

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**Інститут (факультет):** ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого

**Кафедра:** Електропостачання та енергоменеджменту

«До захисту в ЕК»

«До захисту допущено»

Директор інституту (декан факультету)

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
( підпис )                      Сергій Блаженко  
( прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_  
( підпис)    Сергій Балюта  
( прізвище та ініціали)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020р.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020р.

**Кваліфікаційна робота**

**на здобуття освітнього ступеня бакалавра**

з спеціальності: 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

(шифр та назва напряму підготовки (спеціальності))

на тему: **Комплексне енергозабезпечення підприємства деревообробної промисловості з використанням паливних елементів.**

Виконав: здобувач 5 курсу, групи Ваган Владислав Йосипович  
(прізвище та ініціали)

Керівник Серьогін Олександр Олександрович \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали) (підпис)

Консультанти \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали) (підпис)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали) (підпис)

Я, як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій, розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач \_\_\_\_\_



## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_  
11 листопада 2022 року \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів виконання кваліфікаційного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Отримання завдання на дипломне проектування	11.11.2022 р	
2	Характеристика твердих видів біопалива	12.11.2022 р	
3	Технологічні схеми виробництва твердого біопалива	26.11.2022 р	
4	Обладнання для подрібнення біосировини	07.12.2022 р	
5	Основні характеристики сонячного колектора	14.12.2022 р	
6	Потужність сонячного колектора	21.12.2022 р	
7	Продуктивність сонячного колектора	25.12.2022 р	
8	Вибір типу колектора	29.12.2022 р	
9	Установки комунально-побутового призначення	03.01.2023 р	
10	Водонагрівачі з природною циркуляцією води	07.01.2023 р	
11	Водонагрівальні установки з примусовою циркуляцією води	14.01.2023 р	
12	Системи сонячного постачання будівель	21.01.2023 р	
13	Паливні геліосистеми постачання будівель	25.01.2023 р	
14	Використання сонячних панелей для зарядки електромеханічних засобів пересування	27.01.2023 р	
15	Розрахунок сонячної електростанції	31.01.2023 р	
16			
17	Здача роботи на перевірку		

Здобувач

\_\_\_\_\_ (підпис)

Ваган В.Й.  
(прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Серьогін О.О.  
(прізвище та ініціали)

## **АНОТАЦІЯ**

Метою даної роботи було зрозуміти, що таке комплексне енергопостачання підприємства деревообробної промисловості з використанням паливних елементів, зрозуміти як використовуються і де використовуються. Проаналізовано сучасний стан розвитку галузі, дано короткий опис електростанції для легких електроциклів. Представлені дані про грануляцію деревини, визначено оптимальні умови, а також складено профіль навантаження споживача, виконаний розрахунок і обґрунтування електростанції для гарантованого безперебійного живлення зарядних пристроїв станції.

## **ABSTRACT**

The purpose of this work was to understand what solar panels are, to understand how they are used and where they are used. The current state of development of solar panels is analyzed, a brief description of the electric charging station for light electric cycles is given.

Data on solar insolation on a flat surface are presented, the optimal angle of inclination of photomodules is determined, and also the profile of loading of the consumer is made, calculation and substantiation of solar power plant for the guaranteed uninterruptible power supply of chargers of station is made.

## Зміст

<b>Вступ</b>	<b>7</b>
<b>РОЗДІЛ 1. Тверде біопаливо</b>	<b>10</b>
1.1. Загальна характеристика процесу гранулювання та біопаливний потенціал України	10
1.2. Виробництво гранул та брикетів з точки зору якісних характеристик	14
1.3. Технологічні схеми виробництва твердого біопалива	19
1.4. Обладнання для подрібнення біосировини	20
1.5. Обладнання для сушки біосировини	25
<b>2. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА</b>	<b>28</b>
2.1. Нагрівання енергією сонця	28
2.2. Конструкція і функціонування	29
2.2.1. Колектори з плоскими пластинами	29
2.2.2. Евакуйовані колекторні трубки	33
2.3. Температура стагнації	34
2.4. Потужність сонячного колектора	35
2.4.1. Максимальна потужність	35
2.4.2. Продуктивність сонячного колектора	36
2.4.3. Площа колектора	38
2.4.4. Вибір типу колектора	39
<b>3. СОНЯЧНІ УСТАНОВКИ КОМУНАЛЬНО-ПОБУТОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ</b>	<b>40</b>
3.1. Сонячний нагрів води	40
3.1.1. Водонагрівачі з природною циркуляцією води	42
3.1.2. Водонагрівальні установки з примусовою циркуляцією води	47
3.2. Системи сонячного постачання будівель	54
3.3. Паливні геліосистеми постачання будівель	55
<b>4. СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ НА ОСНОВІ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ</b>	<b>58</b>

4.1. Фотоелектричні елементи і їх види.....	59
4.1.1. Фотоелементи з монокристалічного кремнію.....	60
4.1.2. Фотоелементи з полікристалічного кремнію.....	60
4.1.3. Фотоелементи з аморфного кремнію.....	61
4.2. Переваги сонячних панелей.....	62
4.3. Використання сонячних панелей для зарядки електромеханічних засобів пересування.....	63
5. РОЗРАХУНОК СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.....	65
5.1. Профіль електричного навантаження.....	65
5.2. Аналіз електричного навантаження споживачів.....	65
5.3. Перерахунок сонячної енергії і вибір оптимального кута установки сонячних панелей.....	66
5.4. Визначення ємності акумуляторних батарей і їх кількості .....	70
ВИСНОВКИ .....	73
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	74

## ВСТУП

Новітні технології біоенергоконверсії та переробки деревини для отримання біопалив базуються на проведених в останні 10-15 років фундаментальних й прикладних дослідженнях процесів трансформації органічних речовин. Розроблено теоретичні основи спалювання масиву пресованої деревини в струмені повітря, які базуються на положеннях теорій горіння, аеродинаміки затоплених струменів та аеродинаміки вихрових потоків. Швидкості вигорання водню, оксиду вуглецю та метану при достатній концентрації кисню описуються кінетичними рівняннями, що мають пропорційну залежність від концентрацій паливних компонентів та експоненційну залежність від рівня температур у топці. На основі виконаних теоретичних досліджень в Інституті технічної теплофізики НАН України (ІТТФ НАНУ) розроблена новітня технологія спалювання низькоякісних видів палива (високо зольних, підвищеної вологості до 50%, з нерівномірним фракційним складом) в топках з ретортною подачею палива. Технологія реалізована в експериментальному котли потужністю 100 кВт. В якості палива використовувались відходи деревини, тирса, а після модифікації котла - подрібнена солома, малі тюки соломи, стебла кукурудзи, торф. Основною перевагою новітньої технології є можливість екологічно безпечного використання відходів деревини високої вологості, при тому, що типові котли працюють ефективно при вологості біопалива не вище 35%.

Важливим чинником якості твердого біопалива є технологія приготування біомаси до спалювання. Вона обумовлює конструктивно-технологічне виконання теплотехнічного обладнання, істотно впливає на економічні показники його роботи. Науковцями Національного університету біоресурсів і природокористування (НУБіП України) розроблено технології збирання і переробки біомаси. В них використовуються спеціалізовані установки з гранулювання й брикетування біомаси. Результати розробки проблем енергетичного використання біопалив з рослинної маси втілилися в створенні нового покоління технологій й опалювальних пристроїв, що мають при оптимальному режимі роботи коефіцієнт корисної дії у межах від 80 до 90%.

Енергетика є тією галуззю економіки, яка є індикатором рівня розвитку виробництва, науки і країни в цілому. Людство за всю історію свого існування

витратило приблизно 950 трлн кВт / год енергії всіх видів, причому 2/3 від цього доводиться на останні 30 років. Тому проблема освоєння нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії стає все більш актуальною. Нетрадиційні поновлювані джерела енергії включають сонячну, вітрову, геотермальну енергію, біомасу і енергію Світового океану. В останнє десятиліття інтерес до цих джерел енергії постійно зростає, оскільки в багатьох відносинах вони необмежені.

Потенційні можливості енергетики, заснованої на застосуванні безпосередньо сонячного випромінювання, надзвичайно великі. Використання всього 0,0005% енергії Сонця могло б забезпечити всі сьгоднішні потреби світової енергетики, а 0,5% - повністю покрити потреби на перспективу.

Сонячна енергія це енергія, яка надходить від сонячного світла і тепла. Сонячна енергія дуже корисна. Ми можемо з'ясувати, як можна зробити штучний фотосинтез, використовуючи сонячну енергію в есе про сонячну енергію. Сонячна енергія поновлюваний ресурс; Поновлювані ресурси відносяться до природних ресурсів, які завжди доступні.

У 2012 році одне з енергетичних агентств також заявило, що буде здійснено довгострокове відшкодування за рахунок розширення технологій з розумною ціною, безмежною та чистою сонячною енергією. Це також підвищить енергетичну безпеку країни. Переваги, які люди отримують від сонячної енергії, є глобальними. Він також сказав, що енергію слід витратити розумно і її потрібно широко використовувати.

Сонячна енергія забезпечує ще дві енергії, які є потенційною та тепловою енергією. Ці дві енергії також дуже важливі. Ми повинні дати людям знати про ці теми, ми повинні порадижити кожному переглянути твір про сонячну енергію, щоб вони могли знати різні види відновлюваної енергії. Сонячне випромінювання оточене термофермами Землі, океанами - які охоплюють 71% світу - та атмосферою. Гаряче повітря випаровується з Світового океану, що викликає циркуляцію атмосфери. Теплова енергія пояснюється теплом або зміною температури. Теплові течії або вода у ванні, яка природно гаряча або гаряча. Ми можемо використовувати сонячні теплові технології для нагрівання води тощо. Щоб допомогти людям дати більше інформації на цю тему, ми повинні попросити їх знайти нариси сонячної енергії.

Нині також виготовлено багато сонячних водонагрівачів, які є дуже важливими. Ця система сонячної енергії також сприяє економії електроенергії. Оскільки це зменшує використання сучасних машин, для роботи яких потрібна електрична потужність. Крім того, це запобігає вирубці лісів, оскільки людям не потрібно рубати дерева, щоб нагріти воду. І багато інших причин теж.

Сонце - джерело енергії дуже великої потужності. Всього 22 дня сонячного сяйва за сумарною потужністю, що приходить на Землю, рівні всім запасам органічного палива на планеті. На практиці сонячна радіація може бути перетворена в електроенергію безпосередньо чи опосередковано. Непряме перетворення може бути здійснено шляхом концентрації радіації за допомогою стежать дзеркал для перетворення води в пару і подальшого використання пара для генерування електрики звичайними способами. Така система може працювати тільки при прямому освітленні сонячними променями. Пряме перетворення сонячної енергії в електричну може бути здійснено з використанням фотоелектричного ефекту. Елементи, виготовлені зі спеціального напівпровідникового матеріалу, наприклад силікону, при прямому сонячному опроміненні виявляють різницю в вольтажі на поверхні, тобто наявність електричного струму.

Сонячна енергія може бути використана для теплопостачання (гарячого водопостачання, опалення), сушки різних продуктів і матеріалів, в сільському господарстві, в технологічних процесах у промисловості.

## РОЗДІЛ 1. ТВЕРДЕ БІОПАЛИВО

### 1.1. Загальна характеристика процесу гранулювання та біопаливний потенціал України.

**Гранулювання** – це сукупність процесів, що забезпечують формування часток певного спектру розмірів, форми, необхідної структури і фізичних властивостей для утворення біопалива.

**Гранула** – це циліндр з розмолотої, спресованої деревини або іншої сировини. Вона має від 10 до 30 міліметрів в довжину і від 6 до 10 міліметрів в діаметрі.

Процеси гранулювання являються масовими технологічними процесами, досить поширені в наш час, і знаходять усе більш широке використання в хімічній, нафтохімічній, фармацевтичній, металургійній галузях промисловості. Це пояснюється перевагами гранул у порівнянні з порошкоподібною, рідкою і пастоподібною формами речовин.

Гранулювання проводять з метою поліпшення якості як проміжних, так і готових продуктів. Показники якості залежать від специфіки продукту і його призначення. У загальному випадку, гранулювання дозволяє істотно зменшити схильність продукту до злежування, а отже, спростити зберігання, транспортування і дозування; підвищити сипучість при одночасному усуненні запиленості, і тим самим поліпшити умови праці в різноманітних сферах виробництва. Поряд з цим, гранулювання відкриває можливість гомогенізувати суміш відносно фізико-хімічних властивостей; збільшити поверхню теплообміну та масообміну; регулювати структуру гранул і пов'язані з нею властивості. Все це сприяє інтенсифікації процесів, в яких використовуються гранульовані продукти, підвищенню продуктивності праці і культури виробництва.

Розглянемо більш детально використання паливних гранул, так як використання гранул у даній сфері є найбільш раціональним та розповсюдженим.

**Паливні гранули** – екологічно чисте паливо з вмістом золи не більше 3%. При спалюванні гранул в атмосферу викидається рівно стільки  $\text{CO}_2$ , скільки було поглинуто рослиною під час росту. Проте, якщо в місці зростання сировини довіклля містило токсини або радіоактивні речовини, то при спалюванні гранул ці речовини

можуть бути розпорошені в атмосферу. Гранули менш схильні до самозаймання, оскільки не містять пилу і спор, які також можуть викликати алергічну реакцію у людей. Гранули мають незначну вологість ( $8 \div 12$  % води) та значну щільність. Ці якості забезпечують високу теплотворну здатність – при згоранні тонни гранул виділяється приблизно 5 тис. кВт год тепла, що у півтора рази більше, ніж у звичайних дров. Низька вологість – це не лише перевага гранул як палива, але і проблема їх виробництва. Сушка може виявитися однією з основних статей витрат при виробництві паливних гранул. Крім того, залежно від виробництва, підготовка, сортування і очищення сировини також можуть спричинити додаткові витрати. Процес сушки важливо ретельно спланувати, що дозволить зменшити ризики, пов'язані з якістю готової продукції, її собівартістю і пожежонебезпекою виробництва. Одна з найважливіших переваг гранул – висока і постійна насипна щільність, що дозволяє відносно легко транспортувати цей сипкий продукт на великі відстані. Завдяки правильній формі, невеликому розміру і однорідній консистенції продукту, гранули можна пересипати через спеціальні рукави, що дозволяє автоматизувати процеси навантаження, розвантаження і спалювання цього виду палива.

Сільськогосподарська біомаса, що використовується як паливо, має ряд особливостей, які відрізняють її від традиційних енергоресурсів, що застосовуються в якості джерела енергії. Деякі з характеристик твердого біопалива, у першу чергу зовнішні (щільність, розміри часток, специфічність поверхні), за допомогою подрібнення та ущільнення можуть бути змінені. В той же час, його основні паливно-технологічні характеристики прийнято розглядати як сталі.

Найбільш важливою паливно-технологічною характеристикою біомаси, яку використовують в якості сировини, є її теплотворна здатність, що залежить від багатьох чинників: генетичних особливостей енергетичних рослин, впливу навколишнього середовища, умов зберігання, вологості тощо. У таблиці 1.1 наведено середню теплотворну здатність сільськогосподарської енергетичної сировини (що раніше відносили до відходів агропромислового виробництва) при абсолютній її вологості на рівні 20%.

## Середня теплотворна здатність енергетичної сировини

Назва енергетичної сировини	Теплотворна здатність, МДж/кг
Солома зернових культур	10,5
Стебла кукурудзи	12,5
Гілки плодкових дерев	10,5
Лузга гречки	12,5
Лузга соняшнику	14,2

До основних видів біомаси, що використовується в якості твердого біопалива, відносять деревину разом із сировиною з енергетичних рослин, таких як верба, шавнат та румекс, а також солому та зрубки з різного роду насаджень. Спалюванню деревини та соломи в печах передують збирання, а також за потреби висушування та зберігання зібраної сировини. Важливою характеристикою даної біомаси є її щільність. Звичайно, сухі біологічні матеріали мають щільність у 3-4 рази нижчу, ніж вугілля. Доставка і переробка таких матеріалів є трудомісткою і високовартісною, особливо якщо утилізація ведеться на значній відстані від джерел виробництва біомаси, тому їх необхідно переробляти в гранульоване біопаливо на відстані не більшій за 50 км від місця вирощування.

Орієнтовний розподіл енергетичного потенціалу відходів сільськогосподарських культур (рис. 1.1), які можуть бути використані на енергетичні потреби, за статистикою 2007 року, має наступний вигляд.

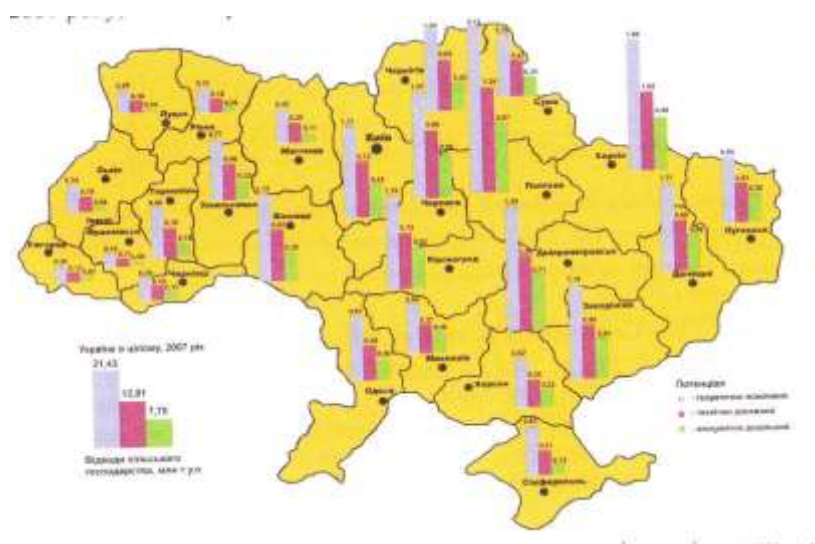


Рис. 1.1 Розподіл енергетичного потенціалу (у млн. т. у.п.) відходів сільськогосподарських культур

Для виробництва гранул витрачається біля 3% енергії. Тоді як, під час виробництва нафти ці енерговитрати складають 10%, а при виробництві електроенергії - 60%. Теплотворна здатність гранул складає 4,5 - 5,0 кВт/кг, що в 1,5 рази більше, ніж у звичайної деревини і вона наближається до теплотворної здатності вугілля. Горіння гранул в топці котла відбувається більш ефективно – кількість залишків (золи) не перевищує 0,5... 1,0% від загального об'єму використаного палива.

Для багатьох регіонів України використання власного твердого біопалива доцільніше, ніж вугілля або нафтопродуктів, бо вироблене з місцевої сировини біопаливо обходиться у 2-4 рази дешевше й не потребує значних транспортних витрат на його доставку. Використовують тверде біопаливо у вигляді солом'яний брикетів, гранул, зрубків та відходів сільськогосподарського виробництва. Наприклад, на 14 підприємствах олійної галузі України парові котли переведені на спалювання лушпиння, за рахунок чого у 2008 році зекономлено 152 млн. м<sup>3</sup> газу. В минулому році олійно-жирова галузь використала для спалювання в промислових котлах лушпиння соняшнику в кількості до 500 тис. тонн. Крім того, близько 120 тис. тонн лушпиння щорічно гранулюється і продається на експорт та населенню.

