Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(назва факультету)
Кафедра електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломної роботи

магістр
(освітній ступінь (освітньо-кваліфікаційний рівень))

на тему: ***ТЕПЛОПРОДУКТИВНІСТЬ СИСТЕМИ СОНЯЧНОГО ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ***

Виконав: студент (ка) 6 курсу, група ЕМ$_м$-61
спеціальності (напряму підготовки) 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва спеціальності (напряму підготовки))

	(підпис)	**Грушицький О.В.** (прізвище та ініціали)
Керівник	(підпис)	**Белякова І.В.** (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	(підпис)	**Коваль В.П.** (прізвище та ініціали)
Рецензент	(підпис)	(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2019

Created by Universal Document Converter

РЕФЕРАТ

Дипломна робота магістра на тему: "Теплопродуктивність системи сонячного гарячого водопостачання" складається з 118 сторінок, 9 таблиць і 37 рисунків. Для написання записки було використано 58 літературних джерел.

Об'єкт дослідження: процеси теплопередачі у сонячному колекторі та проходження проміння через оптичну систему.

Предмет дослідження: конструкції, що зменшують теплові втрати та підвищують ефективність поглинання випромінювання у сонячних колекторах.

Метою роботи є підвищення теплопродуктивності системи сонячного гарячого водопостачання шляхом застосування вакуумованих склопакетів та концентруючи систем.

Запропонована методика визначення теплотехнічних характеристик сонячного колектора з вакуумованим склопакетом,яка ґрунтується на комплексному розв'язанні рівнянь теплопередачі і молекулярно-кінетичної теорії газів. Обґрунтовано параметри вакуумованих склопакетів, що забезпечують підвищення теплопродуктивності сонячних колекторів.

Ключові слова: СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ, КОЛЕКТОР, ТЕПЛОВІ ВТРАТИ

Created by Universal Document Converter

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД 16

1.1. Актуальність та перспективи сонячної теплоенергетики в Україні 16

1.2. Нагрівання води сонячним випромінюванням 20

1.3. Типи сонячних колекторів 22

1.4. Плоскі сонячні колектори 22

1.4.1. Рідинні сонячні колектори 22

1.4.2. Повітряні сонячні колектори 26

1.5. Сонячні колектори з вакуумною трубкою 29

1.6. Сонячні колектори з відбивачам 30

1.7. Типи прозорої ізоляції для сонячних колекторів.....34

1.7.1. Одинарне, подвійне скління.....34

1.7.2. Скло з селективними покриттями.....35

1.7.3. Прозора ізоляція з полімерних матеріалів 36

1.8. Вакуумні склопакети.....39

1.8.1. Конструкція вакуумних склопакетів 39

1.8.2. Вплив товщини скла на коефіцієнт теплопередачі ВСП.....40

1.8.3. Вплив селективного покриття на ефективність ВСП.....41

1.9. Висновки до розділу.....42

РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА.....44

2.1. Методика розрахунку сонячного колектора з вакуумованим склопакетом 44

2.1.1. Постановка завдання 44

Created by Universal Document Converter

2.1.2. Тепловий баланс сонячного колектора з вакуумованим склопакетом 45
2.1.3. Залежність коефіцієнта теплопровідності розрідженого газу від тиску в вакуумному зазорі вакуумованого склопакету 53
2.2. Розрахунок характеристик вакуумованих склопакетів, які забезпечують підвищення енергоефективності сонячних колекторів 58
2.3. Розрахунок сонячних колекторів з відбивачами 66
2.4. Графоаналітичний метод розрахунку оптичного ККД системи «концентратор-приймач» 68
2.5. Метод розрахунку коефіцієнта концентрації по балансу променистих потоків 74
2.6. Розрахунок енергетичних характеристик сонячного колектора з ω-подібними відбивачами 79
2.6.1. Геометричні параметри ω-подібного відбивача 79
2.6.2. Розрахунок оптичного ККД і коефіцієнта концентрації теплового модуля з ω-подібними відбивачами 80
2.7. Визначення ексергії сонячного колектора з ω-подібними відбивачами 82
2.8. Висновки до розділу 84
РОЗДІЛ 3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА. 86
3.1. Використання редактора формул у MS Word для виконання роботи магістра 86
3.2. Команди меню редактора формул 89
РОЗДІЛ 4. ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ 93
4.1. Обґрунтування використання сонячних колекторів 93
4.2. Техніко-економічне обґрунтування системи опалювання і нагріву води на базі геліоколектора 97
4.3. Висновки до розділу 99

