4 = 98,8$	$1126,8 \div 8,1 = 139,1$

Потенційна кількість енергії сонця, яку можна отримати з одиниці площі (3.11):

$$E_c = P_c \times \frac{q}{100\%}, \quad (3.11)$$

де P_c – сумарний річний потенціал енергії сонця, ГДж/м²,

q – ефективність роботи сонячної панелі, ККД, %.

Якщо приватне домогосподарство розташоване на місцевості з широтою 48°, то потенційна кількість енергії сонця, яку можна отримати з одиниці площі становить (табл. 3.6):

Таблиця 3.6 - Потенційна кількість енергії сонця, яку можна отримати з одиниці площі

Сумарний річний потенціал сонячної енергії, P_c , ГДж/м ²	Ефективність роботи сонячної панелі, ККД, %				
	Монокристалічна СБ	Полікристалічна СБ	СБ з аморфного кремнію	СП з телуриду кадмію	СП на основі CIGS
	17	14	7	10	15
	Потенційна кількість енергії сонця, яку можна отримати з одиниці площі, E_c , ГДж/м ²				
0,904	0,154	0,127	0,063	0,09	0,136

Кількість енергії, яка виділяється при спалюванні всієї кількості палива N (3.12):

$$E = N \cdot n, \quad (3.12)$$

де n – кількість енергії, яка виділяється при спалюванні палива,

N – споживання органічного палива.

Теплотворна здатність вугілля становить 20 МДж/кг, природного газу 36 МДж/м³. Тоді кількість енергії, яка виділяється при спалюванні всієї кількості палива буде складати (табл. 3.7):

Таблиця 3.7 - Кількість енергії, яка виділяється при спалюванні палива

Споживання органічного палива, N		Кількість енергії, E	
		МДж	ГДж
Природний газ	Вугілля		
98,8 м ³	139,1 кг	98,8 м ³ · 36 МДж/м ³ = 3556,8 МДж 139,1 кг · 20 МДж/кг = 2782 МДж	3,5568 2,782

Для отримання необхідної кількості енергії треба встановити таку площу сонячних панелей (3.13):

$$S = \frac{E}{E_c} \quad (3.13)$$

Таблиця 3.8 - Необхідна площа сонячних панелей

Необхідна площа сонячних панелей, м ²					
Вид палива	Монокристалічна СБ	Полікристалічна СБ	СБ з аморфного кремнію	СП з телуриду кадмію	СП на основі CIGS
Природний газ	23,1	28	56,5	39,52	26,2
Вугілля	18,1	21,9	44,2	30,9	20,5

3.3 Розрахунок необхідної площі сонячних панелей для областей України

Потенційна кількість енергії сонця, яку можна отримати з одиниці площі (3.14):

$$E_c = P_c \times \frac{q}{100\%}, \quad (3.14)$$

де P_c – сумарний річний потенціал енергії сонця, ГДж/м²,

q – ефективність роботи сонячної панелі, ККД, %.

Кількість енергії, яка виділяється при спалюванні всієї кількості палива N , яке використовується в окремій області (3.15):

$$E = N \cdot n, \quad (3.15)$$

де n – кількість енергії, яка виділяється при спалюванні 1 т. у.п.,

$n = 29\,300$ МДж,

N – споживання органічного палива, млн. т. у.п.

Для отримання необхідної кількості енергії треба встановити таку площу сонячних панелей (3.16):

$$S = \frac{E}{E_c} \quad (3.16)$$

Таблиця 3.9 - Потенційна кількість енергії сонця, яку можна отримати з одиниці площі