Таблиця 1.2

**Порівняльна характеристика властивостей різних видів палива**

Вид палива	Вологість матеріалу, %	Теплотворна здатність, МДж/кг	Вміст сірки, %	Вміст золи, %
Природний газ	—	35-38 МДж/м <sup>3</sup>	0	0
Кам'яне вугілля	—	15-25	1-3	10-35
Паливо моторне	—	42,5	0,2	1,0
Мазут	—	42	1,2	1,5
Тріски дерев, тирса	40-45	10,5-12,0	0	2,0
Брикет, гранули з деревини	7-8	16,8-21,0	0,1	1,0
Брикет, гранули з соломи	8-10	16,5-18,8	0,2	3,0

Подрібнене тверде біопаливо для котлів, яке складається з відходів деревини (залишки кори, тирса, зрубки, шматки деревини, тощо), повинне мати теплотворну здатність сухої маси вищу ніж 5400 кВт год/т; вологість меншу за 40%; середній розмір частинок – на рівні 50x50x20 мм, при цьому кількість частинок з розмірами до 150x60x20 мм не більше ніж 10%; вміст золи до 2 % його сухої маси. До того ж, не

дозволяється додавання у біопаливо речовин, що здатні негативно вплинути на його зберігання, перевезення і використання в опалювальному обладнанні.

## **1.2. Виробництво гранул та брикетів з точки зору якісних характеристик.**

Раціональне використання відходів рослинного походження є серйозною проблемою. Зазвичай пряме використання відходів в енергетичних цілях є неможливим в зв'язку з їх високою вологістю та невідповідному фізичному стану.

Найбільш важливими з них являються відходи, що виникають при механічній обробці деревини (тирса, деревна стружка, кора і т.д.), і солома. Кількість відходів деревини становить близько 3-4 млн. тон на рік, з яких лише близько 19% використовуються в енергетичних цілях, основна ж частина просто утилізується. Відходи з соломи зернових і рапсу щорічно оцінюється приблизно в 30 мільйонів тонн, з яких лише незначна сума використовується як компонент кормів.

Труднощі, що виникають при використанні енергії біомаси, відходів можуть бути подолані шляхом обробки, що значно збільшує їх теплотворну здатність. Ці операції є дорогими і енергоємними. Однак, вигода від нового палива (значне збільшення щільності й теплотворної здатності, відсутність викидів CO<sub>2</sub>, зниження викидів NO<sub>x</sub> і SO<sub>2</sub> в атмосферу, що відповідає законодавству в ЄС), робить її цікавою для інвестицій та перспективною.

Найбільш поширеними операціями, що відбуваються з відходами в процесі виробництва твердого біопалива являються: висушування, подрібнення, гранулювання і брикетування.

### **Теплота згорання і теплотворність.**

Рослинні відходи мають дуже високу теплотворну здатність, являючись хорошим, екологічно чистим матеріалом для палива.

В якості дослідження теплоти згорання і теплотворної здатності проводяться досліди з тирсою ялини, соломою, папером, вугіллям і корою (дуб, береза, вільха,

верба і кора сосни). Результати представлені в таблиці 1.3 і на рис. 1.2 (для сухої маси палива).

Таблиця 1.3

**Теплота згорання та теплотворна здатність різних видів твердого біопалива**

Досліджуваний матеріал		теплота згорання [МДж / кг]	теплотворність [МДж / кг]
Тирса ялини		18,89	17,58
Солома	житня ріпакова	17,78	17,12
		19,14	17,82
Гречане лушпиння		20,12	18,76
Папір (макулатура)		17,05	16,39
Деревне вугілля		31,55	30,23
Кора	дубова	19,05	17,51
	березова	23,37	21,86
	вільха	21,73	20,31
	вербова	18,19	16,76
	соснова	21,08	19,66

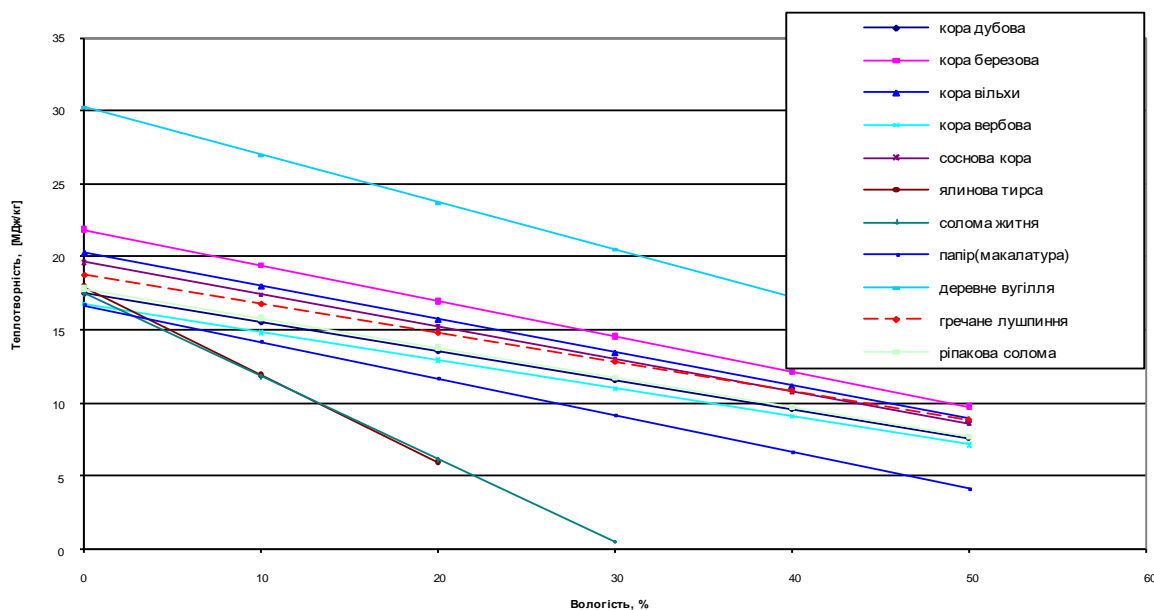


Рис.1.2 Залежність теплоємності від вологості сировини.

Результати цього дослідження показують, що рослинні відходи характеризуються високою теплою згорання. Найбільший показник теплоти згорання (теплотворності) був зафіксований при згоранні деревного вугілля - 31,55 МДж / кг (30,23 МДж / кг) і найменший - при згоранні паперу - 17,05 МДж / кг (16,39 МДж / кг). Для порівняння – теплотворна властивість становить вугілля 27-33 МДж / кг, бурого вугілля – 27-33 МДж / кг, дизельного палива – 41-46 МДж / кг, газів – 35-49 МДж / кг.

Теплота згорання та теплотворність (табл. 1.3 та рис. 1.2 ) показують, що досліджувані матеріали являються дуже хорошими енергоносіями і можуть ефективно використовуватись як паливо.

### **Виробництво паливних брикетів та гранул**

Паливні брикети і гранули, що утворюються в процесі агломерації під тиском (грануляцією, брикетуванням), коли відбувається ущільнення сипучих матеріалів під дією зовнішніх сил (під тиском пресування) і внутрішніх (міжмолекулярні сили та зв'язки) формуються геометрично правильної і однакової форми.

Наприклад гранули VN-78/1135-04 кубічної чи циліндричної форми, відповідно з висотою або діаметром до 15мм, брикети – кубічної чи циліндричної форми, відповідно з висотою або діаметром 15-30мм, зустрічаються і великі брикети з висотою/ діаметром 60-120мм.

Використання рослинних відходів у спресованому вигляді (брикети і гранули) має багато переваг.

По-перше, брикети можна спалювати - кінетика горіння спресованих відходів схожа на спалювання деревини(колоди). Крім того, брикети та гранули потребують значно меншого простору для зберігання. Щільність брикетів (гранул) значно вища у порівнянні з сипучими матеріалами, що забезпечує значне скорочення транспортних витрат. Слід зазначити, що спалювання брикетів (гранул) є безпечним (не вибухова речовина) і процес його транспортування, зберігання і завантаження в камеру згорання може бути автоматизований.

Матеріали, які піддаються брикетуванню(грануляції) повинні мати вологість 8-15%. Висока вологість сировини впливає на якість отриманого продукту. А саме на зменшення щільності і кінетичної стійкості брикетів (гранул), зниження калорійності і зростання викидів під час згоряння.

Підвищення температури процесу ущільнення збільшує щільність агломерату. При пресуванні тирси, подрібненої деревини та соломи відбувається частковий гідроліз целюлози та геміцелюлози, що викликає зклеювання частинок матеріалу. Наприклад, в процесі виробництва брикетів з соснової тирси, підвищення температури від 20 до 180 °С ,під тиском 60МПа дозволяє отримати брикети з більшою щільністю, близько близько 1750-1800 кг/м<sup>3</sup>.

Відходи рослинного походження, такі як деревна тирса або стружка, зазвичай неоднорідні та мають частки різних розмірів. Наприклад, соснова тирса має такий гранулометричний склад: 31,3% часток утримується на ситі з сіткою 1,5 x 1,5 мм, 16% на ситі 1 x 1 мм, 13,5% на ситі 3 x 3 мм, а 15,4% на ситі 2 x 2 мм, і являється хорошим матеріалом для брикетування.

У промисловій практиці виробництво гранул можна умовно поділити в залежності від застосовуваного типу обладнання (Рис. 1.3): а –в закритій камері, поршневе ущільнення; b – у відкритій камері, поршневе ущільнення; с – у відкритій камері, шнекове ущільнення, а також в залежності від типу матриці: d - плоска матриця, e-кільцева матриця.

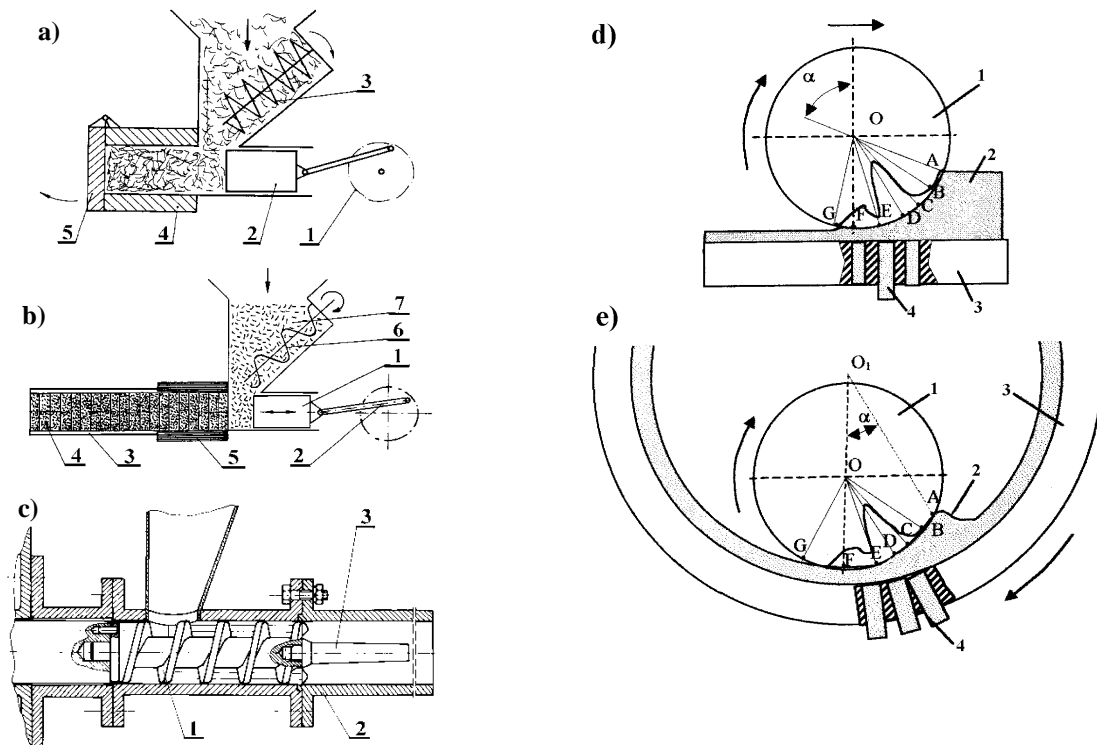


Рис.1.3 Схеми типового пресуючого обладнання:

а) в закритій камері, поршневе ущільнення: 1 – ексцентрик, 2 – поршень, 3 – шнек, 4 – камера ущільнення, 5 – рухома плита; б) у відкритій камері, поршневе ущільнення: 1 - поршень, 2 – шатун, 3 – камера ущільнення, 4 – брикети, 5 – нагрівач, 6 - шнек, 7 – сировина; в) у відкритій камері, шнекове ущільнення: 1 – нагнітаючий шнек, 2 – матриця, 3 – вал; д) на плоскій матриці: 1 – ущільнюючий ролик , 2 - матеріал, 3 – матриця, 4 – гранула; е) на кільцевій матриці: 1 – ущільнюючий ролик , 2 - матеріал, 3 – матриця, 4 – гранула.

Устаткування для пресування з закритою камерою (рис. 2а), характеризується низьким споживання енергії на одиницю отриманої продукції, і дає змогу використовувати в якості сировини для пресування різні матеріали та суміші рослинного походження. Їхні недоліки включають складний механізм закриття і відкриття камери пресування і низьку ефективність.

Системи з використанням пристроїв, що працюють з відкритою камерою (рис. 1.3, б) мають більш просту конструкцію і вищу ефективність. До недоліків подібних пристроїв відноситься високе споживання енергії та необхідність використання різних типів матриць для пресування в залежності від матеріалу, що пресується. Збільшення споживання енергії, яке є результатом виникнення сил тертя в процесі утворення брикетів частково є позитивним фактором (при перетворенні механічної енергії в

теплову виникає ефект склеювання частинок матеріалу, що сприяє утворенню більш якісного брикету).

Пресування тирси (січки соломи) на обладнанні для брикетування (рис.1.3 с) здійснюється за допомогою шнека 1 та матриці 2, отримані брикети мають міцну структуру та загартовану зовнішню і внутрішню циліндричні поверхні. На рис.3 зображено фотографію готових брикетів, виготовлених з тирси ялини, ялиці, з додаванням гречаного лушпиння. Брикети отримані на шнековому пресі. Довжина брикетів - 70 мм, діаметр -20 мм.



Рис. 1.4. Готові брикети

Процес гранулювання здійснюється в системах , що використовують плоску або кільцеву матрицю пресування (рис. 1.3.d і 1.3e). Процес пресування подрібненої рослинної сировини в цих системах дуже схожий. Матеріал спочатку ущільнюється, потрапляючи в клиновидний зазор між роликом та матрицею, остаточне спресовування відбувається в отворах матриці (рис. 1.3d і 1.3e).

Використання відходів рослинного походження в якості палива є цілком виправданим, і найкращим способом використати ці матеріали є перетворити їх на брикети та гранули. Виробництво паливних брикетів з даних матеріалів оптимально проводити на середніх та великих підсобних господарствах і переробних підприємствах АПК.

### **1.3 Технологічні схеми виробництва твердого біопалива.**

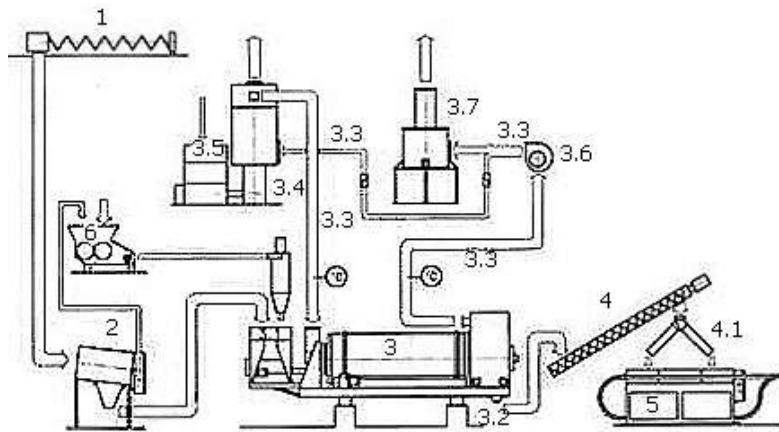


Рис. 1.5 а. 1 – Шнек, 2 – Сито, 3 – Сушильна камера, 3.1 – Бункер для сировини, 3.2 – Відвід для сировини, 3.3 – Повітряні трубопроводи, 3.4 – Бойлер на сировині, 3.5 – Паливний бункер, 3.6 – Вентилятор, 3.7 – Фільтр, 4 – Шнекова подача в брикетер (гранулятор), 4.1 – Розподільник сировини, 5 – Брикетуючий прес (гранулятор), 6 – Дробарка відходів.

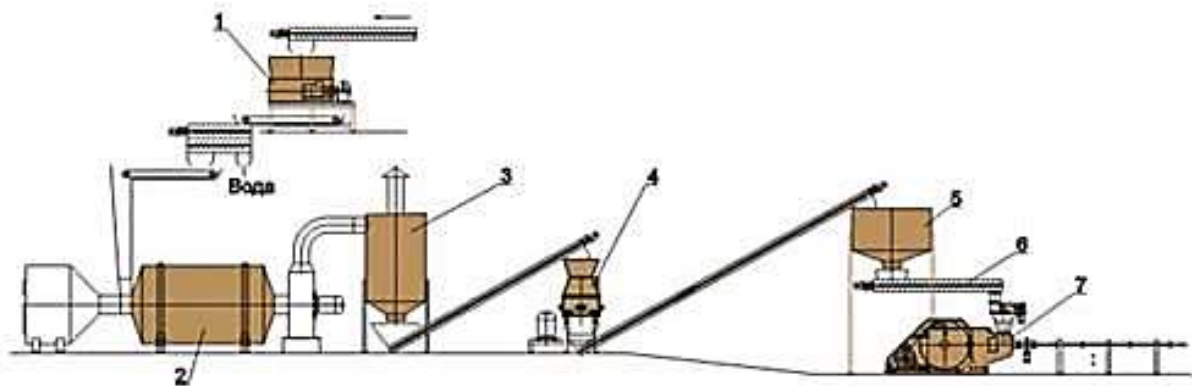


Рис. 1.5 б. 1 – крупно-фракційна дробарка; 2 – сушильна камера; 3 – бункер; 4 – дрібно-фракційна дробарка; 5 – бункер; 6 – шнек; 7 – брикетуючий прес (гранулятор).

#### 1.4. Обладнання для подрібнення біосировини.

Процес механічної переробки подрібненням широко використовуються в технологічних схемах виробництва твердого біопалива. Так, в ряду технологій застосовується механічне подрібнення твердих матеріалів з подальшим розділенням їх за розмірами. Подрібнення матеріалів покращує умови для їх перемішування, транспортування, сушки та подальшого формування в брикети чи гранули.

Результат подрібнення характеризується ступенем подрібнення, що визначається відношенням середнього характерного розміру  $D$  куска матеріалу перед подрібненням до середнього характерного розміру  $d$  куска матеріалу після подрібнення.

$$i = \frac{D}{d}$$

Характерним лінійним розміром куска шароподібної форми являється діаметр, куска кубічної форми – довжина ребра. Характерний лінійний розмір кусків неправильної геометричної форми може бути знайдений, як середня геометрична величина:

$$d_x = \sqrt[3]{l b h}$$

де  $l$ ,  $b$ ,  $h$  – максимальні розміри куска по трьох взаємно перпендикулярних напрямках. Найбільший з цих розмірів  $l$  – довжина, середній  $b$  – ширина, а найменший  $h$  – товщина.

Для розрахунку середнього характерного розміру кусків матеріал розподіляють на декілька фракцій. В кожній фракції знаходять середній характерний розмір як півсуму характерних розмірів максимального  $d_{\max}$  та мінімального  $d_{\min}$  кусків:

$$d_{\bar{n}\delta} = \frac{d_{\max} + d_{\min}}{2}$$

Середній характерний розмір куска в суміші визначають:

$$d = \frac{d_{\bar{c}\delta 1} a_1 + d_{\bar{n}\delta 2} a_2 + \dots + d_{\bar{n}\delta n} a_n}{a_1 + a_2 + \dots + a_n}$$

де  $d_{\text{cp}1}, d_{\text{cp}2}, \dots, d_{\text{cp}n}$  – середні розміри кусків кожної фракції;  $a_1, a_2, \dots, a_n$  – кількість кожної фракції, вага %.