Created by Universal Document Converter

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ 100
5.1. Основні вимоги безпеки до улаштування та експлуатації технологічного обладнання 100
5.2. Сигнально-попереджувальні пристрої і фарбування 102
5.3. Особливості проведення рятувальних та інших невідкладних робіт при ліквідації наслідків великих виробничих аварій і катастроф 103
РОЗДІЛ 6. ЕКОЛОГІЯ. 106
6.1. Класифікація забруднень довкілля 106
6.2. Матеріальні та енергетичні забруднення 108
6.3. Висновки до розділу 110
ВИСНОВКИ 111
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 113

Created by Universal Document Converter

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

$A_{фікс}$ площа фіксаторів на 1 м скла;

a коефіцієнт температуропровідності, м^2/ с;

$d_м$ діаметр молекули, м;

$d_{фікс}$ діаметр фіксатора, м;

g гравітаційна стала, g = 9,8 м/с^2;

H густина потоку сонячного випромінювання, Вт/м^2;

$h_{пр-с1}^{конв}$ коефіцієнт тепловіддачі конвекцією в зазорі між приймачем і першим склом вакуумованого склопакету відповідно, Вт/ м^2·К;

$h_{пр-с1}^{випр}$ коефіцієнти тепловіддачі випромінюванням в зазорі між приймачем і першим склом вакуумованого склопакету відповідно, Вт/ м^2·К;

$h_{заз}$ коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням від першого скла до другого, Вт/(м^2·К) ;

$h_{вак}$ умовна теплопровідність розрідженого газу в вакуумному зазорі;

$h_{с2-ос}^{конв}$ коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні другого скла до навколишнього середовища конвекцією, Вт/(м^2·К) ;

$h_{с2-ос}^{випр}$ коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні другого скла до навколишнього середовища випромінюванням, Вт/(м^2·К) ;

$h_{тепл.із-о}^{конв}$ коефіцієнт тепловіддачі від теплоізоляції в навколишнє середовище конвекцією, Вт/(м^2·К) ;

					ДРМ 308.18.00.00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Грушицький О.В.			ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ	Літ.	Аркуш 7 / Аркушів
Перевірив		Белякова І.В.					
Консульт.		Белякова І.В.				гр.ЕМм-61, ФПТ, ТНТУ	
Н. Контр.		Коваль В.П.					
Зав каф.		Тарасенко М.Г.					

Created by Universal Document Converter

$h_{тепл.із-о}^{випр}$	коефіцієнти тепловіддачі від теплоізоляції в навколишнє середовище випромінюванням, Вт/(м^2·К) ;
k	стала Больцмана, k = 1,38·10^{-23} Дж/К;
Nu	число Нуссельта;
p	тиск розрідженого газу (повітря), мм рт.ст., Па;
$q_{пр-с1}$	густина теплового потоку від приймача до першого скла, Вт/м^2;
$q_{с1}$, $q_{с2}$	густина теплових потоків через скло ВСП, Вт/м^2;
$q_{заз}$	густина теплового потоку через вакуумний зазор, Вт/м^2;
$q_{с2-ос}$	густина теплового потоку від другого скла в навколишнє середовище, Вт/м^2;
$q_{пр.із}$	густина теплового потоку через прозору ізоляцію (ВСП) , Вт/м^2;
$q_{прих}$	Густина сонячного випромінювання, що приходить на приймач, Вт/м^2;
$q_{тепл.із}$	густина теплового потоку через теплову ізоляцію, Вт/м^2;
$q_{втрат}$	густина теплових втрат сонячного коллектора, Вт/м^2·;
$R_{пр-с1}$	термічний опір повітряного зазору між приймачем і ВСП, м^2·К/Вт;
$R_{с1}$, $R_{с2}$	термічні опори стекол ВСП, м^2·К/Вт;
$R_{заз}$	термічного опір вакуумного зазору, м^2·К/Вт;
$R_{с2-ос}$	термічний опір тепловіддачі від ВСП у навколишнє середовище, м^2·К/Вт;
$R_{тепл.із-ос}$	термічний опір тепловіддачі від теплової ізоляції в навколишнє середовище, м^2·К/Вт;
R_t	загальний опір теплопередачі вакуумованого склопакету, м^2·К/Вт;
$s_{фікс}$	крок фіксаторів (відстань між фіксаторами), м;