№ п/п	Області	Сумарний річний потенціал сонячної енергії, P_c , ГДж/м ²	Ефективність роботи сонячної панелі, ККД, %				
			Монокристалічна СБ	Полікристалічна СБ	СБ з аморфного кремнію	СП з телуриду кадмію	СП на основі CIGS
			17	14	7	10	15
			Потенційна кількість енергії сонця, яку можна отримати з одиниці площі, E_c , ГДж/м ²				
1.	Вінницька	4,2	0,714	0,588	0,294	0,42	0,63
2.	Волинська	3	0,51	0,42	0,21	0,3	0,45
3.	Дніпропетровська	5,1	0,867	0,714	0,357	0,51	0,765
4.	Донецька	4,5	0,765	0,63	0,315	0,45	0,675
5.	Житомирська	4,5	0,765	0,63	0,315	0,45	0,675
6.	Закарпатська	2,25	0,3825	0,315	0,1575	0,225	0,3375
7.	Запорізька	4,8	0,816	0,672	0,336	0,48	0,72
8.	Івано-Франківська	2,25	0,3825	0,315	0,1575	0,225	0,3375
9.	Київська	3,45	0,5865	0,483	0,2415	0,345	0,5175
10.	Кіровоградська	4,05	0,6885	0,567	0,2835	0,405	0,6075
11.	Луганська	4,5	0,765	0,63	0,315	0,45	0,675
12.	Львівська	3,45	0,5865	0,483	0,2415	0,345	0,5175
13.	Миколаївська	4,5	0,765	0,63	0,315	0,45	0,675
14.	Одеська	6,3	1,071	0,882	0,441	0,63	0,945
15.	Полтавська	4,5	0,765	0,63	0,315	0,45	0,675
16.	Рівненська	3	0,51	0,42	0,21	0,3	0,45
17.	Сумська	3,75	0,6375	0,525	0,2625	0,375	0,5625

18.	Тернопільська	2,25	0,3825	0,315	0,1575	0,225	0,3375
19.	Харківська	4,95	0,8415	0,693	0,3465	0,495	0,7425
20.	Херсонська	5,4	0,918	0,756	0,378	0,54	0,81
21.	Хмельницька	3,3	0,561	0,462	0,231	0,33	0,495
22.	Черкаська	3,3	0,561	0,462	0,231	0,33	0,495
23.	Чернівецька	1,5	0,255	0,21	0,105	0,15	0,225
24.	Чернігівська	4,8	0,816	0,672	0,336	0,48	0,72

Таблиця 3.10 - Кількість енергії, яка виділяється при спалюванні всієї кількості палива N, яке використовується в окремій області

Області	Споживання органічного палива N, млн. т у. п.	Кількість енергії, Е	
		МДж	ГДж
Вінницька	7,777	227866100000	227866100
Волинська	3,064	89775200000	89775200
Дніпропетровська	27,023	791773900000	791773900
Донецька	33,795	990193500000	990193500
Житомирська	2,399	70290700000	70290700
Закарпатська	1,175	34427500000	34427500
Запорізька	14,568	426842400000	426842400
Івано-Франківська	6,916	202638800000	202638800
Київська	16,458	482219400000	482219400
Кіровоградська	2,855	83651500000	83651500
Луганська	10,63	311459000000	311459000
Львівська	8,604	252097200000	252097200
Миколаївська	5,22	152946000000	152946000
Одеська	7,046	206447800000	206447800
Полтавська	10,492	307415600000	307415600
Рівненська	2,282	66862600000	66862600
Сумська	5,122	150074600000	150074600
Тернопільська	2,56	75008000000	75008000

Харківська	15,298	448231400000	448231400
Херсонська	3,455	101231500000	101231500
Хмельницька	2,579	75564700000	75564700
Черкаська	4,819	141196700000	141196700
Чернівецька	1,348	39496400000	39496400
Чернігівська	3,672	107589600000	107589600