В технології виробництва твердого біопалива з сировини рослинного походження розрізняють 2 етапи подрібнення. Перший етап – грубе дроблення, перед сушкою. Другий етап – дрібне (тонке) подрібнення, безпосередньо перед пресуванням.

*Грубе дроблення.* Дробарки, для крупного подрібнення, подрібнюють сировину для подальшого просушування. Подрібнення повинне дійти до розмірів часток не

більше 25x25x2 мм. Грубе дроблення дозволяє швидко і якісно висушувати сировину і готує його до подальшого дроблення у дробарці, для тонкого розмолу.

*Дрібне дроблення.* У прес сировина повинна заходити з розмірами частинок менше 4 мм. Тому дробарка, для тонкого розмолу, подрібнює сировину до необхідних розмірів. У дробарку для тонкого подрібнення сировина зазвичай повинна заходити з максимальними розмірами часток 25x25x2 мм.

Для грубого подрібнення використовуються дробарки вертикального та горизонтального типу, в залежності від способу завантаження сировини. Найпоширенішими є барабанні різальні машини та молоткові дробарки.

Для тонкого подрібнення застосовують молоткові дробарки та мельнички різних конструкцій.

### **Барабанні різальні машини.**

Застосовуються для виробництва технологічної і паливної тріски, а також "мікрощепи" з круглого лісу, балансу, тонкоміру горбиля та інших кускових відходів та некондиційної деревини. Різальні установки можуть мати продуктивність від 10 до 900 кубічних метрів деревини на годину (по вхідній сировині).

Барабанні різальні машини виробляють "мікрощепу" розміром фракції до 4 мм., безпосередньо з круглого лісу діаметром до 600 мм.

Переваги барабанних різальних машини: надійність, невисокий рівень експлуатаційних затрат, висока одинична продуктивність, порівняно невисока вартість.

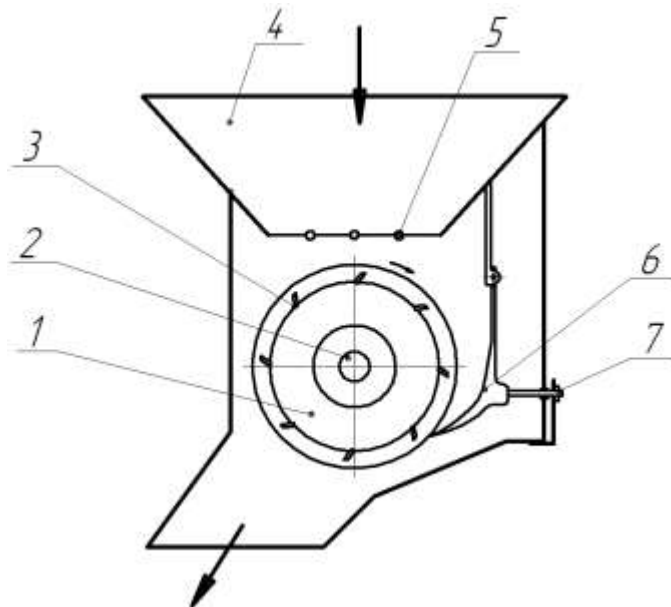


Рис. 1.6. Схема барабанної різальної машини. Умовні позначення: 1 – барабан, 2 – горизонтальний вал, 3 – ножі, 4 – завантажувальний бункер, 5 – решітка, 6 – клин, 7 – гвинт.

Робочим органом дробарки є барабан 1, що обертається на горизонтальному валу 2. Плоскі або зубчасті ножі 3 встановлені в пази барабана і виступають над його поверхнею. Матеріал з бункера 4 крізь решітку 5 потрапляє в простір між барабаном і клином 6 і подрібнюється ножами. Клиновий зазор регулюється гвинтом 7.

### **Молоткові дробарки**

Широке застосування у виробництві брикетів та гранул набули також молоткові дробарки. Подрібнення матеріалу в них відбувається під дією динамічних навантажень механічного удару. Дія на тіло при зосередженому навантаженні аналогічна розколюванню, при розподіленому – роздавлюванню.

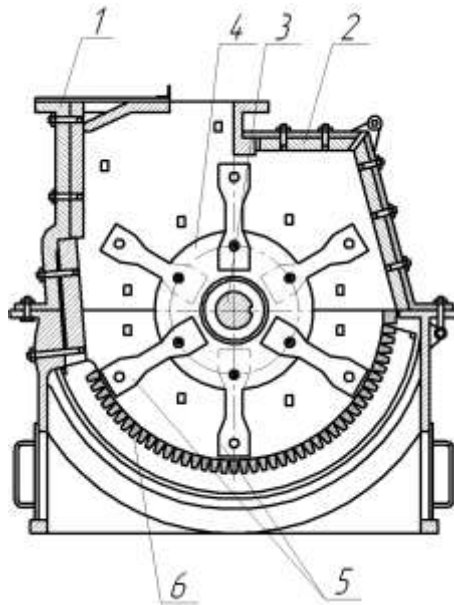


Рис. 1.7 Схема молоткової дробарки.

Основним елементом дробарки є ротор, який має горизонтальний вал 6 з дисками 7, що закріплені на певній відстані за допомогою дистанційних кілець 8. До дисків на стрижнях 2 рухомо прикріплені сталеві пластинчасті молотки 3. Розміри частинок і визначається за формулою:

$$v_{\text{ед}} = 175 \left( \frac{\sigma_D}{\rho \cdot d_i} \right)^{2/3}$$

де  $\sigma_p$  – границя міцності матеріалу при розтягуванні, МПа;  $\rho$  – густина матеріалу, кг/м<sup>3</sup>;  $d_n$  – початковий розмір частинок матеріалу, м.

Швидкість удару (колова швидкість ротора) при дробленні кусків деревини становить 60-90 м/с. Продуктивність молоткових дробарок, кг/год, рекомендовано розраховувати за формулою:

$$G = \frac{K l D^2 n^2}{3,6(3-1)}$$

де  $K$  – емпіричний коефіцієнт (приймають  $K = 4,0 \dots 6,2$ );  $l$  – довжина ротора, м;  $D$  – діаметр ротора, м;  $n$  – частота обертання ротора, хв<sup>-1</sup>;  $i$  – ступінь подрібнення.

Типова схема ділянки подрібнення сухої сировини показана на рис. 1.8.

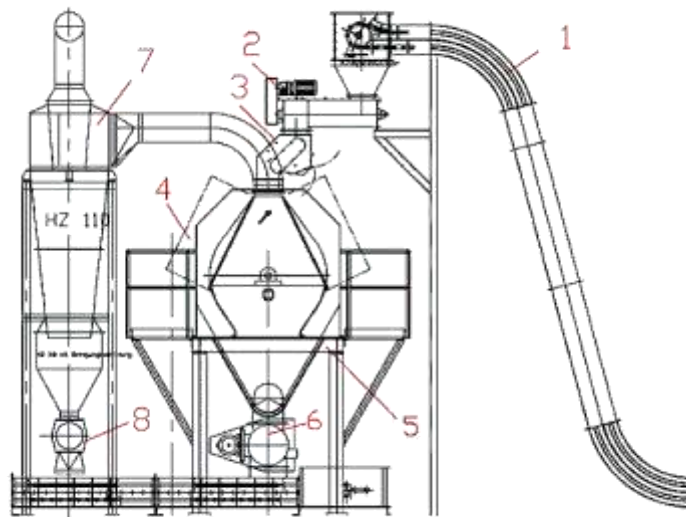


Рис.1.8 Типова схема ділянки подрібнення сухої сировини

1. Транспортер подачі сировини;
2. Подвійний або потрійний шнековий живильник;
3. Повітряний сепаратор з магнітним уловлювачем;
4. Молоткова дробарка;
5. Камера вивантаження;
6. Шнек вивантаження сировини;
7. Циклон або фільтр;
8. Шлюзовий затвор вивантаження подрібненої сировини.

### 1.5. Обладнання для сушки біосировини.

Сушка являється обов'язковою операцією в процесі виробництва деревних гранул.

По своїй фізичній суті сушка являється складним дифузійним процесом, швидкість якого визначається швидкістю дифузії вологи із поверхні висушуємого матеріалу в навколишнє середовище.

Методи сушіння вологого матеріалу розрізняються переважно способом підведення теплоти.

Звичайно сушарки розраховують, виходячи із заданої кількості вологого матеріалу та його початкової і кінцевої вологості. Щоб визначити кількість

висушеного матеріалу, випареної вологи та витрату сухого повітря на висушування, складають матеріальні баланси: за абсолютно сухою речовиною та за вологою.

Якщо немає втрат матеріалу, то кількість абсолютно сухої речовини в ньому до і після висушування лишається незмінною; якщо ж  $m_1$  і  $m_2$  — витрати вологого матеріалу до і після сушіння, кг/с, а  $\omega_1$  і  $\omega_2$  — масові частки вологи в матеріалі до і після сушіння, % до загальної маси, то баланс за сухою речовиною буде:

$$\frac{m_1(100 - \omega_1)}{100} = \frac{m_2(100 - \omega_2)}{100}$$

звідки маса вологого матеріалу:

$$m_1 = m_2 \frac{100 - \omega_2}{100 - \omega_1}$$

або маса висушеного матеріалу:

$$m_2 = m_1 \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2}$$

Кількість вологи  $W$  яку видаляють під час висушування, дорівнює різниці мас вологого і висушеного матеріалу:

$$W = m_1 - m_2$$

Підставивши в останнє рівняння вираз для  $m_2$  отримаємо:

$$W = m_1 - m_1 \frac{100 - \omega_1}{100 - \omega_2} \quad \text{або} \quad W = m_1 \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_2}$$

Якщо в рівняння замість  $m_1$  підставити його вираз з рівняння, то

$$W = m_2 \frac{\omega_1 - \omega_2}{100 - \omega_1}$$

Матеріальний баланс сушарки за вологою складемо, якщо прирівняємо кількість вологи, що вноситься в сушарку з вологим матеріалом і з повітрям, до кількості вологи у висушеному матеріалі й відпрацьованому повітрі:

$$\frac{m_1 \omega_1}{100} + Lx_1 = \frac{m_2 \omega_2}{100} + Lx_2$$

$$\frac{m_1 \omega_1}{100} - \frac{m_2 \omega_2}{100} = (x_2 - x_1)L$$

звідки

де  $L$  - витрата абсолютно сухого повітря, кг/с.

Ліва частина останнього рівняння — це кількість вологи, що видаляється під час висушування, тобто

$$W = (x_2 - x_1)L$$

звідки загальна витрата абсолютно сухого повітря на висушування

$$L = \frac{W}{x_2 - x_1}$$

Питома витрата повітря, тобто витрата його на 1 кг вологи, яку видаляють з матеріалу в сушарці,

$$l = \frac{L}{W} = \frac{1}{x_2 - x_1} = \frac{1000}{d_2 - d_1}$$

де  $d_2, d_1$  - вологовмісти повітря після і до сушарки, г/кг.

Оскільки повітря, проходячи через калорифер, не поглинає і не віддає вологи, його вологовміст при нагріванні в калорифері лишається незмінним, отже,  $x_x = x_{0i}$  тому:

$$l = \frac{1}{x_2 - x_0} = \frac{1000}{d_2 - d_0}$$

Це рівняння є основним рівнянням для визначення витрати повітря в сушильній установці. Із цього рівняння видно, що витрата повітря збільшується із збільшенням  $x_0$ . У зв'язку з тим, що вологовміст зовнішнього повітря в літній час більший порівняно із зимовим, то вентилятор розраховують для літніх умов роботи сушарки.

## РОЗДІЛ 2. ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА.

### 2.1. Нагрівання енергією сонця

Реакція термоядерного синтезу легких елементів в глибинах Сонця породжує колосальну енергію сонячного випромінювання. Кількісно це випромінювання характеризується інтенсивністю  $I_0$  – це потужність променевої енергії, що приходить із-за меж земної атмосфери в секунду і припадає на квадратний метр площі, перпендикулярної сонячним променям. Для середньої відстані від Сонця при русі Землі по еліптичній орбіті  $I_0 = 1,35$  кВт/м. Сумарна потужність променевої енергії, що надходить до земної атмосфери, дорівнює приблизно 180 млн. ГВт (сумарна потужність електростанцій України – 51,2 ГВт). Кількість сонячної променистої енергії, що приходить за рік до атмосфери Землі, становить колосальну величину  $1,57 \cdot 10^{18}$  кВт·год. 45 % прийдешньої променевої енергії припадає на видиме світло (довжини хвиль 0,4...0,75 мкм), 45 % – на інфрачервоне (теплове) випромінювання, 10 % – на ультрафіолетові промені.

Баланс променевої енергії Землі представлений на рис. 4.1. Близько 28 % енергії, що приходить від Сонця відбивається хмарами і аерозолями назад в космічний простір. Теплове (інфрачервоне) випромінювання Землі становить 114 % від енергії, що приходить з Сонця, з них 42 % повертаються атмосферою, а інші йдуть у космос. По поверхні планети енергія, що приходить перерозподіляється морськими течіями і вітрами.



Локальні значення променевої енергії Сонця, яка приходить до поверхні літосфери або гідросфери, залежать від орієнтації до Сонця (освітленості), хмарності, запиленості повітря, висоти над рівнем моря, пори року і доби. У середніх широтах вдень інтенсивність сонячного випромінювання / досягає 800 Вт/м влітку і 200...350 Вт/м взимку, зменшуючись до нуля із заходом Сонця.

Промениста енергія Сонця використовується біосферою з часів появи життя на планеті. Перетворення сонячної енергії в механічну вперше було продемонстровано на Всесвітній виставці в Парижі, коли сонячний колектор приводив у рух парову машину.

**Незважаючи на відносно низьку щільність променистої енергії, сонячна енергетика інтенсивно розвивається в останні роки. У США введені 8 великих сонячних електростанцій (СЕС) модульного типу загальною потужністю близько 450 МВт, енергія надходить в енергосистеми штатів. Випуск сонячних фотоелектричних перетворювачів в світі досяг 300 МВт на рік, з них 40 % припадає на частку США. В даний час у світі працюють більше 2 млн. геліоустановок теплопостачання. Площа сонячних теплофікаційних колекторів у США становить 10 млн. м<sup>2</sup>, в Японії 8 млн. м<sup>2</sup>.**

## **2.2. Конструкція і функціонування**

### ***2.2.1. Колектори з плоскими пластинами***

Сонячна енергія знаходить застосування в зерносушарках, опріснювальних установках, в установках енергопостачання космічних станцій і т.д.

Реалізуються екзотичні проекти. Так, уряд Австралії прийняв план будівництва «Сонячної вежі» з діаметром основи 130 метрів і заввишки 1 км. Біля підніжжя башти розкинеться величезна теплиця діаметром 7 км. Повітря, нагріте в теплиці, буде спрямовуватися в трубу, обертаючи встановлені в ній вітродвигуни. Потужність ВЕС повинна скласти 200 МВт. Вартість проекту оцінюється в \$ 308 млн.

У безмашинних сонячних енергетичних установках енергія сонячного випромінювання піддається прямому перетворенню в електричну енергію, без проміжного переходу в механічну. Для прямого перетворення не потрібні турбіни та електрогенератори.

В основі прямого перетворення теплової енергії сонячного випромінювання в електрику лежить ефект Зеєбека, відкритий в 1821 році. Якщо спаяти кінцями два провідники різного хімічного складу і помістити спаї в середовища з різними температурами, то між ними виникає термо-ЕРС:

$$E = \alpha \cdot (T_1 - T_2), \quad (4.1)$$

де  $T_1$  – абсолютна температура гарячого спаю,

$T_2$  – абсолютна температура холодного спаю,

$\alpha$  – коефіцієнт пропорційності.

У ланцюзі провідників виникає струм  $J$ , причому гарячий спай за секунду поглинає теплоту з нагрітого джерела в кількості  $Q_1 = \alpha \cdot T_1 \cdot J$ , а холодний спай віддає теплоту низькотемпературному тілу в кількості  $Q_2 = \alpha \cdot T_2 \cdot J$ . Різниця підведеної і відведеної теплоти складає секундну роботу струму

$$L = \alpha \cdot (T_1 - T_2) \cdot J, \text{ Вт.} \quad (4.2)$$

Відношення роботи до підведеної теплоти є термічним ККД процесу перетворення

$$\eta_t = L / Q_1 = \alpha \cdot (T_1 - T_2) \cdot J / \alpha \cdot T_1 \cdot J = (T_1 - T_2) / T_1, \quad (4.3)$$

Таким чином, ККД ідеального термоелектричного перетворювача збігається з термічним ККД циклу Карно і повністю визначається абсолютними температурами гарячого та холодного спаїв. У реальних перетворювачах мають місце незворотні втрати через електричного опору провідників, їх теплопровідності і термічного опору теплообміну спаїв з оточуючими середовищами. Тому дійсний ККД установки дорівнює

$$\eta = \eta_{oe} \cdot (T_1 - T_2) / T_1, \quad (4.4)$$

де  $\eta_{oe} < 1$  – відносний електричний ККД перетворювача (названий так за аналогією з відносним внутрішнім ККД турбіни, що враховує безповоротні втрати на дроселювання).

При використанні металевих термоелектродів ККД термоелектричних перетворювачів дуже малий – не перевищує сотих часток відсотка. У 1929 р. А.Ф. Іоффе показав, що значний ефект дає застосування напівпровідників – ККД зростає на величину близько 10 %. У сучасних термоелектричних генераторах напівпровідникові термоелементи, в яких нагріваються сонячними променями («гарячі» спаї), з'єднані послідовно. Такого роду генератори застосовуються як автономні джерела електроенергії для споживачів малої потужності – маяків, морських сигнальних буїв і т.п.

В основі установок цього типу лежить принцип вибивання електронів з напівпровідникових матеріалів світловими квантами. Променева енергія перетворюється в електричну. У сучасній сонячній енергетиці широко застосовуються напівпровідникові перетворювачі з хімічно чистого кристалічного кремнію. Кремній – широко поширений в земній корі елемент; пісок, кварц – це діоксид кремнію  $SiO_2$ . Виробництво чистого кремнію в кінці ХХ століття дало можливість налагодити випуск ряду напівпровідникових приладів, зокрема процесорів для сучасних комп'ютерів. Високотехнологічні наукоємні виробництва в США зосереджені в «силіконової» (кремнієвій) долині в штаті Каліфорнія. Створення сонячних енергетичних джерел входить до програми таких найбільших світових концернів, як Siemens, Sony, Hitachi. Лідерами в області сонячної енергетики на кремнієвих перетворювачах є США, Німеччина, Данія, Японія, Швейцарія. Вартість кремнієвих фотоелектричних перетворювачів за останні 40 років знизилася в 40 разів, 1 кВт встановленої потужності на фотоелектричних СЕС обходиться приблизно в \$ 2500.

Сонячний елемент складається з двох з'єднаних між собою кремнієвих пластинок. Світло, падаюче на верхню пластинку, вибиває з неї електрони, посилаючи їх на нижню пластинку. Так створюється ЕРС елемента. Послідовно з'єднані елементи є джерелом постійного струму. Кілька об'єднаних фотоелектричних перетворювачів являють собою сонячну батарею. Ефективність перетворення променистої енергії в електричну в сучасних установках досягає 13...17 %, в лабораторних умовах на деяких напівпровідниках досягнута ефективність 40 %.

Потужність СЕУ з фотоелектричними перетворювачами визначається співвідношенням

$$N_{\text{фе}} = \eta_{\text{фе}} \cdot F_{\text{фе}} \cdot I, \text{Вт}, \quad (4.5)$$

де  $\eta_{\text{фе}}$  – ККД фотоелектричних перетворювачів (змінюється в сучасних кремнієвих елементах в межах 0,12...0,17),  $F_{\text{фе}}$  – їх загальна площа, м<sup>2</sup>.