Created by Universal Document Converter

$T_{пр,}$	температура приймача сонячного випромінювання, К;
$T_{ос}$	температура навколишнього середовища, К;
$T_{с1}, T_{с2}$	температура першого та другого скла вакуумного склопакету, К;
$T_{тепл.із}$	температура поверхні теплової ізоляції, К;
$t_{пр}$	температура приймача сонячного випромінювання ,°С;
$t_{ос}$	температура навколишнього середовища, °С;
$t_{с1}$, $t_{с2}$	температури стекол ВСП (першого і другого, вважаючи від приймача), °С;
v	швидкість вітру, м / с;
α_0	коефіцієнт акомодації; α_0 = 0,2 - 0,95;
$\alpha_{пр}$	коефіцієнт поглинання сонячного випромінювання приймача;
β'	коефіцієнт об'ємного розширення, для ідеального газу $\beta' = 1/T$, K^{-1};
γ	поправочний коефіцієнт, що представляє собою відношення молярних теплоємність газу при постійному тиску і об'ємі $\gamma = c_p / c_v$;
ΔT	різниця температур між приймачем і склом вакуумованого склопакету, К;
$\delta_{пов}$	величина зазору між приймачем та склом, м
$\delta_{заз}$	величина вакуумного зазору, м;
δ_c	товщина скла, м;
$\delta_{тепл.із}$	товщина теплової ізоляції, м;
$\varepsilon_{пр}$	коефіцієнт випромінювання пластини;
$\varepsilon_{с1}$	коефіцієнт випромінювання зовнішньої поверхні першого скла;
ε_1	коефіцієнти випромінювання внутрішньої поверхні першого скла вакуумованого склопакету;

Created by Universal Document Converter

ε_2 коефіцієнти випромінювання внутрішньої поверхні другого скла вакуумованого склопакету;

ε_{c2} випромінювальна здатність зовнішньої поверхні другого скла ВСП;

ε_0 ступінь чорноти небосхилу;

$\Lambda_{фікс}$ теплопровідність фіксаторів, Вт/(м^2·К) ;

$\lambda_{вак}$ умовний коефіцієнт теплопровідності розрідженого газу в вакуумному зазорі, Вт / (м·К) ;

$\lambda_{пов}$ коефіцієнт теплопровідності повітря, Вт / (м·К) ;

$\lambda_{фікс}$ коефіцієнт теплопровідності фіксаторів, Вт / (м·К) ;

λ_c коефіцієнт теплопровідності скла, Вт / (м·К) ;

$\lambda_{тепл.із}$ коефіцієнт теплопровідності теплової ізоляції, Вт / (м·К);

λ_0 довжина вільного пробігу молекули, м;

ν коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, м^2/с;

σ стала Стефана-Больцмана, σ =5,67·10^{-8} Вт/(м^2·К^4) ;

τ коефіцієнт пропускання прозорої ізоляції.

Created by Universal Document Converter

ВСТУП

Використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) актуально для всіх країн світу: для розвинених країн, що імпортують паливно-енергетичні ресурси, - це, в першу чергу, забезпечення енергетичної безпеки; для розвинених країн, що мають свої запаси палива, - покращення екологічної ситуації; для країн, що розвиваються - спосіб поліпшити соціально-побутові умови проживання населення.

За даними [1] запасів газу вистачить на 120 років, нафти - на 250, вугілля - на 1560, тому використання ВДЕ в усьому світі - це забезпечення світової енергетичної безпеки. Від стану енергетики залежить також розвиток промисловості і сільського господарства, тому використання ВДЕ допоможе вирішити також проблему сталого розвитку сільських територій. Таким чином, впровадження ВДЕ вплине на рішення трьох глобальних проблем: енергетики, екології та продовольства.

Зараз країни всього світу прагнуть розвивати використання відновлюваних джерел енергії, і багато з країн займаються цією проблемою на державному рівні з наступних причин [2]:

- зменшення залежності від імпорту органічного палива (в основному нафти і газу);
- забруднення навколишнього середовища;
- можливість інтеграції енергоустановок на основі відновлюваних видів енергії в існуючу енергетичну мережу;
- можливість застосування і розвитку наукоємних технологій;
- невичерпність ВДЕ;
- доступність поновлюваних ресурсів.

Created by Universal Document Converter

Найбільш поширеним і доступним поновлюваним джерелом енергії є сонячна енергія. Прихід сумарної сонячної енергії на поверхню Землі оцінюється в 10^{18} кВт·год/рік, що в 7000 разів перевищує річне споживання енергії всіх жителів планети [3].

Для теплопостачання і гарячого водопостачання житлових і сільськогосподарських об'єктів використовують сонячні колектори (СК). У сільському господарстві сонячні колектори застосовуються для опалення та гарячого водопостачання житлових і тваринницьких об'єктів; для сушіння фруктів, зерна, іншої продукції; теплової обробки грубих кормів.

Провідними країнами у використанні сонячних теплових установок (плоскі сонячні колектори і колектори з вакуумованою трубкою) є: Китай - 65,1 ГВт теплової потужності, Туреччина - 6,6 ГВт, Німеччина - 5,6 ГВт, Японія - 4,7 ГВт, Ізраїль - 3,4 ГВт. За ними слідують Греція - 2,3 ГВт, Бразилія - 2,2 ГВт, Австрія - 1,9 ГВт, США - 1,6 ГВт і Австралія - 1,1 ГВт [4].