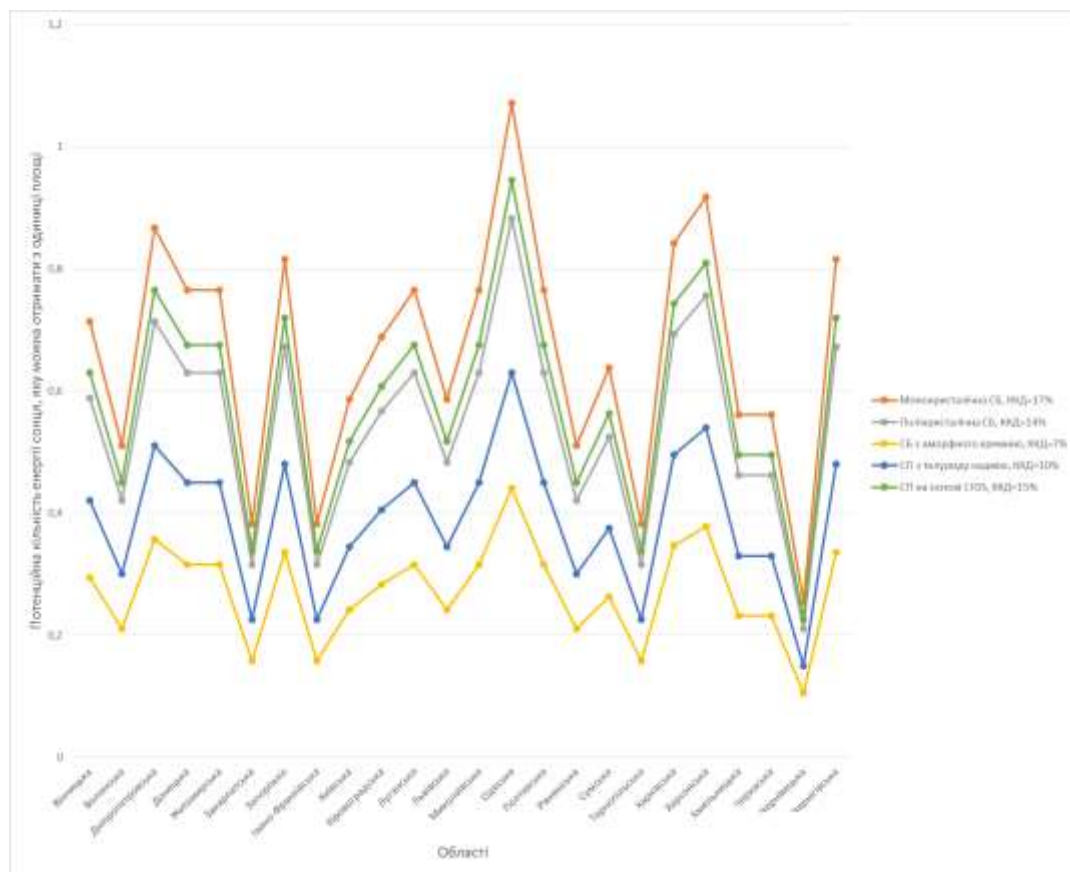


Рисунок 3.1 - Потенційна кількість енергії сонця, яку можна отримати з одиниці площі в різних областях України

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

08-48 РЕЗ 207.01.01 ПЗ

Арк.

41

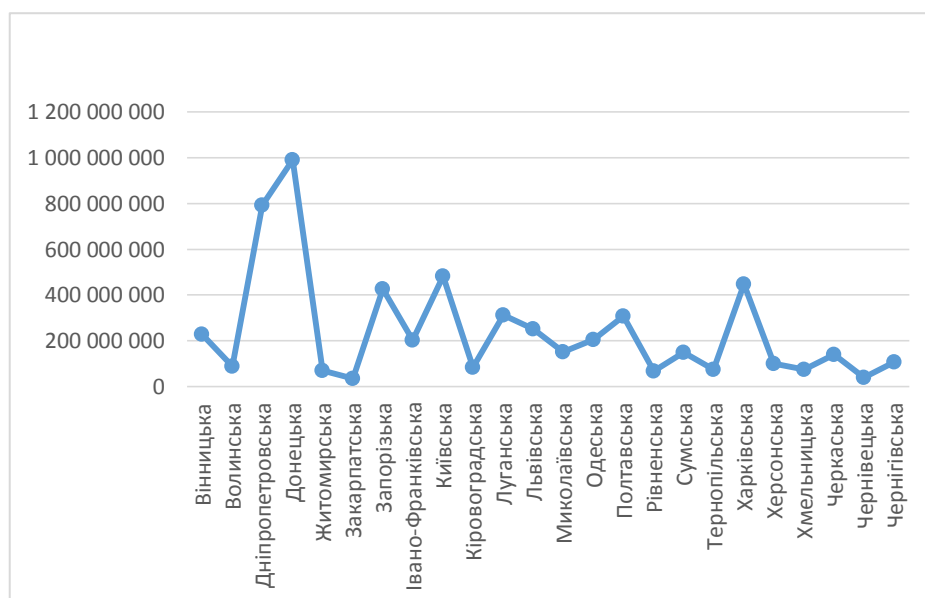


Рисунок 3.2 - Кількість енергії, яка виділяється при спалюванні всієї кількості палива N, яке використовується в окремій області