Використання фотоелектричних СЕС починалося з космічної техніки, де вартість грала другорядну роль. «Крила» фотоелементів станції «Мир» мали площу в сотні квадратних метрів. На Місяці довше року працював «Місяцехід», що живиться від сонячних батарей. На американській станції «Скайлеб» батарея загальною площею 130 м<sup>2</sup> забезпечувала енергоживлення потужністю 10,5 кВт.

У наш час модулі фотоелектричних перетворювачів виробляються в ряді країн для потреб великої енергетики. Потужності одиночних сонячних установок цього типу в США досягли 10 МВт, причому пік потужності досягається, коли Сонце знаходиться в зеніті – близько до того часу, коли добовий хід споживання енергії в сонячних південних субтропічних штатах Америки має максимум у зв'язку з роботою кондиціонерів.

Важливою перевагою фотоелектричних СЕС є дуже малі експлуатаційні витрати – модулі, захищені від пилу і атмосферних опадів склом або плівкою, працюють десятки років без обслуговування. У хмарну погоду потужність СЕС цього типу дещо знижується, хоча і менше, ніж для термоелектричних установок. Слід очікувати, що в південних сонячних регіонах при масовому випуску та зниженні вартості кремнієвих модулів такі установки виявляться конкурентоздатними в порівнянні з традиційними, працюючими на дорогому органічному паливі.

Розробляються проекти супутникових фотоелектричних СЕС. Передбачається виводити і монтувати їх на геостаціонарних орбітах на екваторі, на висоті 35800 км, так що вони будуть постійно «висіти» над одним і тим же місцем. Сонячні елементи з поверхнею в десятки км<sup>2</sup> розміщуються на тонкій синтетичній плівці, орієнтованій перпендикулярно до сонячних променів. Електричний струм від сонячних елементів перетвориться в спеціальних генераторах в мікрохвильове випромінювання, яке бортовою антеною направляється на Землю. Передавальна антена має діаметр близько 1 км, а приймальна антена НВЧ-випромінювання на Землі – близько 7 км. Приймальна станція перетворює НВЧ-випромінювання в струм промислової частоти і напруги. Для

реалізації цього унікального за задумом і масштабами проекту будуть потрібні величезні кошти і великий обсяг науково-технічних розробок.

В Україні промислове виробництво фотоелектричних перетворювачів, модулів та сонячних електростанцій збільшилось за останні три роки у чотири рази. За даними інституту відновлювальної енергетики НАН України вітчизняними підприємствами виробляється фотоелектричних елементів загальною потужністю біля 150 МВт на рік.

### **2.2.2. Евакуйовані колекторні трубки**

Цей тип сонячного колектора використовує серію евакуйованих труб для

На сьогодні сонячна енергетика є серйозною альтернативою традиційній енергетиці, адже пряме перетворення сонячної радіації на електрику є найбільш ефективним використанням енергії сонця, що здійснюється за допомогою напівпровідникових фотоелектричних перетворювачів. А в Україні історично створені умови сприятливі для розвитку промислового виробництва сонячної електроенергетики та її технічних засобів (достатня кількість сумарної сонячної радіації, вітчизняний практичний досвід, науковий потенціал та ін.)

Так, виробничий цикл ВАТ «Квазар» є позитивним прикладом українського досвіду формування виробничого ланцюжка, починаючи з отримання моно-мультикремнію і закінчуючи монтажем систем. Це підприємство є найбільшим в Україні промисловим виробником, який в своїй роботі охоплює основну частину виробничого циклу від вирощування напівпровідникового матеріалу до інсталяції готових фотоелектричних систем автономного електропостачання. Також одним з найбільших учасників ринку «сонячного» кремнію є столичне ЗАТ «Пілар» (більше 2500 тонн на рік), що постачає свою продукцію багатьом зарубіжним виробникам сонячних елементів.

У 70-ті роки ХХ століття Радянським Союзом у Криму та Сполученими Штатами в Каліфорнії побудовані паротурбінні СЕС, пристрій яких схематично показано на рис. 4.2. На вежі 2 встановлено котел 3, на якому фокусується сонячне випромінювання, збиране з декількох гектарів земної поверхні дзеркалами-геліостатами. Геліостати 1 відстежують рух Сонця по небосхилу. Дзеркала кожного з геліостатів площею в кілька

квадратних метрів направляють сонячні промені на стінки теплообмінника котлоагрегату, в якому виробляється пар з температурою до 510 °С. По паропроводу 5 пар направляється в машинний зал, де електроенергія виробляється в традиційному паротурбінному циклі. Установа має накопичувач теплоти 4 – ємність об'ємом в кілька тисяч м<sup>3</sup>, заповнену щебенем, який нагрівається «гострою» парою в години максимуму інтенсивності сонячного випромінювання і віддає теплоту після заходу Сонця.

### 2.3. Температура стагнації

Загальна кількість теплоти, сприйнятої парогенератором СЕУ, складає

$$Q = \eta_e \cdot n \cdot F \cdot I, \text{ Вт}, \quad (4.6)$$

де  $\eta_e$  – коефіцієнт ефективності використання сонячного випромінювання (змінюється в межах 0,35...0,5),

$n$  – кількість геліостатів,

$F$  – площа дзеркал одного геліостатів, м<sup>2</sup>,

$I$  – інтенсивність сонячного випромінювання, Вт/м<sup>2</sup>.

Робота кілограма пари в паротурбінній установці в циклі Ренкіна дорівнює

$$I = h_1 - h_2, \text{ кДж / кг}. \quad (4.7)$$

Термічний ККД:

$$\eta_t = (h_1 - h_2) / (h_1 - h_k), \quad (4.8)$$

де  $h_1$  – ентальпія гострої пари,

$h_2$  – ентальпія відпрацьованої в турбіні пари (визначаються за  $h - s$  діаграми водяної пари),  $h_k$  – ентальпія конденсату (визначається за таблицями термодинамічних властивостей води і водяної пари).

Теоретична потужність паротурбінної СЕУ матиме значення:

$$N_{nm} = \eta_t \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_e \cdot Q, \text{ Вт}, \quad (4.9)$$

де  $\eta_{oi}$  – відносний внутрішній ККД турбіни,

$\eta_e$  – ККД електрогенератора (в межах 0,92...0,96).

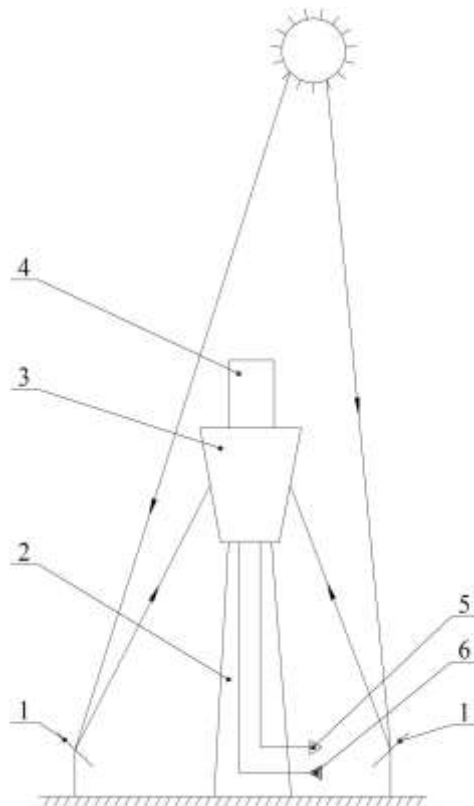


Рис. 4.2. Схема СЕС:

1 – геліостати; 2 – вежа; 3 – сонячний котел; 4 – тепло-акумулятор; 5 – трубопровід «гострої» пари; 6 – трубопровід живильної води

## 2.4. Потужність сонячного колектора

### 2.4.1. Максимальна потужність

Реальна потужність СЕС менше теоретичної внаслідок витрат енергії на власні потреби (привід насоса і т. д.).

Для паротурбінних СЕС характерні високі капітальні витрати, головним чином через високу вартість автоматизованих дзеркал-геліостатів. Вартість 1 кВт встановленої потужності на баштовій СЕС «Солар-1», як і Кримської СЕС, більш ніж в 10 разів перевищує характерну для традиційних установок. Економічніше виявилось інше технічне рішення, реалізоване в США в 1985 році. Замість дорогих скляних дзеркал – геліостатів тут використовується плівка з металевим напиленням, натягнута на обручі діаметром 1,5 метра. Створюючи під плівкою вакуум, надають їй параболічну форму. Ці увігнуті дзеркала фокусують сонячне випромінювання на

труби, в яких нагрівається і випаровується живильна вода паротурбінної установки. Таким чином, цією СЕС вежа з баком-парогенератором не потрібна. Вартість одного кіловата встановленої потужності знижена порівняно з «Солар-1» в 4 рази, собівартість кіловат-години виробленої енергії наблизилася до характерної для вугільних станцій.

На СЕС «Альмерія» (Іспанія) в якості теплоносія першого контуру парогенератора на вершині сонячної вежі використовується рідкий натрій, у другому контурі – звичайна вода. У варіанті СЕС, розробленому в Німеччині, сонячні промені нагрівають до 800°C стиснене повітря, що приводить в дію газову турбіну. Теплота відпрацьованого в газотурбінній установці повітря потім використовується в паротурбінному циклі. У підсумку підвищується ККД використання теплоти сонячних променів.

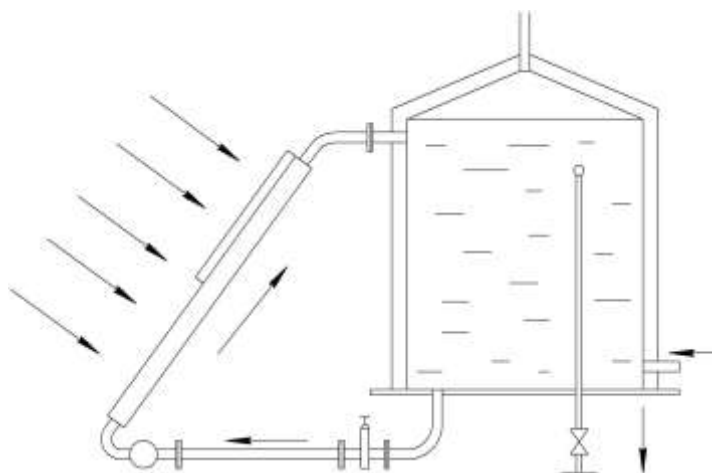
Ряд паротурбінних СЕС різної потужності побудований у Франції та в Італії. Розробляються проекти СЕС із замкнутими газотурбінними установками, в яких робочим тілом є гелій. Параметри гелієвого теплоносія перед турбіною: температура близько 600°C, тиск 0,8 МПа; проектний ККД установок – близько

#### **2.4.2. Продуктивність сонячного колектора**

Сонячні водонагрівачі застосовуються з метою опалення і гарячого водопостачання з початку ХХ століття. До теперішнього часу в ряді країн (США, Німеччини, Норвегії), при державній підтримці за програмами енергозбереження, широко поширені встановлені на дахах або на застлених верандах сонячні колектори з полімерних пластмас зі склом.

Пристрій сонячного модуля-водонагрівача дуже просто (рис. 4.3). Плоский екран з привареними знизу трубами висвітлюється сонячними променями. Застосовуються й безтрубні екрани, у вигляді двох пластин з щільним зазором між ними. Екран з'єднаний трубами з верхньою і нижньою частинами бака-накопичувача. У контурі встановлюється природна циркуляція: в труби надходить холодна вода з нижньої частини бака, нагріта в трубах екрану вода з меншою щільністю впливає у верхню частину бака. Верхню пластину екрану фарбують чорною матовою фарбою, щоб збільшити коефіцієнт поглинання променистої енергії, і покривають склом або

полімерною плівкою для захисту від атмосферних опадів. У регіонах з негативними температурами контур заповнюють водним розчином антифризу; нагрітий сонячним випромінюванням антифриз віддає теплоту воді бака накопичувача в трубчастому теплообміннику.



Вона особливо висока, якщо поверхня колектора оптимально орієнтована і не має затемнень.

За оцінками норвезьких енергетиків, річна економія енергії від систем сонячного теплопостачання в північній Європі становить 250...300 кВт·год на квадратний метр площі колектора. Вартість сонячних колекторів в Норвегії – близько 80 євро за квадратний метр, включаючи захисне покриття при установці на даху. Період самоокупності при існуючих в Норвегії цінах на електроенергію – близько 10 років. При цьому виключається забруднення навколишнього середовища в результаті спалювання органічного палива в котлах традиційних ТЕЦ і котелень.

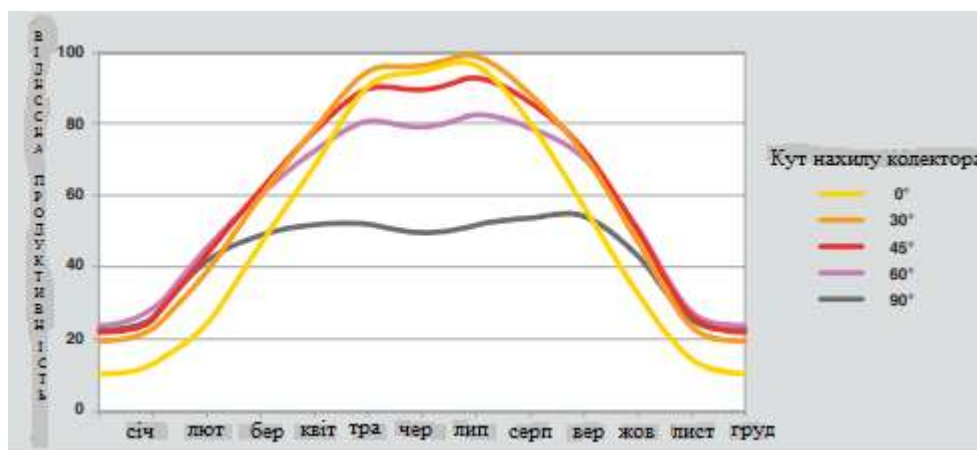


Рис. 2.3- Продуктивність і кут нахилу колектора

У світі існують також повітряні (калориферні) системи сонячного опалення. Нагріте в сонячному колекторі повітря протікає через тепло-акумулятор – ємність, заповнену щебенем або галькою. При необхідності обігріву приміщення кімнатне повітря проганяють вентилятором через шар гальки. Повітряна сонячна опалювальна система може експлуатуватися і без тепло-акумулятора. У цьому випадку вентилятор проганяє кімнатне повітря безпосередньо через повітряний сонячний колектор.

### 2.4.3. Площа колектора

Новим способом використання сонячного випромінювання для теплофікації є застосування віконного скла, покритого поліефірною плівкою з металевим напилюванням. Це скло прозоре для променів світлового діапазону довжин хвиль, що несуть максимум енергії в сонячному спектрі, але воно відбиває інфрачервоне випромінювання з приміщення і таким чином забезпечує «парниковий ефект» у квартирі. Таке скло все ширше застосовуються в Фінляндії.

Сонячна енергія може використовуватися для опріснення морської та забрудненої води. Найпростіший сонячний дистилятор являє собою посудину, заповнену шаром солоної води малої товщини; сонячні промені, сконцентровані на посудині, випаровують воду. Пара конденсується на похилій плоскій стінці, і конденсат стікає в збірник опріснення води. Розроблено також сонячні холодильні установки, в яких холодоагент (аміак) випаровується сонячним випромінюванням і надалі бере участь у роботі холодильного циклу абсорбційного типу.

Сонячна енергія використовується також в невеликих високотемпературних установках (рис. 4.4.). Сонячні промені фокусуються параболічним дзеркалом на об'єкті, які необхідно нагрівається (наприклад, плавильному тиглі).



У порівнянні з нагріванням у печах такі установки створюють більш інтенсивний нагрів і чистоту процесу. Такий же пристрій мають «сонячні кухні».



Рис. 2.4 -

#### 2.4.4. Вибір типу колектора

Сонячні колектори (рис. 4.5.) призначені для перетворення сонячної енергії у теплову для підігріву води на побутові потреби та підтримки системи опалення. Завдяки конструктивним удосконаленням та високому коефіцієнту абсорбції (95 %) сонячні колектори ефективно працюють майже 9 місяців на рік. Скло колекторів ударостійке, та гарантує механічну стійкість до атмосферних опадів (граду), чи попадання твердих предметів. Використання незамерзаючої рідини (розчину гліколю)

забезпечує роботу колекторів за низьких температур повітря до мінус 30°C. Системи сонячного теплопостачання, якщо вони правильно розраховані та якісно змонтовані, вважаються одними із найбільш надійних та довговічних.

## РОЗДІЛ 3. СОНЯЧНІ УСТАНОВКИ КОМУНАЛЬНО-ПОБУТОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.

### 3.1. Сонячний нагрів води.

Плоскі колектори широко використовуються в усьому світі, вони дещо дешевші за вакуумні трубчасті колектори.

Трубчасті вакуумні колектори – дорожчі та більш продуктивніші, ніж плоскі колектори, і використовуються у Європі вже впродовж кількох десятиріч. Вакуумні колектори встановлюють у випадках, коли потрібна висока температура, або для комплексних систем для нагріву води і опалення приміщень. Сьогодні в Україні встановлюють і трубчасті вакуумні колектори, вони мають трохи вищий ККД і нижчий рівень тепловтрат ніж плоскі колектори.

Термосифонні геліосистеми використовують сезонно – з весни по осінь. Але існують вже конструктивні модифікації термосифонних систем для використання на протязі всього року, але за відсутності великих морозів.

**Плоский колектор** – це добре теплоізольована зашклена панель, у якій розміщена пластина поглинача сонячного тепла, і встановлені трубки з циркулюючою рідиною, яка відводить отримане тепло (рис 4.6.).