До 2008 року у світі всього було встановлено 67,4 млн. м (47,2 ГВт теплової енергії) плоских сонячних колекторів з склінням [4, 5].

Вважається, що сонячна установка не окупається протягом 20 років в районах, що лежать на північ 45 ° пн.ш. Але навіть в країнах з холодним кліматом - Швеції, Фінляндії - реалізовані проекти сонячних систем теплопостачання із застосуванням теплових насосів і сезонних акумуляторів теплоти [6]. Тож в України також існує можливість використання сонячної енергії і в помірному кліматі.

За даними [7] ціна за кВт·год теплової енергії, отриманої за рахунок використання сонячних колекторів, знизиться з 25 центів до 2 - 10 центів до 2020 року. Враховуючи безперервне і значне зростання цін на електроенергію, можна говорити про необхідність впровадження ВДЕ, в тому числі для виробництва теплової енергії.

Зниження вартості теплової енергії, що виробляється сонячними колекторами, може бути досягнуто за рахунок зменшення капітальних

Created by Universal Document Converter

витрат на сонячну установку і застосування більш ефективних конструкційних матеріалів, а також підвищення ефективності роботи сонячних колекторів і зменшення теплових втрат сонячного колектора.

Актуальність роботи.

Найбільші теплові втрати, від яких значно залежить продуктивність сонячного колектора, відбуваються за рахунок теплового випромінювання і конвекції через прозору ізоляцію. Ці втрати можуть становити до 90 % всіх теплових втрат сонячного колектора, тому вибір прозорої ізоляції з високим опором теплопередачі - важлива стадія конструювання сонячного колектора.

Дослідженням сонячних колекторів, в т.ч. їх прозорої ізоляції, займалися Авезов Р. Р., Бекман У.А., Бутузов В.А., Даффі Дж.А., Зоколей С., Казанджан Б.І., Попель О.С., Тарніжевський Б.В. , Твайделл Дж., Трушевський С.Н., Уейр А. та ін.

Як правило, в сонячних колекторах в якості прозорої ізоляції застосовується одинарне скління, яке має коефіцієнт опору теплопередачі 0,13 м·К/Вт при середній температурі приймача 100 °С, температурі навколишнього середовища -20 °С і коефіцієнті тепловіддачі в 20 Вт / (м·К) [8]. Подвійне скління має опір теплопередачі 0,24 м·К/Вт, подвійне скління з селективним покриттям - 0,36 м·К/Вт при тих же параметрах, але використання подвійного скління ускладнює конструкцію сонячного колектора через збільшення товщини повітряних зазорів між листами скла, а також збільшує вагу конструкції.

Вакуумовані склопакети (ВСП) з коефіцієнтом опору теплопередачі, переважаючим одинарне і подвійне скління за рахунок вакуумного зазору, в якому теплопровідність розрідженого газу і конвекція незначні, можуть застосовуватися в якості прозорої теплоізоляції сонячних колекторів.

Об'єкт дослідження: процеси теплопередачі у сонячному колекторі та проходження проміння через оптичну систему.

Created by Universal Document Converter

Предмет дослідження: конструкції, що зменшують теплові втрати та підвищують ефективність поглинання випромінювання у сонячних колекторах.

Метою роботи є підвищення теплопродуктивності системи сонячного гарячого водопостачання шляхом застосування вакуумованих склопакетів та концентруючи систем.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Проведено розрахунок теплового балансу сонячного колектора з прозорою ізоляцією з вакуумованого склопакету і теплової ізоляцією з пінопласту в стаціонарному режимі.

2. Запропонована методика визначення теплотехнічних характеристик сонячного колектора з вакуумованим склопакетом,яка ґрунтується на комплексному розв'язанні рівнянь теплопередачі і молекулярно-кінетичної теорії газів. Дана методика включає розрахунково-експериментальний метод визначення тиску розрідженого газу в вакуумному зазорі за його коефіцієнтом теплопровідності.

Практичне значення отриманих результатів:

1. Встановлено, що при наявності селективних покриттів внесок вакуумного зазору в загальний опір теплопередачі прозорої конструкції становить ≈ 20 % при вакуумі 10^{-1} мм рт. ст., ≈ 60 % при вакуумі 10^{-2} мм рт. ст. і до 77 % при більш високому вакуумі 10^{-3} - 10^{-5} мм рт. ст.

2. Обґрунтовано параметри вакуумованих склопакетів, що забезпечують підвищення теплопродуктивності сонячних колекторів.

Апробація результатів роботи. Окремі результати роботи доповідались на Міжнародній студентській науково-технічній конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання", 25-26 квітня 2019 року. ТНТУ, 2019 р.