Таблиця 3.11 - Необхідна площа сонячних панелей

№ п/п	Області	Необхідна площа сонячних панелей, га				
		Монокристалічна СБ	Полікристалічна СБ	СБ з аморфного кремнію	СП з телуриду кадмію	СП на основі CIGS
1.	Вінницька	31914,0	38752,7	77505,5	54253,8	36169,2
2.	Волинська	17603,0	21375,0	42750,1	29925,1	19950,0
3.	Дніпропетровська	91323,4	110892,7	221785,4	155249,8	103499,9
4.	Донецька	129437,1	157173,6	314347,1	220043,0	146695,3
5.	Житомирська	9188,3	11157,3	22314,5	15620,2	10413,4
6.	Закарпатська	9000,7	10929,4	21858,7	15301,1	10200,7
7.	Запорізька	52309,1	63518,2	127036,4	88925,5	59283,7
8.	Івано-Франківська	52977,5	64329,8	128659,6	90061,7	60041,1
9.	Київська	82219,8	99838,4	199676,8	139773,7	93182,5
10.	Кіровоградська	12149,8	14753,4	29506,7	20654,7	13769,8
11.	Луганська	40713,6	49437,9	98875,9	69213,1	46142,1
12.	Львівська	42983,3	52194,0	104388,1	73071,7	48714,4
13.	Миколаївська	19992,9	24277,1	48554,3	33988,0	22658,7

14.	Одеська	19276,2	23406,8	46813,6	32769,5	21846,3
15.	Полтавська	40185,0	48796,1	97592,3	68314,6	45543,1
16.	Рівненська	13110,3	15919,7	31839,3	22287,5	14858,4
17.	Сумська	23541,1	28585,6	57171,3	40019,9	26679,9
18.	Тернопільська	19609,9	23812,1	47624,1	33336,9	22224,6
19.	Харківська	53265,8	64679,9	129359,7	90551,8	60367,9
20.	Херсонська	11027,4	13390,4	26780,8	18746,6	12497,7
21.	Хмельницька	13469,6	16356,0	32712,0	22898,4	15265,6
22.	Черкаська	25168,8	30562,1	61124,1	42786,9	28524,6
23.	Чернівецька	15488,8	18807,8	37615,6	26330,9	17554,0
24.	Чернігівська	13185,0	16010,4	32020,7	22414,5	14943,0

ВИСНОВКИ

1. В першому розділі курсового проекту розглянуто загальну характеристику кристалічних фотоелементів (монокристалічних та полікристалічних) та тонкоплівкових фотоелементів (фотоелементів з використанням індію і міді (CIS технологія), фотоелементів з використанням телуриду кадмію (CdTe технологія) та фотоелементів з використанням аморфного кремнію). Проаналізовано шляхи використання сонячних панелей та потенціал геліоенергетики в Україні.

2. В другому розділі розглянуто основи технології фотоелектричних перетворювачів та недоліки сонячних панелей. Найбільш ефективними, з енергетичної точки зору, пристроями для перетворення сонячної енергії в електричну є напівпровідникові фотоелектричні перетворювачі (ФЕП), оскільки це прямий, одноступінчастий перехід енергії. Досліджено питання утилізації сонячних батарей та запропоновано спосіб вилучення шкідливих речовин при утилізації сонячних батарей. Для переробки сонячних модулів пропонується

					08-48 РЕЗ 207.01.01 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

реагентний спосіб, заснований на різній здатності кадмію, свинцю та їх сполук до комплексоутворення, відношення до кислот, лугів і розчинності.