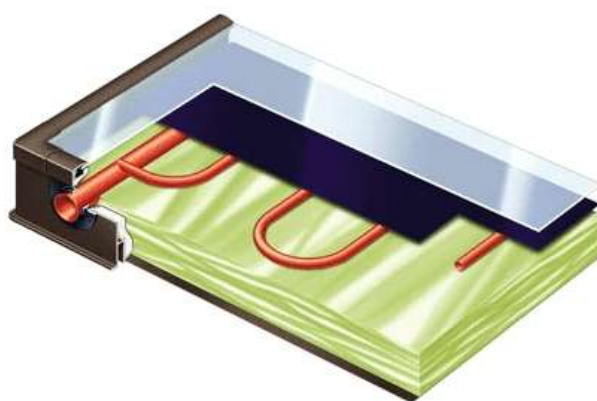
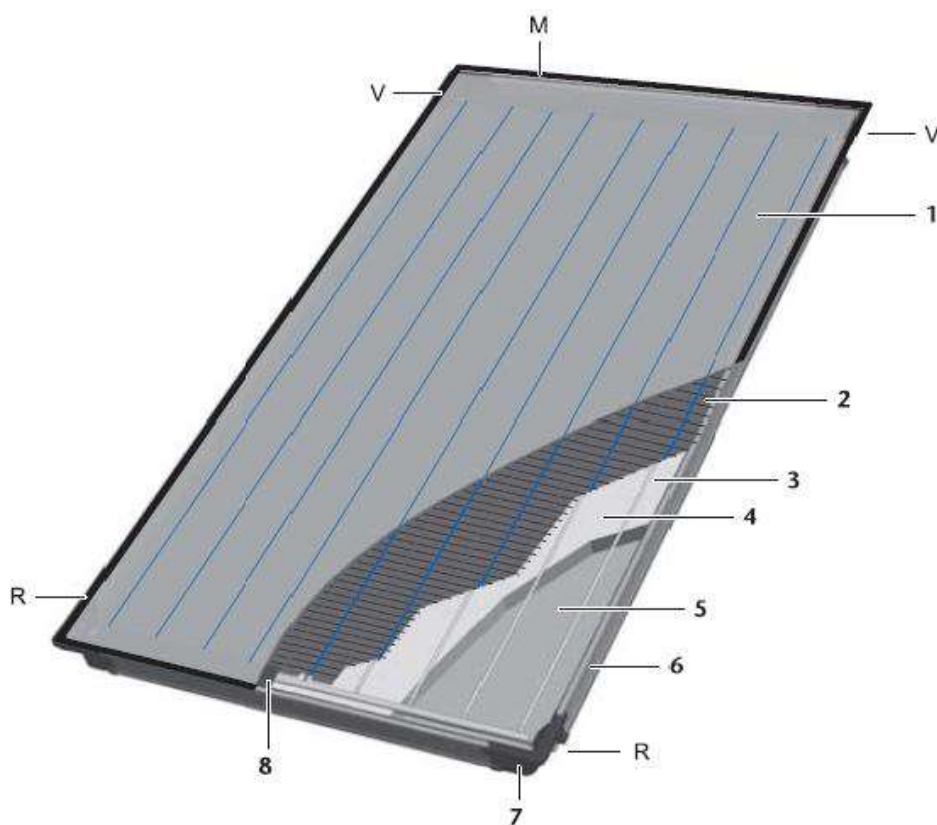


Рис.3.1. Плоский колектор

Така пластина має спеціальне високоселективне покриття, що добре поглинає сонячну енергію. Нижня площина та бокові стінки колектора вкриті теплоізолюючим матеріалом. Але незважаючи на це, теплові втрати плоских колекторів із зашкленого боку досить значні, особливо в зимову пору року при значній різниці температур теплоносія в колекторі та зовнішнього повітря. Треба звернути увагу на можливість блокування частини малих трубок у плоских колекторах кристалами нерозчинних солей, що створює додаткові «незручності» при експлуатації. Це знижує продуктивність колектора, та ускладнює процес обслуговування – промивання великої кількості малих паралельних трубок є проблематичним. При чому монтаж плоского колектора треба проводити з дотриманням певних правил – колектор достатньо важкий, він має встановлюватися на площину без перекосів. В інакшому випадку це істотно впливає на герметичність і скорочує термін експлуатації. Загальний вигляд та конструкція плаского сонячного колектора (рис.4.7.).



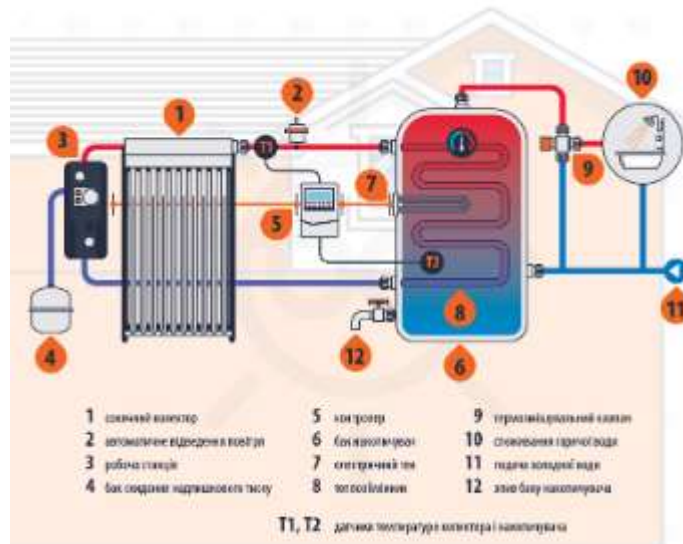


Рис. 3.1 – Системи нагріву води на базі сонячних колекторів.

### 3.1.1. Водонагрівачі з природною циркуляцією води.

Принцип роботи сонячної водонагрівальної установки термосифонного типу з природною циркуляцією теплоносія ілюструється схемою, показаної на рис. 3.2. Установка містить колектор сонячної енергії, бак-акумулятор гарячої води, підйомну

Тепловий потік від Сонця потрапляє на пластину, що нагрівається, перетворюючи сонячне випромінювання у теплову енергію, яка передається теплоносію. Для покращення сприймання сонячної радіації абсорбери роблять з селективним покриттям. Селективне покриття складається з тонкої плівки фільтру (нікель, титан), нанесеної на металеву основу, що добре проводить тепло (мідь, алюміній) і характеризується високою поглинаючою здатністю у видимій області спектру і низьким коефіцієнтом випромінювання в інфрачервоній області.

Конструкції вакуумного **трубчастого колектора** (рис.4.8.) мають різні модифікації але в принципі схожі на будову термоса: одна скляна трубка знаходиться в іншій, більшого діаметра, а між ними – вакуум, найкращий теплоізолятор.

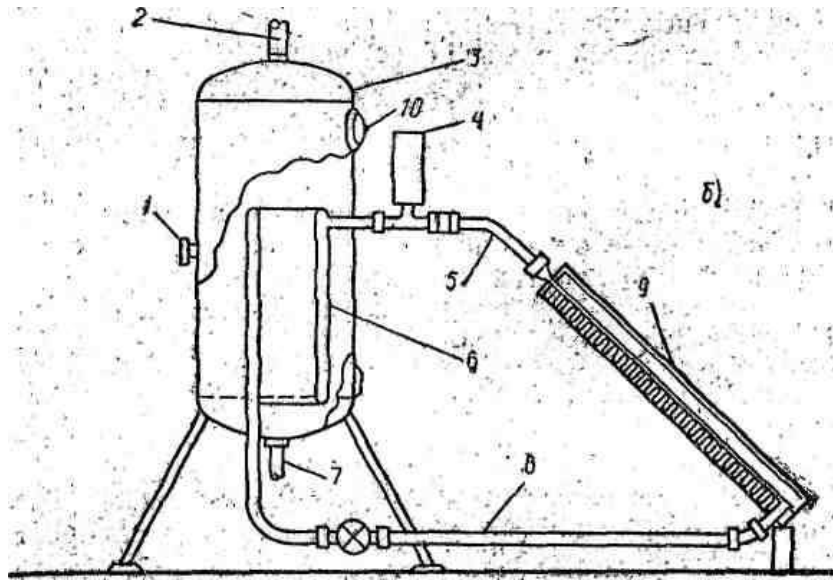


Рис 3.2. Схема (а) і конструкція (б) сонячного водонагрівача з природною циркуляцією: а: 1 - сонячний колектор; 2 - бак-акумулятор, гарячої води; б: 1 - термостат; 2 - гаряча вода; 3 - бак гарячої води; 4 - розширювальний бак; 5 - гарячий теплоносій; 6 - теплообмінник; 7 - підведення холодної води; 8 - зворотна труба; 9 - колектор; 10 – електронагрівач.

Завдяки цьому втрати на теплові випромінювання при підвищенні температури робочої рідини дуже низькі. В кожній внутрішній трубці вбудована мідна пластина поглинача з геліотитановим покриттям, це гарантує високий рівень поглинання сонячної енергії й дуже малу емісію теплового випромінювання. В середині встановлена теплова труба, заповнена спеціальною рідиною, яка випаровується при нагріванні. Через з'єднувальні елементи «сухого» типу теплова труба приєднана до конденсатора у теплообміннику типу «труба в трубі». Це дає змогу міняти вакуумні трубки. Завдяки такій конструкції вакуумні колектори з тепловою трубкою можуть працювати за температур до мінус 35 °С. Вакуумний колектор із дванадцятишаровим селективним покриттям, яке поглинає сонячне випромінювання і теплоізольоване вакуумом, затримує 98 % сонячної енергії. В вакуумному колекторі повністю відсутні втрати по теплопровідності або конвекції. Оскільки повний коефіцієнт втрат у вакуумному колекторі низький, – менше 2 %, то теплоносій у ньому може нагріватися до температури 250 °С. Таке селективне дванадцятишарове покриття у вакуумних трубках забезпечує максимальне поглинання енергії, завдяки чому колектори працюють також у несонячну погоду. Крім того, вакуумні колектори мають незаперечні переваги. Завдяки циліндричній формі трубок сонячні промені впродовж дня падають на однакову за площею поверхню – це як плоский колектор, що повертається за сонцем.

Це дає змогу колекторам працювати стабільно з максимальною потужністю протягом дня. Кругла форма елементів колекторів не накопичує бруду, стійка до атмосферного впливу. Максимальна робоча температура системи може бути керована завдяки фізичним властивостям рідини у тепловій трубці та спеціальній конструкції накопичувача. Відтак, зникає потреба у складних системах контролю й забезпечується проста та безпечна експлуатація.

Дана установка встановлюється на будь-який освітлений сонцем майданчик в південному напрямку, підключається до звичайної системою трубопроводів (як звичайний електричний бойлер). Застосування вакуумних труб з багат шаровим покриттям і тепловою трубкою більш ефективно забезпечує передачу тепла воді від сонця і забезпечить безперервність роботи пристрою навіть при виході з ладу кількох вакуумних труб.

Сучасні побутові сонячні колектори здатні нагрівати воду до температури кипіння навіть при негативній навколишній температурі. За допомогою сонячних колекторів можна спокійно підігрівати воду для миття посуду, приймання душу, ванни, догрівати воду басейну. Зараз колектори почали широко застосовувати в ресторанах, готелях, де вода використовується досить швидкими темпами і у великих об'ємах. Окрім підігріву води, в зимовий період можна використовувати сонячні колектори і для опалення приміщення. Але для того щоб опалювати було ефективно, сонячні колектори потрібно використовувати в парі з котлами (твердопаливними, газовими, електричними) і акумуляційними ємкостями. В цьому випадку сонячні колектори працюють цілорічно в автоматичному режимі паралельно зі звичайними опалювальними приладами. Для найбільш ефективного підбору треба зробити попередній аналіз, щоб мінімізувати витрати. В першу чергу сонячні колектори потрібні для того, щоб економити ваші гроші! Так, звичайно вони є не дешеві. Але ви платите один раз, і враховуючи те, що середній термін експлуатації на сонячні колектори становить до 30 років, то вже через 3...5 років Вам ця система окупиться повністю, навіть тоді якщо ви встановите сонячні колектори лише для підігріву води. Така система з економить до 50...60 % енергії, що необхідна для опалення та гарячого водопостачання будинку. Сонячні колектори встановлюються під кутом, який дорівнює куту широти місцевості, на південній стороні. Можливий монтаж прямо на

дах. Враховується і кут повороту колектора в напрямку орієнтації на південь. Існує багато схем по впровадженню сонячних систем, як окремо функціонуючих, так і таких які приєднуються до існуючої системи гарячого водопостачання та опалення (рис. 4.10.). В кожному конкретному випадку необхідно провести аналіз існуючої системи та отримати консультації спеціалістів.

**Сонячний колектор** – у ньому відбувається перетворення сонячної енергії в теплову. Відбір тепла виробляється за допомогою прокачування через його канали рідкого теплоносія. Колектори необхідно орієнтувати у південному напрямку(припустиме відхилення без істотного зниження ефективності до  $60^\circ$ ). Однак можливий варіант монтажу двох груп колекторів: одна група на захід, інша на схід. Для досягнення максимальної ефективності в літній період, кут нахилу повинен складати  $25\dots35^\circ$ . Для сонячних колекторів які експлуатуються цілий рік (ефективність у літній період знижується, а в інші збільшується) кут нахилу повинен складати близько  $40\dots60^\circ$ . Під кутом  $90^\circ$  встановлюються колектора, робота яких розраховується в зимовий період, зокрема для систем опалення.

**Бак-теплообмінник-акумулятор.** Особливістю роботи систем сонячного опалення є необхідність акумулювання сонячної теплової енергії з метою її використання в різний час доби. Це можливо зробити за допомогою використання в системі бака-акумулятора. Дана необхідність зумовлена нестабільність сонячного випромінювання протягом доби, у той час як гаряча вода і опалення необхідні постійно, навіть у той час, коли воно взагалі відсутнє. Ефективність установки значно залежить від правильності вибору обсягу бака-акумулятора. Всі баки повинні встановлюватися в приміщеннях захищених від атмосферних впливів. З точки зору використання водонагрівачів в геліосистемах можна виділити кілька типів (рис. 4.11. – 4.13.):

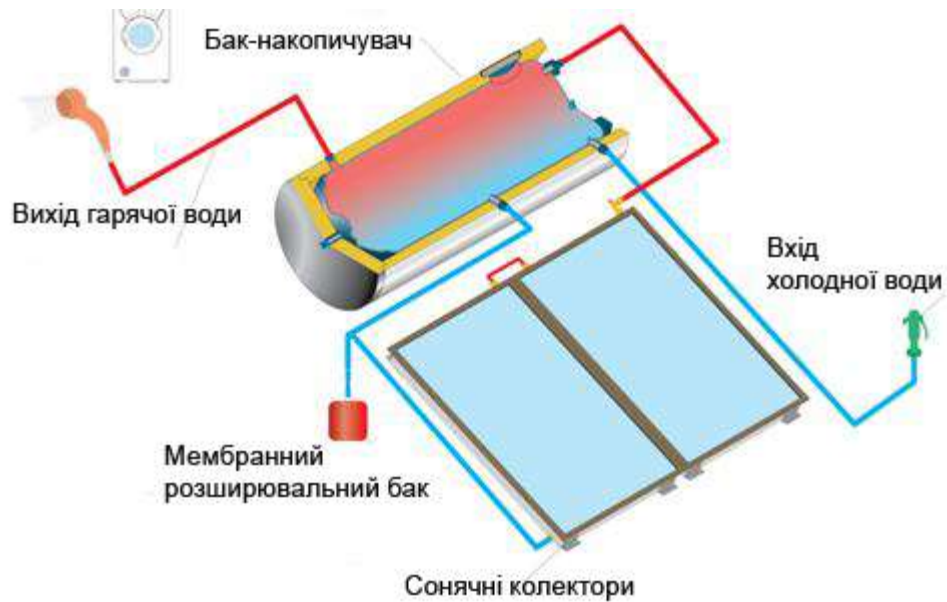


Рис.3.3. Відкрита схема з природною циркуляцією

У таких системах циркуляція здійснюється за рахунок різниці щільностей холодної та нагрітої води. Як наслідок – бак-накопичувач в таких системах завжди повинен розташовуватися вище панелей сонячних колекторів. Такі системи виконують відкритими. Відкриті системи – це системи, в яких у сонячних колекторах здійснюється безпосередньо нагрів води системи гарячого водопостачання (ГВП).

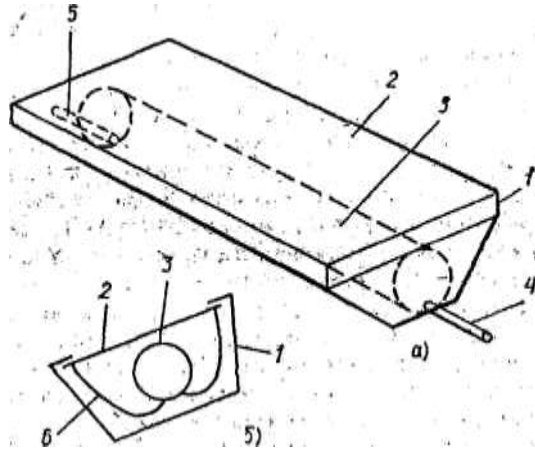
***Переваги:***

- простота конструкції;
- простота монтажу, внаслідок модульної конструкції, можлива самостійна установка;
- надійність роботи;
- невисока вартість;
- можливість нагріву води до високої температури;
- енергонезалежність.

***Недоліки:***

- необхідність очищення води внаслідок можливості утворення відкладень на трубках колекторів;
- обмеженість застосування внаслідок можливості замерзання системи в зимовий період.

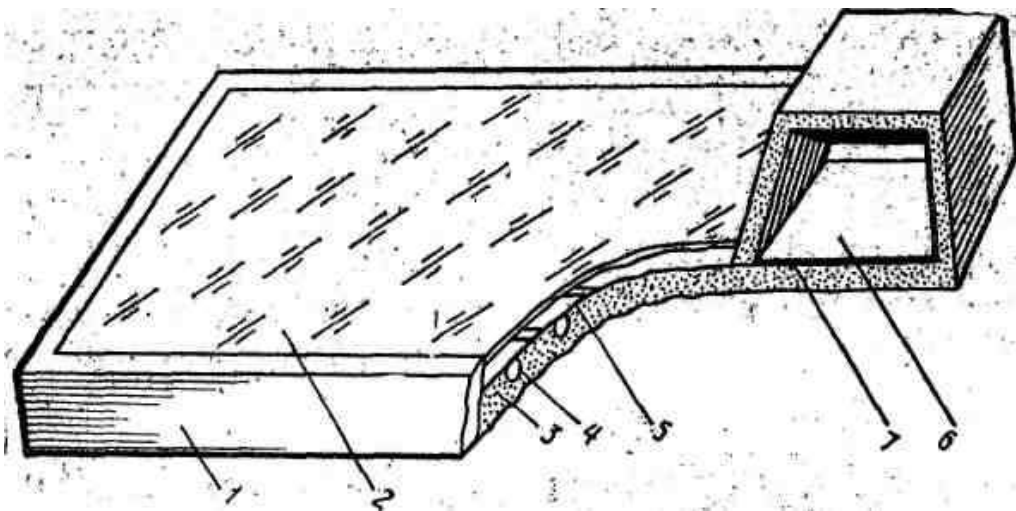
Більш високе положення бака-акумулятора відносно колектора сонячної енергії в водонагрівальних установках термосифонного типу має важливе значення не тільки



*Рис. 3.3. Компактний сонячний водонагрівач ємнісного типу;  
а - з однією або декількома ємностями з водою; б - з відбивачем сонячної енергії; 1 - корпус; 2 - скління; 3 - ємність; 4 - підведення холодної води; 5 - відведення гарячої води; 6 - відбивач*  
*В цьому випадку повністю виключається можливість забруднення води робочою рідиною, що знаходиться в теплових трубах.*

### **3.1.2. Водонагрівальні установки з примусовою циркуляцією.**

Установки з примусовою циркуляцією теплоносія доцільно використовувати для гарячого водопостачання великих об'єктів. У них сонячний колектор являє собою великий масив модулів КСЕ. Ці установки мають велику теплопродуктивність, але, як правило, вони досить складні.



*Рис. 3.4. Компактний сонячний водонагрівач:  
1 - корпус; 2 - скління; 3 - теплоізоляція; 4 - тепла труба; 5 - ребро; 6 - бак; 7 - контактний лист*

Очевидно, що для кліматичних умов України відкриті схеми мають обмежене застосування. Крім температурних обмежень, такі схеми мають підвищені вимоги до якості води, інакше при утворенні відкладень на трубках в процесі експлуатації ефективність колекторів істотно знижується. Найбільш застосовні у вітчизняних умовах закриті схеми з примусовою циркуляцією теплоносія за умови включення в схему електричного нагрівача або інтеграції з котельним агрегатом. У системах гарячого водопостачання котеджів подібні схеми дозволять покрити до 50 % витрат на гаряче водопостачання на протязі року. З метою забезпечення експлуатації в зимовий період для заповнення геліоконтурів необхідно використовувати незамерзаючу рідину.

В Україні на початковому етапі найбільш затребувані сонячні колектори для потреб гарячого водопостачання в секторі приватних житлових будинків. Хоча, область застосування сонячної енергії в нашій країні набагато ширше.

Основною перешкодою для впровадження даного обладнання є його висока вартість і великий термін окупності. Вагомими аргументами на користь придбання устаткування є зростання вартості газу, а також те, що багато споживачів захочуть заплатити за додаткову екологічно чисту енергію.