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка

Created by Universal Document Converter

складається з вступу, 6 частин, висновків та переліку посилань. Об'єм роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 118 арк. формату А4, графічна частина – 19 аркушів презентації.

Created by Universal Document Converter

РОЗДІЛ 1.
ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1. Актуальність та перспективи сонячної теплоенергетики в Україні

Останнім часом у всьому світі спостерігається тенденція до зростання енергоспоживання, що обумовлене стрімкими темпами розвитку світової економіки, зростанням народонаселення, а так само еволюцією способу життя людей.

Виснаження доступних запасів викопного палива, уразливість джерел, шляхів їх доставки для атак з боку світового тероризму, зростаюча монополізація галузі і постійно зростаючі ціни на енергоносії створили загрозу енергетичній безпеці в глобальному масштабі.

Тому «енергетична безпека» розглядається промислово розвиненими країнами світу, як елемент національної безпеки і безумовне зобов'язання держави забезпечити економічне зростання незалежно від наявності енергетичних ресурсів і цін на них.

На цьому фоні необхідно здійснити перехід до стійкого розвитку енергетики з метою забезпечення глобальної енергетичної безпеки на основі енергозбереження і ефективного використання нових і поновлюваних джерел палива і енергії.

Галузі енергетики можна охарактеризувати по видах використання енергоносіїв: ядерна, вугільна, газова, мазутна, гідро, вітро, геотермальна, біомасова, хвилева і приливна, градієнт - температурна, сонячна.

Сонячна енергетика, як довгострокова перспектива, має одне з первинних значень. Крім того сонячна енергетика має собі мало рівних по екологічності і ресурсній базі. Ресурси сонячної енергії величезні і доступні

Created by Universal Document Converter

кожній країні. Повна кількість сонячної енергії, що поступає на поверхню Землі лише за тиждень перевищує енергію всіх світових запасів нафти, газу, вугілля і урану. По термінології, прийнятій в ООН, всі види енергії, в основі яких лежить сонячна енергія, називаються поновлюваними джерелами енергії.

Світовий досвід впровадження сонячних колекторів показує, що сонячні системи теплопостачання можуть бути ефективними і надійними для забезпечення гарячого водопостачання і опалювання житлових і суспільних будівель, підігрівання води в басейнах і навіть сонячного кондиціонування і опріснення води.

Залежно від необхідного об'єму гарячої води і місцевого клімату підприємство може заощадити 40 – 80 % вартостей електрики, і інших енергоносіїв. Наприклад, щоденна потреба в гарячій воді в 24-поверховій офісній будівлі «Кук Джей» в Сеулі, (Південна Корея), забезпечується більш ніж на 85 % за рахунок сонячної водонагрівальної системи. Система працює з 1984 року. Вона виявилася настільки ефективною, що перекрила планові показники і забезпечує, крім того від 10 до 20 % річної потреби в опалюванні.

Навіть у регіонах з відносно невеликою кількістю сонячної радіації, наприклад в Північній Європі, сонячна система може забезпечити 50-70 % потреб в гарячій воді. У Південній Європі сонячний колектор може забезпечити 70-90 % споживаної гарячої води.

Нагріваючи воду за допомогою енергії Сонця - дуже практичний і економний спосіб. В той час, як фотоелектричні системи досягають ефективності 10-15 %, теплові сонячні системи показують ККД 50-90 %. Проте при забезпеченні водою домашнього господарства, коли температура води на 400 ^{o}C вища за температуру повітря, ККД колекторів складає зазвичай до 20 %.

Created by Universal Document Converter

Після енергетичної кризи 1973 р., урядами країн і підприємцями були прийняті екстрені міри щодо пошуку нових видів енергетичних ресурсів. Таким джерелом в першу чергу стала сонячна енергія. В 1986р. Радянським Союзом в Криму поблизу м. Щелкіно побудована перша в світі сонячна електростанція потужністю 5 тис. кВт. До 1994 року вони виробила близько 2 млн. кВт·год електроенергії [9]. Даний експеримент показав реальність можливості перетворення сонячної енергії в електричну, але вартість виробленої електроенергії виявилася занадто високою, що в умовах ринкової економіки являється мало перспективним. Оскільки вартість сонячних електростанцій все ще залишається занадто високою (3-5 доларів за 1 Вт встановленої потужності) порівняно з їх ККД (18-25 %), можна зробити висновок, що насьогодні енергію Сонця найвигідніше безпосередньо акумулювати і використовувати у вигляді тепла [10].