3. В третьому розділі здійснено розрахунок сонячного потенціалу, зокрема: розраховано сумарну теплову енергію на поверхні, орієнтованій під певним кутом на південь(для систем з одним та двома шарами скла) та здійснено розрахунок необхідної площі сонячних панелей для приватного домогосподарства та для різних областей України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Журнал «Екологія життя», стаття Ірини Лещук «Типи та особливості сонячних батарей для індивідуальної енергетичної установки», опубліковано в журналі 01.04.2012. [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://www.eco-live.com.ua/content/blogs/tipi-ta-osoblivosti-sonyachnikh-batarey-dlya-individualnoi-energetichnoi-ustanovki>
2. ПКП «Техноноватор»: Типи сонячних батарей [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://tehnonovator.com.ua/ua/energy-ua/sun-battery-ua/types-sun-battery-ua.html>
3. Atmosfera: Сонячні електростанції – Типи сонячних панелей [Електронний ресурс]/Режимдоступу:<http://www.atmosfera.ua/uk/sonyachni-elektrostantsii/tipi-sonyachnix-panelej/>
4. Олійник Я.Б. Основи екології: підручник / Я. Б. Олійник, П. Г. Шищенко, О. П. Гавриленко. - К. : Знання, 2012. - 558 с.

5. Atmosfera: Сонячні електростанції – Використання сонячних електростанцій
[Електронний ресурс] / Режим доступу:
<http://www.atmosfera.ua/uk/sonyachni-elektrostantsii/vikoristannya-sonyachnix-elektrostantsij/>
6. Півняк Г.Г. Альтернативна енергетика в Україні: монографія / Г.Г. Півняк, Ф.П. Шкрабець; Нац. гірн. ун-т. Д.: НГУ, 2013. – 109 с.
7. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України
[Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://saee.gov.ua/uk>
8. Волошин О.Л. Розвиток альтернативної енергетики в Україні: сучасний стан та результативність механізмів державного регулювання: стаття здобувача науково дослідної лабораторії управління у сфері цивільного захисту Національного університету цивільного захисту України, м. Харків / О.Л. Волошин.- 2015.-6с.
9. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 01.10.14 № 902-р «Про Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2020 року» - 4 с. [Електронний ресурс] / Режим доступу:
<http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/902-2014-%D1%80/page>
10. Rentechno: блог «Основи технології кремнієвих ФЕП» від 14.04.2013р.
[Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://rentechno.ua/ua/blog/si-solar-cell-technology.html>
- 11.Дмитриков В. П., Падалка В. В., Проценко О. В., Коломєєц В. І., Переробка відпрацьованих свинцево-кадмієвих гальванічних елементів; Повідомлення 1: Принципи і процеси переробки // ВІСНИК Полтавської державної аграрної академії. - Полтава, 2013. - Вип. 2. - С. 123-126.
- 12.Дмитриков В. П., Падалка В. В., Проценко О. В., Коломєєц В. І., Технологія переробки відпрацьованих свинцево-кадмієвих гальванічних елементів; Повідомлення 2: Технологічна схема переробки // ВІСНИК Полтавської державної аграрної академії. - Полтава, 2013. - Вип. 3. - С. 168-170.

Додаток Б – Вихідні дані

№ п/п	Області	Сумарний річний потенціал сонячної енергії, Р _с , ГДж/м ²	Споживання органічного палива N, млн. т у. п.
1.	Вінницька	4,2	7,777
2.	Волинська	3	3,064
3.	Дніпропетровська	5,1	27,023
4.	Донецька	4,5	33,795
5.	Житомирська	4,5	2,399
6.	Закарпатська	2,25	1,175
7.	Запорізька	4,8	14,568
8.	Івано-Франківська	2,25	6,916
9.	Київська	3,45	16,458
10.	Кіровоградська	4,05	2,855
11.	Луганська	4,5	10,63

12.	Львівська	3,45	8,604
13.	Миколаївська	4,5	5,22
14.	Одеська	6,3	7,046
15.	Полтавська	4,5	10,492
16.	Рівненська	3	2,282
17.	Сумська	3,75	5,122
18.	Тернопільська	2,25	2,56
19.	Харківська	4,95	15,298
20.	Херсонська	5,4	3,455
21.	Хмельницька	3,3	2,579
22.	Черкаська	3,3	4,819
23.	Чернівецька	1,5	1,348
24.	Чернігівська	4,8	3,672

Додаток В – Схема технології виробництва сонячних модулів



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

08-48 РЕЗ 207.01.01 ПЗ

Арк.

47

Додаток Г – Процес складання сонячної панелі

					08-48 РЕЗ 207.01.01 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