**Контролер** є обов'язковим елементом геліосистем з примусовою циркуляцією теплоносія. Він здійснює контроль стану і керування процесом нагріву від сонця геліосистеми, а також може керувати іншими теплотехнічними процесами в загальній системі. Контролер отримує від датчиків температури інформацію і вибирає необхідний режим роботи. Ефективність та безпека геліосистеми в значній мірі залежать від контролера, закладених у нього алгоритмів роботи, надійності елементів.

**Насосна станція** використовується в системах з примусовою циркуляцією (така система на 30 % ефективніше системи з природною циркуляцією) і призначена для забезпечення циркуляції теплоносія в колекторному колі. Гідравлічний опір колекторного кола досить мало, що дає можливість використовувати малопотужні насоси, споживана потужність яких мізерно мала в порівнянні з отриманою тепловою енергією від сонячних колекторів.

**Трубопроводи і теплоізоляція.** Трубопроводи необхідно використовувати металеві тому всі відомі нам пластикові труби не витримують можливі робочі температури (максимальна температура пари в контурі, навіть неефективних сонячних

колекторів може досягати 150 °С, а робоча температура теплоносія 110 °С). З цієї ж причини підвищені вимоги до трубної ізоляції, яка повинна витримувати високі температури, а також не вбирати вологу і не давати усадку. Задовольняє всім вимогам теплоізоляція зі спіненого каучуку. Для забезпечення достатнього зниження теплових втрат в трубопроводі, а також в цілях безпеки необхідно застосовувати теплоізоляцію товщиною не менше 19 мм. Заборонено використовувати теплоізоляцію зі спіненого поліетилена, надітого безпосередньо на трубу без температуроподавляючого шару. Діаметри труб підбираються індивідуально, виходячи з необхідного гідравлічного опору системи і витрати теплоносія. Можливі параметри системи і діаметри труб повинні бути узгоджені з параметрами насосних станцій.

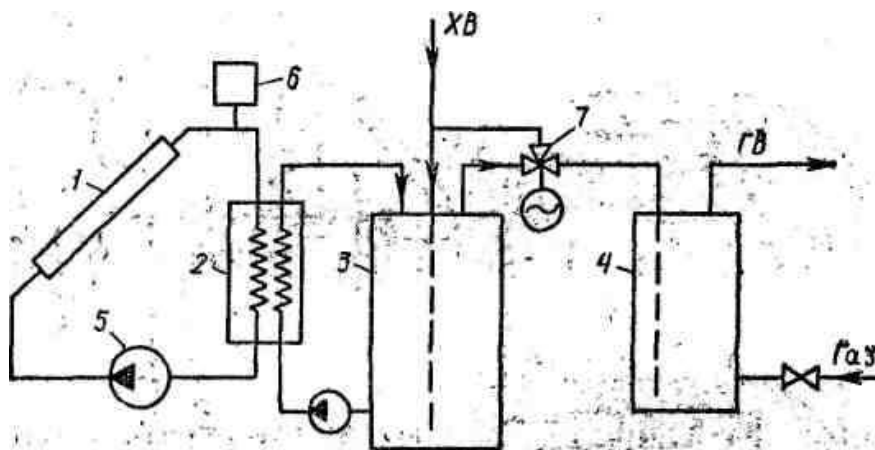


Рис. 3.5. - Двоконтурна схема сонячної водонагрівальної установки:

1 - сонячний колектор; 2 - теплообмінник, 3 - акумулятор гарячої води; 4 дублер (газовий котел); 5 - насос; 6 - розширювальний бак; 7 - автоматичний змішувальний клапан; ХВ і ГВ - холодна і гаряча вода.

Сонячні водонагрівачі можуть використовуватися в якості першого ступеня для попереднього підігріву води в звичайних паливних системах гарячого водопостачання житлового будинку.

Сучасна система опалення та ГВП у зв'язку із нерівномірним надходженням кількості сонячної енергії у різні періоди року не здатна повністю забезпечити потребу в тепловій енергії, тобто в потрібний час відповідної температури в необхідній кількості (рис 4.14). Діяти з точки зору економного використання палива та охорони навколишнього середовища означає, що застосування геліоколекторної установки

потрібно планувати не тільки для приготування гарячої води, але й для системи опалення.

Геліоустановка може працювати лише за умови, якщо температура теплоносія, що подається нижче температури адсорбера сонячного колектора. Тому, найкращим варіантом є її застосування для опалювальних приладів з великою площею нагріву і низькими температурами в системі або для підлогового палення.

За умови правильного проектування і монтажу, геліосистема покриває до 30 % питомої річної потреби в енергії для ГВП та опалення. Системи гарячого водопостачання можуть бути одно – і багатоконтурними з природною або примусовою циркуляцією. Крім того, сонячна енергія є екологічно чистим видом енергії.

Інтенсивність сонячної радіації залежить від таких факторів: тривалості дня, хмарності, висоті Сонця над горизонтом, вологості і прозорості атмосфери, географічної широти. Сумарна сонячна радіація складається з прямої (що безпосередньо досягає поверхні Землі) та розсіяної (радіація, що розсіяна хмарами, пилом та вологою в атмосфері). В деяких джерелах сумарна сонячна радіація має назву абсолютна. Відбита сонячна радіація (альbedo) суттєвого впливу на роботу сонячного колектору не має.

Геліоколектори для нагрівання теплоносія використовують сумарну сонячну радіацію, яка складається з прямої, розсіяної та відбитої. Щільність потоку прямої сонячної радіації в площині колектору  $H_{np}$  на поверхню нахилену під кутом до горизонту дорівнює:

$$H_{np} = H_{sc} \cdot R_{np} \cdot K_{at}, \quad (4.10)$$

де  $R_{np}$  – коефіцієнт перерахунку приходу прямої сонячної радіації з горизонтальної на похилу поверхню;

$K_{at}$  – коефіцієнт, який враховує поправку на повітряну масу, яку проходить сонячне випромінювання.

Коефіцієнт перерахунку приходу прямої сонячної радіації на похилу поверхню буде дорівнювати:

$$R_{np} = \frac{\cos \theta_{nox}}{\cos \theta_{zop}}, \quad (4.11)$$

де  $\theta_{\text{пох}}$  – кут між напрямком прямого сонячного випромінювання та нормаллю до похилої поверхні;

$\theta_{\text{гор}}$  – кут між напрямком прямого сонячного випромінювання та нормаллю до горизонтальної поверхні.

$$\begin{aligned} \cos \theta_{\text{пох}} = & \sin \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin S - \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin S \cdot \cos \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos S \cdot \cos \omega + \\ & + \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin S \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin S \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega \end{aligned} \quad (4.12)$$

$$\cos \theta_{\text{гор}} = \sin \delta \cdot \sin \varphi + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \omega, \quad (4.13)$$

де  $S$  – кут нахилу геліоколектора до горизонту, град;

$\gamma$  – азимутальний кут, тобто відхилення нормалі до площини колектора від місцевого меридіана (за початок відліку приймається південне направлення, відхилення до сходу вважається позитивним, а до заходу негативним);

$\omega$  – часовий кут, рівний нулю опівдні; кожна година дорівнює  $15^\circ$  довготи, причому значення часового до опівдня вважається позитивним, а після опівдня негативним;

$\delta$  – схилення Сонця, тобто кутове положення Сонця опівдні відносно площини екватору град;

$\varphi$  – географічна широта місцевості (позитивна для північної півкулі);

Часовий кут  $\omega$  розраховується за формулою

$$\omega = \frac{\pi}{12} \cdot (12 - t), \quad (4.14)$$

де  $t$  – сонячний час для даної місцевості, год.

Схилення Сонця розраховуємо так:

$$\delta = 23 \cdot 45 \cdot \sin \left\{ \frac{2\pi}{365} (284 + N) \right\}, \quad (4.15)$$

де  $N$  – порядковий номер дня року (починаючи з 1, що відповідає 1-му січня);

Коефіцієнт  $K_{am}$ , який враховує поправку на повітряну масу, знаходиться за формулою:

$$K_{am} = 1,1254 \cdot \frac{0,1366}{\sin h}, \quad (4.16)$$

де  $h$  – кут, який визначає висоту сонця над горизонтом в даний момент часу, град., синус цього кута рівний:

$$\sinh = \cos \delta \cdot \cos \omega \cdot \cos \varphi + \sin \delta + \cos \varphi$$

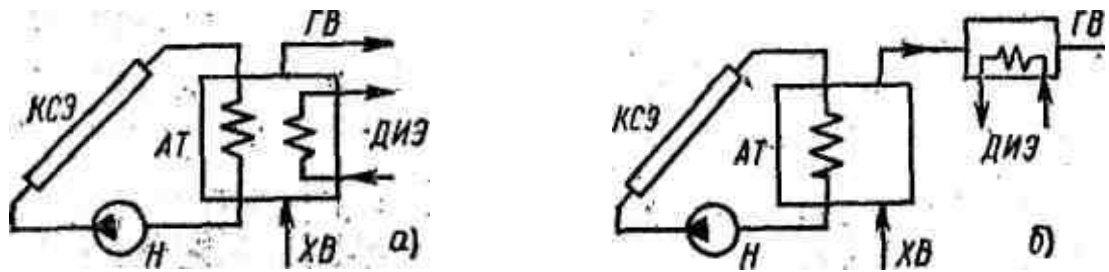


Рис. 3.6. - Схеми підведення теплоти від додаткового джерела енергії

Формула (4.10) дозволяє розраховувати лише величину потоку прямої сонячної радіації, напрямленої на довільну поверхню. Проте, будь-який сонячний колектор сприймає на собі також дію розсіяної сонячної радіації. Точний розрахунок цієї складової частини енергії, яка надходить на сонячний колектор – процес досить складний. Проте, з достатньою точністю для довільно розташованої поверхні цю величину можна апроксимувати емпіричною залежністю:

$$H_{розс} = 137,1 - 14,82 \cdot \frac{1}{\sinh} \quad (4.19)$$

Відбита сонячна радіація може бути оцінена з виразу:

$$H_{від} = 0,5 \cdot \rho \cdot (1 - \cos S) \cdot (H_{пр} + H_{розс}), \quad (4.20)$$

де  $\rho$  – відбивальна властивість Землі;

$\rho = 0,2$  в літній період;

$\rho = 0,7$  в зимній період при наявності снігу.

Остаточо, загальний потік енергії, який приноситься сонячною радіацією на довільно орієнтовану у простору нахилену поверхню на широті  $L$ , рівний:

$$H_m = H_{пр} + H_{розс} + H_{від} \quad (4.21)$$

Необхідно врахувати, що всі ці значення наведені для ясного дня, на практиці при розрахунку потрібно враховувати так званий коефіцієнт хмарності. Слід також відмітити, що розраховані значення потоків для різних годин практично повністю збігаються із наведеними у таблицях у нормативних документах (СНіП) та кліматичному атласі.

Сонячні системи, що забезпечують потреби в тепловій енергії, розподіляють на *активні* та *пасивні*. Пасивні системи, де використовуються архітектурні елементи будови, які спроектовані і підібрані таким чином, щоб максимально використати енергію Сонця, більш дешеві і не потребують додаткового обладнання. Активні

будуються на основі сонячних колекторів (СК) з примусової циркуляцією теплоносія за допомогою насосів. Плaskі сонячні колектори уловлюють як пряму, так і розсіяну сонячну енергію і дозволяють отримати воду з температурою 40...60 °С. Сезонна ефективність простих пасивних геліосистем може виявитися не менш ефективною в порівнянні з більш складними та дорогими системами сонячного теплопостачання.

Недоліком пасивних систем є складність регулювання температури повітря в приміщеннях та необхідність застосування автоматично регулюючих пристроїв.

Активні сонячні системи в якості теплоносіїв можуть використовувати повітря або рідину, що не замерзає (антифриз). Перевагою активних систем є легкість інтегрування з традиційними системами теплопостачання, а також можливість автоматичного керування роботою системи, а основним недоліком є велика вартість. Вибір, склад і компоновка елементів активної системи визначається в кожному конкретному випадку кліматичними факторами, типом об'єкту, режимом теплопостачання, економічними показниками. В зв'язку з тим, що підтримувати поверхню сонячного колектора перпендикулярно сонячним променям за допомогою системи слідкування складно і дорого, геліоколектори встановлюють нерухомо, або змінюють орієнтацію два рази на рік. Найкраще орієнтувати колектори на південь. Оптимальний кут нахилу колектора до горизонту складає:

–  $S = \varphi + 12^\circ$ , – при літньої (сезонної) експлуатації

–  $S = \varphi - 12^\circ$ , – при цілорічної експлуатації

де  $\varphi$  – широта місцевості.

Геліоустановки бувають двох типів: *сезонного* та *постійного використання*. В геліоколекторі сезонного типу вода нагрівається безпосередньо в сонячному колекторі, а в установках постійного використання вода нагрівається в баках непрямого року, в якості проміжного теплоносія використовується антифриз, який сприймає енергію сонця в сонячному колекторі.

На рис. 3.7 показана схема душової kabіни, що випускається ВО «Моссантехконструкція». Вона виготовляється з азбестоцементних плит. Її габарити 1850X1900X1150 мм. Колектор площею 2 м<sup>2</sup> і бак ємністю 100 л розміщені на даху. На жаль, kabіна має велику масу, яка без води в системі становить 360 кг. За один літній

день в Підмосков'ї можна отримати від 120 до 160 л води з температурою 40 °С, а за сезон з квітня по вересень можна отримати економію в 400-700 кг умовного палива.

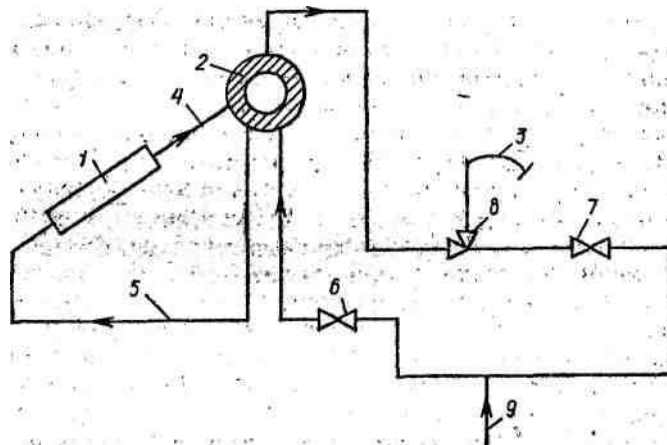


Рис. 3.7. Схема душової kabіни:

1 - колектор; 2 - бак гарячої води; 3 - душ; 4, 5 - труби; 6, 7 - вентилі; 8 - кран перемикання; 9 - водопровід

### 3.2. Системи сонячного постачання будівель.

Режим роботи сонячного колектора описується рівнянням енергетичного балансу, котре розділяє енергію сонячної радіації на корисну акумульовану енергію і втрати. Енергетичний баланс колектора в цілому можна записати в такому вигляді:

$$A \{ [H_R(\tau\alpha)]_b + [H_R(\tau\alpha)]_d \} = Q_u + Q_L + Q_S, \quad (4.22)$$

де  $H$  – щільність потоку сонячного випромінювання (прямого або розсіяного), падаючого на одиницю площі горизонтальної поверхні;

$R$  – коефіцієнт перерахунку щільності потоку прямого або розсіяного випромінювання з горизонтальної на похилу поверхню;

$\tau\alpha$  – приведена поглинаюча властивість системи покриттів відносно прямого або розсіяного випромінювання;

$A$  – площа колектору;

$Q_u$  – тепловий потік, який переданий робочій рідині в сонячному колекторі (корисне тепло);

Коефіцієнт, знайдений за формулою (4.26) значною мірою характеризує конструктивну і теплотехнічну досконалість конструкції плаского сонячного

колектора. У стані рівноваги (відсутня циркуляція теплоносія) при наявній інтенсивності випромінювання Сонця та температури навколишнього середовища колектор нагрівається до максимальної температури. Температура рівноваги в деякій мірі є характеристикою теплової ефективності колектора (теплових втрат колектора).

Великий вплив на значення ККД сонячного колектора має температура теплоносія на вході в колектор: чим нижча температура, тим менші теплові втрати і вище ККД. За досвідом експлуатації плоских сонячних колекторів, підвищення густини потоку сонячного випромінювання від 300 до 1000 Вт/м<sup>2</sup> призводить до підвищення ККД від 32 до 59 %, а при підвищенні температури зовнішнього повітря від 20 до 30 °С ККД збільшується від 41 до 55 %.

### **3.3. Паливні геліосистеми опалення будівель.**

Для опалення будівель використовуються такі типи пасивних геліосистем:

- Процеси гранулювання являються масовими технологічними процесами, досить поширені в наш час, і знаходять усе більш широке використання в хімічній, нафтохімічній, фармацевтичній, металургійній галузях промисловості. Це пояснюється перевагами гранул у порівнянні з порошкоподібною, рідкою і пастоподібною формами речовин.

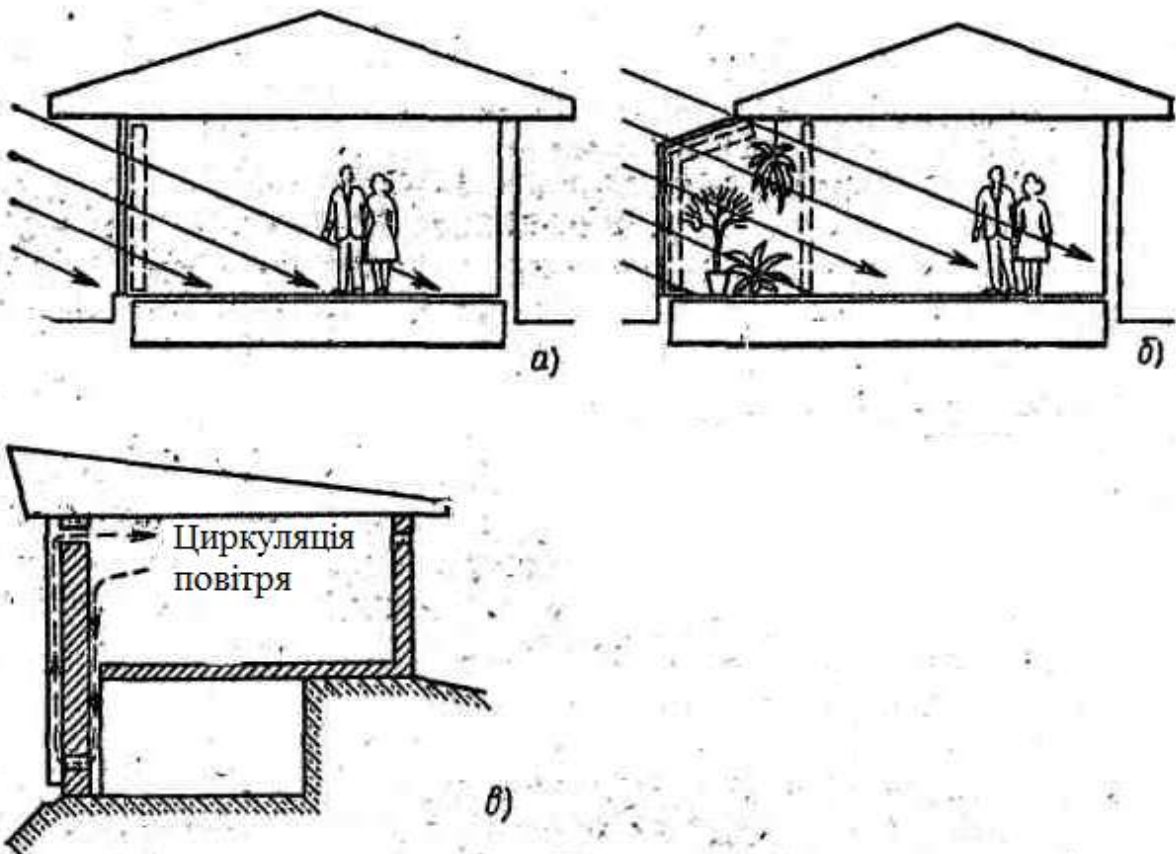


Рис. 3.9. – Типи пасивних геліосистем опалення, будинків.