Теплові технології, на яких „працює" енергія Сонця, розроблені майже для всіх сфер промисловості – теплопостачання (включаючи гаряче водопостачання й опалення), кондиціонування повітря, отримання прісної води, сушка матеріалів і виробів тощо. Для реалізації цих технологій налагоджено серійне виробництво широкої гами необхідних пристроїв та обладнання. Обсяги впровадження таких систем вираховуються в квадратних метрах сонячних колекторів. Загальна кількість змонтованих у світі сонячних колекторів в 2000 р. перевищила 60,0 млн. $м^2$, а в 2010 р. Прогнозується їх зростання до 330,0 млн.$м^2$ [11]. ККД сонячних колекторів досягає сьогодні 40-55 % [10].

Досвід експлуатації геліосистем в Швейцарії свідчить, що Сонце вже здатне забезпечити енергопотреби, щонайменше, всіх житлових будинків в країні. На Кіпрі, в Ізраїлі, Японії і Йорданії 25-65 % потреб у гарячій воді забезпечують геліотермічні установки [11]. У 2002 році загальна площа сонячних нагрівачів води в Китаї досягла 15 млн. $м^2$ [12].

Created by Universal Document Converter

Якщо говорити про нашу країну, то в Україні на опалювання і гаряче водопостачання будівель житлового призначення (на 1999р.) витрачалося більше 40% всієї теплової енергії, в тому числі:

- природного газу – 9,2 млрд. $м^3$ (451435 ТДж),
- твердого палива – 484661 ТДж,
- рідкого палива – 24831 ТДж [13].

При ефективному використанні сонячного випромінювання можна забезпечити потреби споживачів в опаленні і гарячому водопостачанні – до 50 % [14].

Провівши відповідні розрахунки, можна зазначити, що при розумному впровадженні лише геліосистем теплопостачання можна реально зекономити до 20 % всієї теплової енергії, що виробляється в Україні, в тому числі природного газу – 4,6 млрд. $м^3$ (225717 ТДж), твердого палива – 242330 ТДж, рідкого палива – 12415 ТДж. Так як природний газ і рідке паливо наша країна здебільшого імпортує, ми можемо бачити реальну економію коштів держбюджету; до того ж, зменшення обсягів спалювання вугілля, газу та рідкого палива означає зменшення викидів в атмосферне повітря, забруднення інших компонентів навколишнього середовища.

Середньорічна кількість сонячного випромінювання, що потрапляє на 1 $м^2$ поверхні, на території України коливається від 1070 кВт·год/$м^2$ в північній частині до 1400 кВт·год/$м^2$ і вище – в АР Крим [15]. В степовій Україні колектори можуть ефективно працювати 8 місяців – з середини березня до середини листопада, а на Чорноморському узбережжі – не менше 10 місяців [10]. Сьогодні 6 підприємств в різних регіонах країни освоїли випуск сонячних колекторів 5 різноманітних конструкцій і ще 2 типи готуються до постановки на виробництво. Швидкими темпами впроваджуються системи сонячного теплохолодопостачання в Одеській області, в Криму. В таблиці 1.1 наведено основні показники розвитку теплової геліоенергетики України з розподілом за періодами.

Created by Universal Document Converter

Таблиця 1. 1

Основні показники розвитку теплової геліоенергетики в Україні [16]

Показники	Одиниця вимірювання	Станом на 2001 р.	Прогноз на період впровадження			
			2001-2010 рр.	2011-2020 рр.	2021-2030 рр.	Всього за 2001-2030 рр.
Площа сонячних колекторів						
Гаряче водопостачання	тис. $м^2$	15,9	744,9	3802,1	8248,1	12811
Опалення і теплопостачання	тис. $м^2$	2,9	134,4	685,5	1487,3	2310,3
Виробництво теплової енергії						
Гаряче водопостачання	млн. кВт·год	10,3	484,1	2471,2	5361,3	8326,9
Опалення і теплопостачання	млн. кВт·год	1	48	243,6	535,2	827,8
Обсяги заміщення палива						
Гаряче водопостачання	тис. т.у.п.	1,6	80	531,1	1022,6	1635,3
Опалення і теплопостачання	тис. т.у.п.	0,2	9,7	51,4	111,6	172,9

1.2. Нагрівання води сонячним випромінюванням

Сьогодні в усьому світі активно розвивається виробництво сонячних водонагрівачів (сонячних колекторів). Річне виробництво їх перевищує 1,7 млн. $м^2$ Країни - лідери: Японія - 7 млн. $м^2$, США - 4 млн. $м^2$, Ізраїль - 2,8 млн. $м^2$. Використання сонячних водонагрівачів дає значну економію енергії, наприклад, в Австралії на нагрівання рідин до температур менших ніж 100 °С, витрачають приблизно 20 % спожитої енергії.

На рис. 1.1 показані накопичувачі сонячного випромінювання з метою використання їх для нагрівання рідин (води).