а - з прямим уловлюванням сонячної енергії, б - з прибудованою теплицею, в – з теплоаккумуляційною стіною.

з контуром конвективної циркуляції повітря і гальковим акумулятором теплоти. Дім з такою системою (показано на рис. 3.10). Крім того, можуть використовуватися гібридні системи, що включають елементи пасивної і активної геліосистеми.

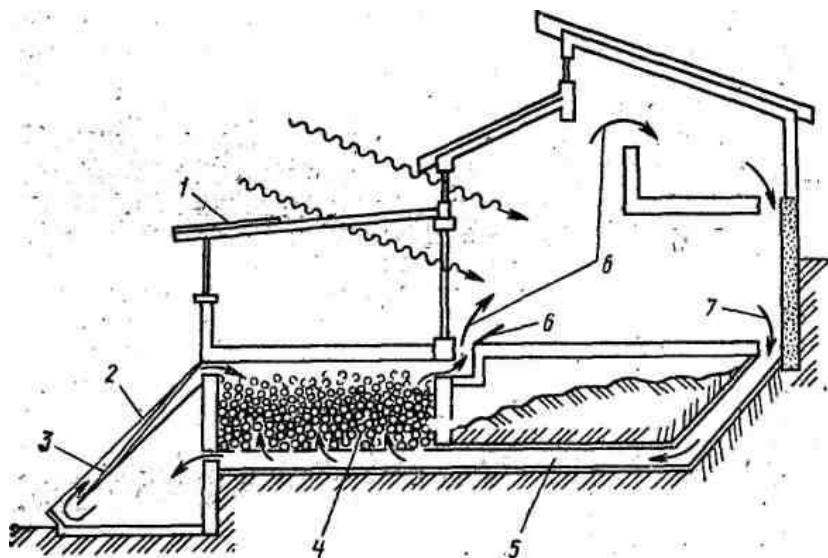


Рис. 3.10. - Сонячний будинок з прямим уловлюванням сонячної енергії

*1 - сонцезахисний пристрій; 2 - повітряний колектор; 3 - чорний металевий лист; 4 – камені; 5 - повернення повітря; 6 - регулювання потоку повітря; 7 - свіже повітря; 8 - тепле повітря*

1) Гранулювання проводять з метою поліпшення якості як проміжних, так і готових продуктів. Показники якості залежать від специфіки продукту і його призначення. У загальному випадку, гранулювання дозволяє істотно зменшити схильність продукту до злежування, а отже, спростити зберігання, транспортування і дозування; підвищити сипучість при одночасному усуненні запиленості, і тим самим поліпшити умови праці в різноманітних сферах виробництва. Поряд з цим, гранулювання відкриває можливість гомогенізувати суміш відносно фізико-хімічних властивостей; збільшити поверхню теплообміну та масообміну; регулювати структуру гранул і пов'язані з нею властивості. Все це сприяє інтенсифікації процесів, в яких використовуються гранульовані продукти, підвищенню продуктивності праці і культури виробництва.

2) на південній стороні будинку повинно бути зосереджено не менше 50-70% всіх вікон, а на північній - не більше 10%, причому південні вікна повинні мати двошарове скління, а північні вікна тришарове;

3) будівля; повинно мати поліпшену теплову ізоляцію, і низькі тепловтрати внаслідок інфільтрації зовнішнього повітря;

4) внутрішнє планування будівлі повинно забезпечувати розташування житлових кімнат з південного боку, а допоміжних приміщень - з північної;

5) повинна бути забезпечена достатня теплоакumuлююча здатність внутрішніх стін і підлоги для поглинання і акумулювання теплоти сонячної енергії;

6) для запобігання перегріву приміщень в літній період над вікнами повинні бути передбачені навіси, козирки і .т. п. ККД такої системи опалення, як правило, складає 25-30%, але в особливо сприятливих кліматичних умовах може бути значно вище і досягати 60%. Недоліком цієї системи є великі добові коливання температури повітря всередині приміщень

## РОЗДІЛ 4. СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ НА ОСНОВІ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.

При спалюванні гранул в атмосферу викидається рівно стільки CO<sub>2</sub>, скільки було поглинуто рослиною під час росту. Проте, якщо в місці зростання сировини докільля містило токсини або радіоактивні речовини, то при спалюванні гранул ці речовини можуть бути розпорошені в атмосферу. Гранули менш схильні до самозаймання, оскільки не містять пилу і спор, які також можуть викликати алергічну реакцію у людей.

Для того, щоб замінити бензинових побратимів і цілий день залишатися в строю - одній нічній зарядки не вистачає, а звичайних зарядних станцій поки ще дуже мало навіть в найрозвиненіших країнах. В Україні, тут поки налічується невелика кількість електрозаправок. Така ситуація відлякує автолюбителів і суттєво гальмує популяризацію екологічного транспорту. Карта розташування електрозаправок в Україні представлено на рисунку 4.1.

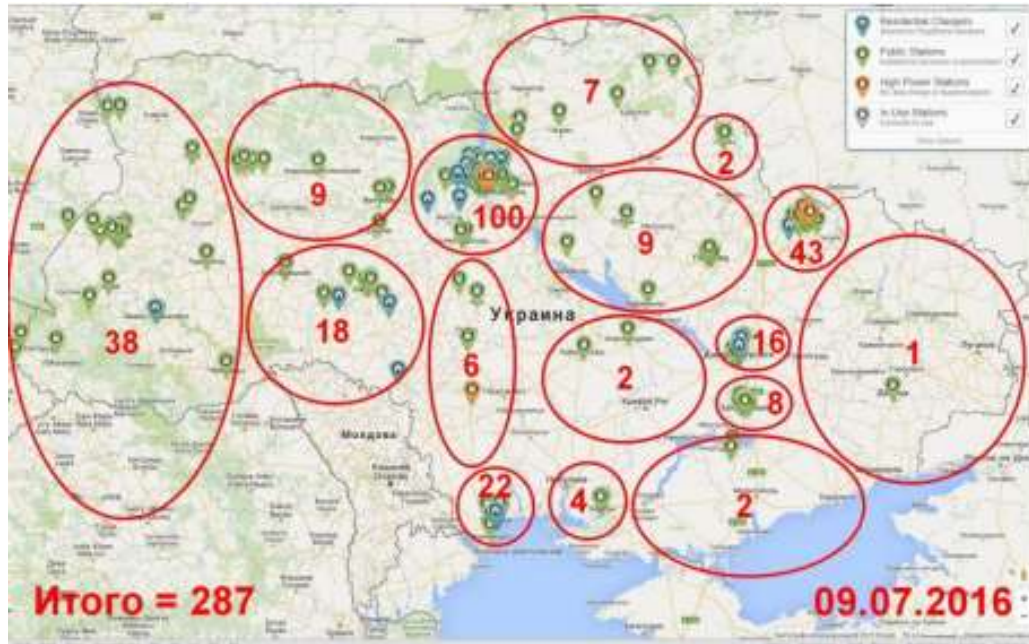


Рис. 4.1 - Карта розташування електрозаправок.

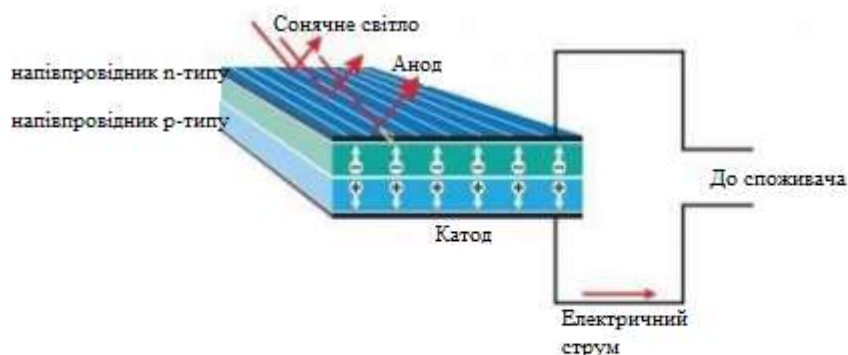
У даній дипломній роботі пропонується використовувати сонячні батареї (СБ) для зарядки електроциклів (рис. 4.2).



Рис. 4.2 - Зовнішній вигляд пропонованої автозаправки з використанням системи СЕС

#### 4.1. Фотоелектричні елементи і їх види.

Гранули мають незначну вологість (8...12 %) та значну щільність. Ці якості забезпечують високу теплотворну здатність – при згоранні тонни гранул виділяється приблизно 5 тис. кВт год. тепла, що у півтора рази більше, ніж у звичайних дров. Низька вологість – це не лише перевага гранул як палива, але і проблема їх виробництва. Сушка може виявитися однією з основних статей витрат при виробництві паливних гранул. місці зіткнення пластини мають найтонше покриття: одна - борне, інша - фосфорне. під дією фотонів сонячного світла в фотоелементі з'являються області з надлишком і недоліком (так звані «дірки») електронів. На стику пластин, в місці напівпровідникового р-п переходу, виникає електрогенеруючий ефект. Далі електричний струм по мідним смужках надходить до перетворювачів напруги (рис. 4.3).



#### **4.1.1. Фотоелементи з монокристалічного кремнію**

Крім того, залежно від виробництва, підготовка, сортування і очищення сировини також можуть спричинити додаткові витрати. Процес сушки важливо ретельно спланувати, що дозволить зменшити ризики, пов'язані з якістю готової продукції, її собівартістю і пожежонебезпекою виробництва. Одна з найважливіших переваг гранул – висока і постійна насипна щільність, що дозволяє відносно легко транспортувати цей сипкий продукт на великі відстані. Завдяки правильній формі, невеликому розміру і однорідній консистенції продукту, гранули можна пересипати через спеціальні рукави, що дозволяє автоматизувати процеси навантаження, розвантаження і спалювання цього виду палива.

Так, для сонячних батарей це хороший показник. Зовнішній вигляд панелей представлений на рисунку 4.4.



*Рис. 4.4 - Зовнішній вигляд монокристаллической панелі.*

#### **4.1.2. Фотоелементи з полікристалічного кремнію**

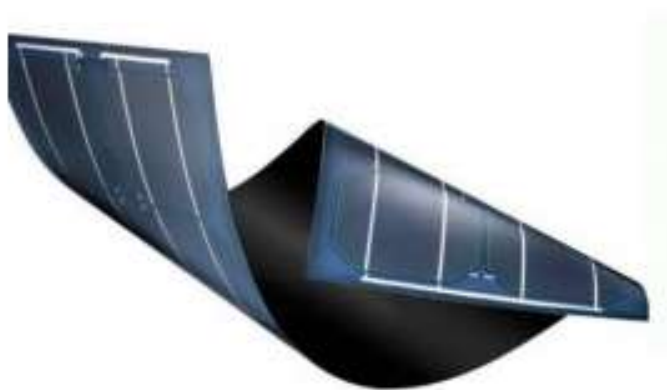
Для того щоб отримати полікристали, кремнієву субстанцію повільно охолоджують. Такий підхід до технології виробництва значно дешевше ніж в попередньому типі панелей, тому й коштує цей вид дешевше. При цьому для виготовлення потрібно менше енергії, а це ще раз благотворно діє на ціну. Тому у таких батареях ККД нижче - до 18%. Пов'язано таке падіння коефіцієнта з утвореннями всередині полікристала, які знижують ефективність. Зовнішній вигляд такої панелі представлений на рисунку 4.5.



*Рис. 4.5 - Зовнішній вигляд панелі з полікристалічного кремнію*

#### **4.1.3. Фотоелементи з аморфного кремнію**

Сільськогосподарська біомаса, що використовується як паливо, має ряд особливостей, які відрізняють її від традиційних енергоресурсів, що застосовуються в якості джерела енергії. Деякі з характеристик твердого біопалива, у першу чергу зовнішні (щільність, розміри часток, специфічність поверхні), за допомогою подрібнення та ущільнення можуть бути змінені.



*Рис. 4.6 – Зовнішній вигляд панелі з аморфного кремнію*

Найбільш важливою паливно-технологічною характеристикою біомаси, яку використовують в якості сировини, є її теплотворна здатність, що залежить від багатьох чинників: генетичних особливостей енергетичних рослин, впливу навколишнього середовища, умов зберігання, вологості тощо. Нижче наведено середню теплотворну здатність сільськогосподарської енергетичної сировини (що раніше відносили до відходів агропромислового виробництва) при абсолютній її вологості на рівні 20 %.

## 4.2. Переваги сонячних панелей.

### • *Низькі поточні витрати*

Фотоелементи працюють на безкоштовному паливі - сонячній енергії. Завдяки відсутності рухомих частин, вони не вимагають особливого догляду..

До основних видів біомаси, що використовується в якості твердого біопалива, відносять деревину разом із сировиною з енергетичних рослин, таких як верба, шавнат та румекс, а також соломі та зрубки з різного роду насаджень. Спалюванню деревини та соломи в печах передують збирання, а також за потреби висушування та зберігання зібраної сировини. Важливою характеристикою даної біомаси є її щільність. Звичайно, сухі біологічні матеріали мають щільність у 3...4 рази нижчу, ніж вугілля. Доставка і переробка таких матеріалів є трудомісткою і високовартісною, особливо якщо утилізація ведеться на значній відстані від джерел виробництва біомаси, тому їх необхідно переробляти в гранульоване біопаливо на відстані не більшій за 50 км від місця вирощування.

### • *Екологічність*

Для виробництва гранул витрачається біля 3 % енергії, що містить отримана гранула. Тоді як, під час виробництва нафти ці енерговитрати складають 10 %, а при виробництві електроенергії 60...90 %. Теплотворна здатність гранул складає 4,5...5,0 кВт/кг, що в 1,5 рази більше, ніж у звичайної деревини і вона наближається до теплотворної здатності вугілля. Горіння гранул в топці котла відбувається більш ефективно – кількість залишків (золи) не перевищує 0,5...1,0 % від загального об'єму використаного палива.

### • *Низькі витрати на будівництво*

Для багатьох регіонів України використання власного твердого біопалива доцільніше, ніж вугілля або нафтопродуктів, бо вироблене з місцевої сировини біопаливо обходиться у 2...4 рази дешевше й не потребує значних транспортних

витрат на його доставку. Використовують тверде біопаливо у вигляді солом'яний брикетів, гранул, зрубок та відходів сільськогосподарського виробництва. Наприклад, на 14 підприємствах олійної галузі України парові котли переведені на спалювання лушпиння, за рахунок чого у 2008 році заощаджено 152 млн. м<sup>3</sup> газу. В минулому році олійно-жирова галузь використала для спалювання в промислових котлах лушпиння соняшнику в кількості до 500 тис. тонн. Крім того, близько 120 тис. тонн лушпиння щорічно гранулюється і продається на експорт та населенню. Властивості різних органічних палив наведено .

#### • *Застосування фотомодулів*

Подрібнене тверде біопаливо для котлів, яке складається з відходів деревини (залишки кори, тирса, зрубки, шматки деревини, тощо), повинне мати теплотворну здатність сухої маси вищу ніж 5400 кВт·год/т; вологість меншу за 40 %; середній розмір частинок — на рівні 50×50×20 мм, при цьому кількість частинок з розмірами до 150×60×20 мм не більше ніж 10 %; вміст золи до 2 % його сухої маси. До того ж, не дозволяється додавання у біопаливо речовин, що здатні негативно вплинути на його зберігання, перевезення і використання в опалювальному обладнанні.

### **4.3. Використання сонячних панелей для зарядки електромеханічних засобів пересування**

У даній дипломній роботі, передбачається використання електрозаправні станцію на основі сонячної енергії (рисунок. 4.7).

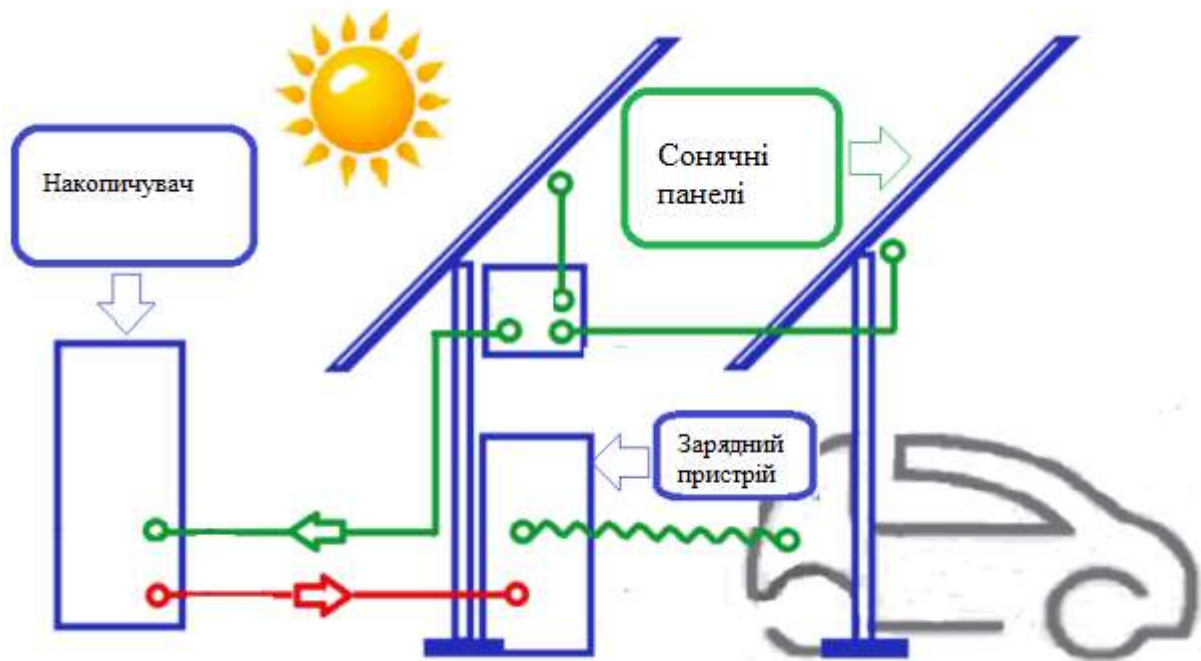


Рис. 4.7 - Схема електростанції на основі сонячної енергії.

Найбільш важливими з них являються відходи, що виникають при механічній обробці деревини (тирса, деревна стружка, кора і т.д.), і солома. Кількість відходів деревини становить близько 3...4 млн. тон на рік, з яких лише близько 19 % використовуються в енергетичних цілях, основна ж частина просто утилізується. Відходи з соломи зернових і рапсу щорічно оцінюються приблизно в 30 млн. тонн, з яких лише незначна сума використовується як компонент кормів.

## РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ.

### 5.1. Профіль електричного навантаження електростанції для заряду електротранспорту.

Труднощі, що виникають при використанні енергії біомаси, можуть бути подолані шляхом обробки, що значно збільшує їх теплотворну здатність. Ці операції є дорогими і енергоємними. Однак, вигода від нового палива (значне збільшення щільності й теплотворної здатності, відсутність викидів CO<sub>2</sub>, зниження викидів NO<sub>x</sub> і SO<sub>2</sub> в

атмосферу, що відповідає законодавству в ЄС), робить його цікавим для інвестицій та перспективним.

Найбільш поширеними операціями, що проводять з відходами в процесі виробництва твердого біопалива являються: висушування, подрібнення, гранулювання і брикетування.