Created by Universal Document Converter

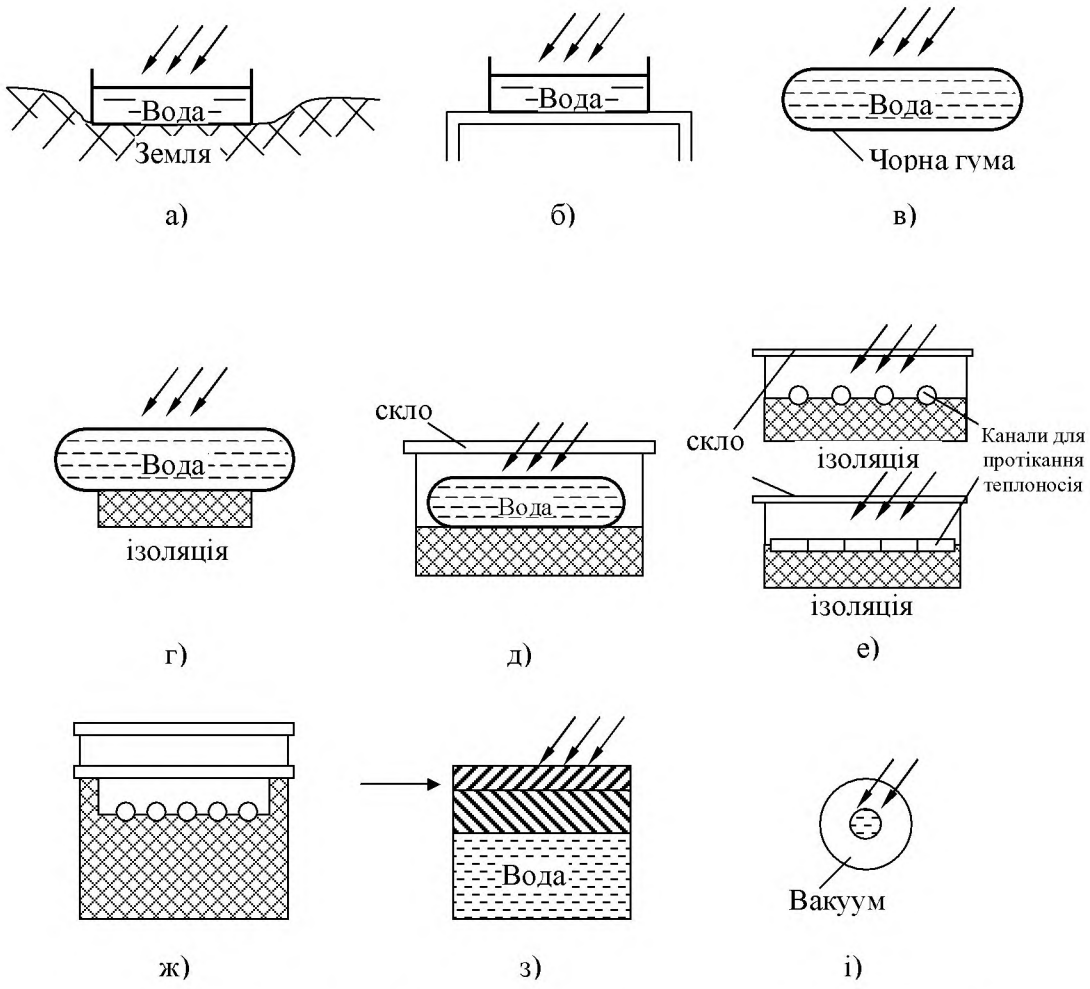


Рис. 1.1. Накопичувачі (акумулятори) сонячного випромінювання для нагрівання води (а, б, в, г - відкриті водонагрівачі; д, є, ж, з - закриті; і - вакуумовані нагрівні)

Для нагрівання рідин до 100 °С використовуються показані на рисунку плоскі накопичувачі, які безпосередньо поглинають падаючий потік променевої енергії. На відміну від них фокусуючі нагромаджувачі мають концентратори сонячної енергії; що дає можливість отримати температури вище 100°С.

Нагромаджувачі (рис. 1.1, а - д) вміщують весь об'єм рідини, яку нагрівають. Більш складні нагромаджувачі (рис. 1.1, є - і) нагрівають меншу кількість рідини, яка пізніше акумулюється в резервуарі, що зменшує теплові втрати.

Created by Universal Document Converter

1.3. Типи сонячних колекторів

Сонячний колектор (СК) є основним конструктивним елементом сонячної установки, в якому електромагнітна енергія сонячного випромінювання (СІ) перетворюється в теплову енергію. Сонячні колектори діляться на плоскі і фокусуючі. Останні включають відбивачі, що фокусують сонячне випромінювання на приймач. Класифікація сонячних колекторів представлена на рис. 1.2.