## 5.2. Аналіз електричного навантаження споживачів

Важливою перевагою фотоелектричних СЕС є дуже малі експлуатаційні витрати – модулі, захищені від пилу і атмосферних опадів склом або плівкою, працюють десятки років без обслуговування. У хмарну погоду потужність СЕС цього типу дещо знижується, хоча і менше, ніж для термоелектричних установок. Слід очікувати, що в південних сонячних регіонах при масовому випуску та зниженні вартості кремнієвих модулів такі установки виявляться конкурентоздатними в порівнянні з традиційними, працюючими на дорогому органічному паливі.

№	Споживач	Потужність в кВт
1	Електромотоцикл MYBRO GODSPEED	2,16
2	Електроскутер CityCoco Harley	2
Всього		4,16

Таблиця 5.1- Перелік електроприладів

Відомо, що рослинні відходи характеризуються високою теплою згорання, яка значною мірою залежить від їх вологості. Найбільший показник теплоти згорання (теплотворності) був зафіксований при згоранні деревного вугілля – 31,55 мДж/кг (30,23 мДж/кг) і найменший – при згоранні паперу – 17,05 мДж/кг (16,39 мДж/кг). Для порівняння – теплотворна властивість вугілля становить 27...33 мДж/кг, бурого вугілля – 27...33 мДж/кг, дизельного палива – 41...46 мДж/кг, газів – 35...49 мДж/кг.

### ***Виробництво паливних брикетів та гранул***

Паливні брикети і гранули, що утворюються в процесі агломерації під тиском (грануляцією, брикетуванням), коли відбувається ущільнення сипучих матеріалів під дією зовнішнього тиску пресування і внутрішніх (міжмолекулярні сили та зв'язки) сил формуються геометрично правильної і однакової форми.

Наприклад гранули VN-78/1135-04 кубічної чи циліндричної форми, відповідно з висотою або діаметром до 15 мм, брикети – кубічної чи циліндричної форми, відповідно з висотою або діаметром 15...30 мм, зустрічаються і великі брикети з висотою/діаметром 60...120 мм.

Використання рослинних відходів у спресованому вигляді (брикети і гранули) має багато переваг.

### **5.3. Перерахунок сонячної енергії, падаючої на поверхню ЕАЗС, і вибір оптимального кута установки сонячних панелей.**

Розробляються проекти супутникових фотоелектричних СЕС. Передбачається виводити і монтувати їх на геостаціонарних орбітах на екваторі, на висоті 35800 км, так що вони будуть постійно «висіти» над одним і тим же місцем. Сонячні елементи з поверхнею в десятки км<sup>2</sup> розміщуються на тонкій синтетичній плівці, орієнтованій перпендикулярно до сонячних променів. Електричний струм від сонячних елементів перетворюється в спеціальних генераторах в мікрохвильове випромінювання, яке бортовою антеною направляється на Землю. Передавальна антена має діаметр близько 1 км, а приймальна антена НВЧ-випромінювання на Землі – близько 7 км. Приймальна станція перетворює НВЧ-випромінювання в струм промислової частоти і напруги. Для реалізації цього унікального за задумом і масштабами проекту будуть потрібні величезні кошти і великий обсяг науково-технічних розробок.

М І С Я Ц Ь	С І Ч	Л Ю Т	Б Е Р	К В І	Т Р А	Ч Е Р	Л И П	С Е Р	В Е Р	Ж О В	Л И С	Г Р У
δс, град	-21,27	-13,29	-2,82	9,41	18,79	23,31	21,52	13,78	2,22	-9,60	-19,00	-23,34

Табл. 5.2. - Кут відміни Сонця по місяцях.

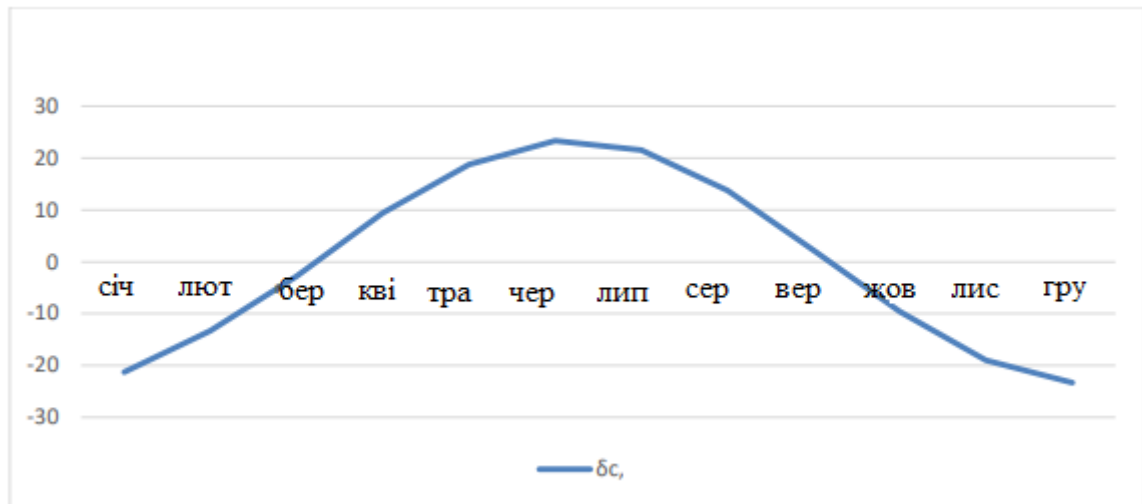


Рис. 5.1 -Кут відміни Сонця по місяцях

Для забезпечення умов поглинання сонячної енергії сонячними панелями, його поглинає поверхня повинна бути орієнтована на південь з кутом нахилу βопт, який буде дорівнює:

$$\beta_{\text{опт}} = \varphi_{\text{р}} - \delta_{\text{с}}, \text{ де } \varphi_{\text{р}} - \text{широта місцевості, де розглядається проектування ФЕС.}$$

Розрахунки занесені в таблицю 5.3.

М І С Я Ц Ь	С І Ч	Л Ю Т	Б Е Р	К В І	Т Р А	Ч Е Р	Л И П	С Е Р	В Е Р	Ж О В	Л И С	Г Р У
βопт., град	26,73	34,71	45,8	57,41	66,76	71,31	69,52	61,78	50,22	38,4	29	24,66

Табл. 5.3 - Оптимальний кут установки фотоелементів.

Згідно рисунку 5.2 оптимальним кутом нахилу сонячних батарей для повного автономного постачання електрозарядної станції складе 45 градусів, що показує апроксимація на графіку. Розрахунок будемо проводити для зимового місяця, так як це самий несприятливий місяць.

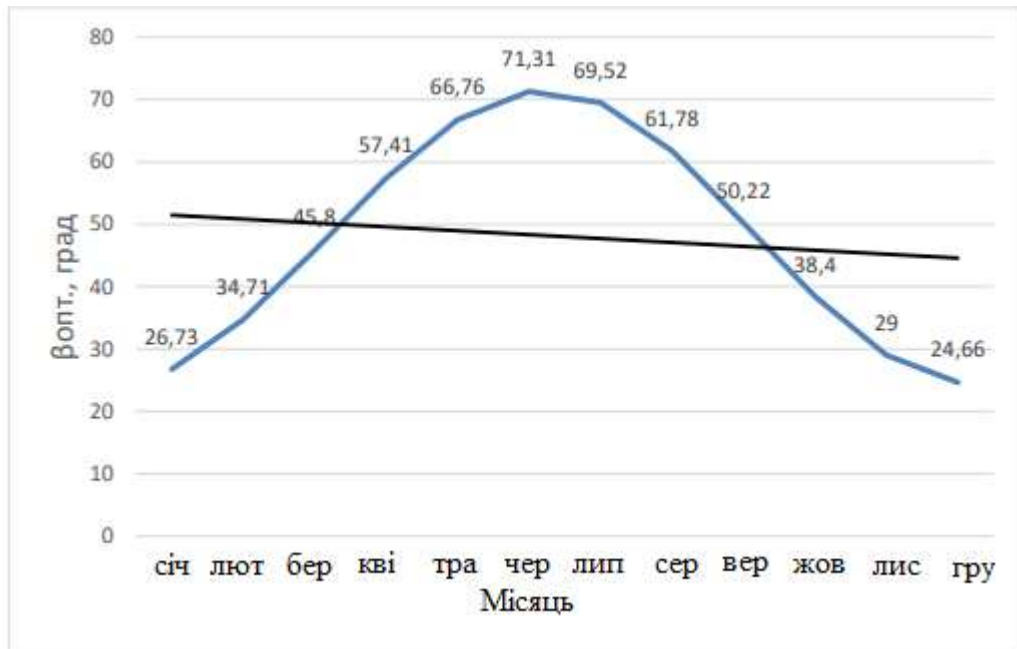


Рис. 5.2 – Оптимальний кут установки фотоелементів.

Знайдемо часовий кут заходу Сонця для похилій поверхні з південною орієнтацією:

$$\omega_{дт} = \arccos[-tg(\varphi - \beta) \cdot tg\delta] = \arccos(-tg(45 - 90) \cdot tg(22.10)) = 91,62,$$

де  $\varphi$  – широта місцевості, градус;

$\beta$  – кут нахилу поверхні сонячної батареї до горизонту;  $\beta=45^\circ$  - градуси, так як він найбільш оптимальний для нашої місцевості, виходячи з графіка, зображеного на рисунку

Часовий кут заходу (сходу) Сонця для горизонтальної поверхні:

$$\omega_{з} = \arccos(-tg\varphi \cdot tg\delta) = \arccos(-tg(48) \cdot tg(22.10)) = 116.8^\circ$$

Середньомісячний коефіцієнт перерахунку прямого сонячного випромінювання з горизонтальної на похилу поверхню:

$$R_n = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_{зн} + \frac{\pi}{180} \omega_{зн} \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin\delta}{\cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \sin\omega_{з} + \frac{\pi}{180} \omega_{з} \cdot \sin\varphi \cdot \sin\delta} =$$

$$\frac{\cos(48 - 45) \cdot \cos(22.10) \cdot \sin(91,68) + \frac{\pi}{180} \cdot 91,62 \cdot \sin(48 - 45) \cdot \sin(22.1)}{\cos(48) \cdot \cos(22.1) \cdot \sin(116.8) + \frac{\pi}{180} \cdot 116.8 \cdot \sin(48) \cdot \sin(22.1)} = 0,8689$$

де  $\beta$  - кут нахилу сонячної батареї до горизонту, градус;

Коефіцієнт перерахунку з горизонтальній площині на похилу з південною орієнтацією дорівнює сумі трьох складових, відповідних прямого, розсіяного і відбитого сонячного випромінювання:

$$R = \left(1 - \frac{E_p}{E}\right) \cdot R_n + \frac{E_p}{E} \cdot \frac{1 + \cos\beta}{2} + \rho \cdot \frac{1 - \cos\beta}{2} = \left(1 - \frac{0,6}{0,96}\right) \cdot 0,8689 + \frac{0,6}{0,96} \cdot \frac{1 + 0,719}{2} + 0,2 \cdot \frac{1 - 0,719}{2} = 1,23$$

де  $E_p$  – середньомісячна денна кількість розсіяного сонячного випромінювання, що надходить на горизонтальну поверхню; таблиця 2.8 згодна даними.

МІСЯЦЬ	С І Ч	Л Ю Т	Б Е Р	К В І	Т Р А	Ч Е Р	Л И П	С Е Р	В Е Р	Ж О В	Л И С	Г Р У	Р А З О М
$E_p$ (кВт·ч / м <sup>2</sup> / день)	0.73	1.06	1.60	2.13	2.47	2.67	2.55	2.21	1.73	1.15	0.73	0.60	1.64

Табл. 5.4 – Середньомісячне значення за добу дифузне випромінювання, падаючого потоку на горизонтальну поверхню.

$E_p/E$  – середньомісячна денна частка розсіяного сонячного випромінювання;

$R_p$  – середньомісячний коефіцієнт перерахунку прямого сонячного випромінювання з горизонтальної на похилу поверхню;

$\beta$  – кут нахилу поверхні сонячної батареї до горизонту;  $\beta=45^\circ$  - градуси, так як він найоптимальніший розглянутої місцевості.

Це в свою чергу показує, під кутом 45 градусів, наші панелі будуть працювати в номінальному режимі, відповідно ККД установки буде знижуватися через температуру, що в свою чергу показує необхідність проведення подальших досліджень. Але для проектування СЕС враховуємо тільки перерахунок енергії на похилу поверхню. На сьогодні сонячна енергетика є серйозною альтернативою традиційній енергетиці, адже пряме перетворення сонячної радіації на електрику є найбільш ефективним використанням енергії сонця, що здійснюється за допомогою напівпровідникових фотоелектричних перетворювачів. А в Україні історично створені умови сприятливі для розвитку промислового виробництва сонячної електроенергетики та її технічних засобів (достатня кількість сумарної сонячної радіації, вітчизняний практичний досвід, науковий потенціал та ін.)

Так, виробничий цикл ВАТ «Квазар» є позитивним прикладом українського досвіду формування виробничого ланцюжка, починаючи з отримання моно-

мультикремнію і закінчуючи монтажем систем. Це підприємство є найбільшим в Україні промисловим виробником, який в своїй роботі охоплює основну частину виробничого циклу від вирощування напівпровідникового матеріалу до інсталяції готових фотоелектричних систем автономного електропостачання. Також одним з найбільших учасників ринку «сонячного» кремнію є столичне ЗАТ «Пілар» (більше 2500 тонн на рік), що постачає свою продукцію багатьом зарубіжним виробникам сонячних елементів.

#### **5.4. Визначення необхідної ємності акумуляторних батарей і їх кількості**

Для того щоб, розрахувати необхідну кількість акумуляторних батарей, необхідно визначитися з типом системи: автономна або з підтримкою мережі. Так як, у нас гібридна автономна система фотоелектрична система, кількість днів без сонця, визначаємо виходячи з таблиці 2.11. Визначимо сумарна ємність акумуляторів, що враховує кількість днів без сонця  $N_{bc}$ :

$$q_N = q_{\text{сум}} \cdot N_{bc} = 17332 \cdot 1 = 31197,6 \text{ A} \cdot \text{ч}$$

Для визначення оптимальної кількості АКБ, необхідно врахувати, що чим більше глибина розряду, тим швидше батареї вийдуть з ладу. Рекомендується враховувати значення глибини розряду 20% - 50%. Відповідно коефіцієнт використання  $\gamma$  складе від 0,2 до 0,5. Заряд акумуляторної батареї з урахуванням глибини розряду:

$$q_\gamma = \frac{q_N}{\gamma} = \frac{31197,6}{0,5} = 62395,2 \text{ A} \cdot \text{ч}$$

З урахуванням місця зберігання АКБ в тех. приміщенні і то що, температура цього приміщення складе не менше 21С, приймаємо коефіцієнт  $\alpha$ , який враховує температуру навколишнього середовища в приміщенні. Загальна необхідна ємність акумуляторних батарей:

$$q_{\text{обш}} = q_{\gamma} \cdot \alpha = 3546,2 \cdot 1,14 = 4042,684 \cdot \text{ч}$$

Згідно з отриманою ємності, визначимо тип акумуляторної батареї, який буде використовуватися, в даному проекті запропоновано використовувати гелеві акумулятори.

Колектори необхідно орієнтувати у південному напрямку(припустиме відхилення без істотного зниження ефективності до 60 °). Однак можливий варіант монтажу двох груп колекторів: одна група на захід, інша на схід. Для досягнення максимальної ефективності в літній період, кут нахилу повинен складати 25...35°. Для сонячних колекторів які експлуатуються цілий рік (ефективність у літній період знижується, а в інші збільшується) кут нахилу повинен складати близько 40...60°. Під кутом 90° встановлюються колектора, робота яких розраховується в зимовий період, зокрема для систем опалення.

**Бак-теплообмінник-акумулятор.** Особливістю роботи систем сонячного опалення є необхідність акумуляування сонячної теплової енергії з метою її використання в різний час доби. Це можливо зробити за допомогою використання в системі бака-акумулятора. Дана необхідність зумовлена нестабільність сонячного випромінювання протягом доби, у той час як гаряча вода і опалення необхідні постійно, навіть у той час, коли воно взагалі відсутнє. Ефективність установки значно залежить від правильності вибору обсягу бака-акумулятора. Всі баки повинні встановлюватися в приміщеннях захищених від атмосферних впливів. З точки зору використання водонагрівачів в геліосистемах можна виділити кілька типів (рис. 4.11. – 4.13.):

Характеристика	Значення
Ємність	250
Напруга, В	12
Габарити (д/ш/в), мм	520/269/220
Термін служби	До 12 років
Циклічний ресурс (при 100%)	800 циклів

розряді)	
Циклічний ресурс (при 50% розряді)	1750 циклів

Таблиця 5 - Номінальні характеристики акумуляторних батарей

Вибираємо тип і кількість акумуляторних батарей, які будуть використовуватися в нашій енергосистемі. Для визначення паралельно з'єднаних батарей необхідно розділити загальну необхідну ємність батарей  $q$  на номінальну ємність обраної акумуляторної батареї, а отримане значення округлити до найближчого більшого цілого. Це буде кількість батарей, з'єднаних паралельно:

$$N_{\text{пар}}^{\text{АКБ}} = \frac{q_{\text{обш}}}{q_{\text{ном}}} = \frac{4042,68}{250} = 16,17 \approx 17 \text{ штук}$$

Розрахуємо кількість послідовно з'єднаних батарей, для цього необхідно розділити номінальну напругу постійного струму системи  $U_{\text{пст}}$  на номінальну напругу акумуляторної батареї:

$$N_{\text{пост}}^{\text{АКБ}} = \frac{U_{\text{пст}}}{U_{\text{ном}}} = \frac{48}{12} = 4$$

Загальна кількість акумуляторних батарей складе:

$$N^{\text{АКБ}} = N_{\text{пар}}^{\text{АКБ}} \cdot N_{\text{пост}}^{\text{АКБ}} = 17 \cdot 4 = 68 \text{ штук}$$

Габарити однієї батареї складе 0,08 м<sup>2</sup>, Згідно виробнику. Займана площа АКБ складе:

$$S_{\text{пл}} = S_{\text{бат}} \cdot n \cdot k = 0,08 \cdot 68 \cdot 1,2 = 6,52 \text{ м}^2$$

де,  $k$  - враховує 20% запасу місця під кабелі та інші предмети для підключення АКБ

## **Висновки:**

В результаті проведених досліджень отримані наступні результати:

1. Аналіз сучасних літературних джерел показав, що галузь сонячної енергетики переживає стрімке зростання, по всьому світу, активно досліджуються можливості збільшення ефективності сонячних батарей.

2. Визначено оптимальний кут нахилу сонячних батарей, які забезпечать автономне енергопостачання автозарядних станцій.

3. Електрозаправки, на даний момент, не так широко використовуються в Україні, в зв'язку з подорожчанням цін електроенергію, одержувану традиційним шляхом. Особливістю при проектуванні сонячних установок є прогнозування, як споживання енергії, так і надходження сонячної інсоляції в місці установки модулів. При цьому важливо враховувати, як профіль надходження, так і профіль споживання енергії.

4. Складено профіль навантаження споживача, а також виконано розрахунок необхідної кількості сонячних панелей і акумуляторів, для гарантованого безперебійного живлення зарядних пристроїв станції.

## Список використаної літератури:

1. Гребенюк А.М. Методичні вказівки до проектування з дисципліни «Сонячна енергетика».
2. Розрахунок системи автономного енергопостачання з використання фотоелектричних перетворювачів / О.М. Гребенюк // Матеріали /М-во освіти и науки України; Нац. гірн. ун-т. - Д., 2015.
3. Сонячні батареї. [Электронный ресурс].  
<https://www.civicsolar.com/product/ja-solar-jap72s01-330sc-325w-poly-slvwht1500v-solar-panel>
4. Сонячна енергія [Электронный ресурс]. Режим доступа:  
<http://www.rea.org.ua/dieret/Solar/solar.html>.