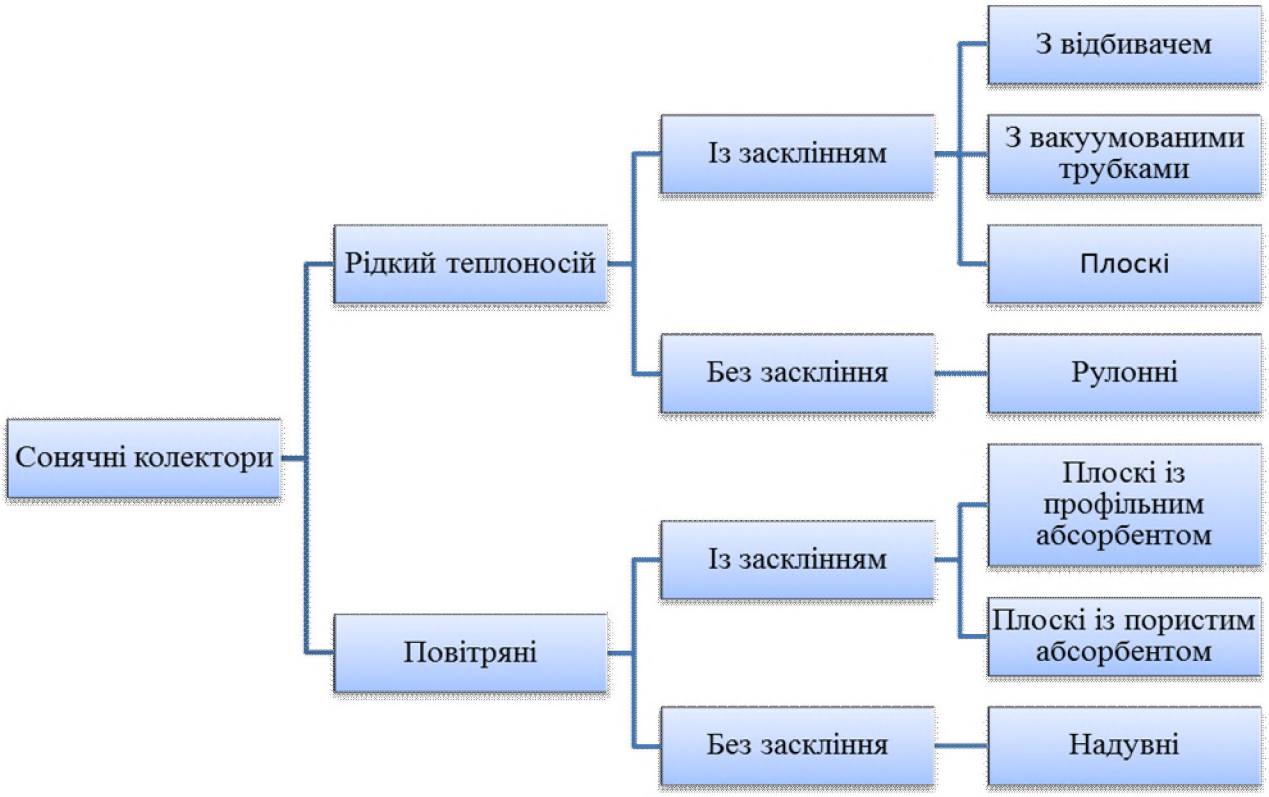


Рис. 1.2. Класифікація сонячних колекторів

1.4. Плоскі сонячні колектори

1.4.1. Рідинні сонячні колектори

Плоский СК складається з корпусу, теплоізольованого з тильної і бічних сторін, усередині якого поміщений приймач (пластина) 1,

Created by Universal Document Converter

поглинаючий сонячне випромінювання (рис. 1.3). До приймача приварені паралельні трубки 2 (рис. 1.4), розташовані уздовж СК і обмежені подаючим (внизу СК) і збірним (угорі СК) гідравлічними колекторами 3. Приймач сонячного випромінювання нагрівається і передає енергію теплоносію.

За даними [17] оптимальна товщина повітряного прошарку між тепловим приймачем і світлопрозорим покриттям складає близько 12 мм.

Плоский СК поглинає пряму і розсіяну (дифузну) сонячну радіацію. Приймач СК виготовляється з металу з високою теплопровідністю - з міді, алюмінію або сталі.

На приймач сонячного випромінювання наноситься селективне покриття. Так як сонячне випромінювання зосереджено в основному в діапазоні довжин хвиль 0,28... 3 мкм, а максимум теплового випромінювання теплового приймача припадає на 10 мкм (весь діапазон - 3 ... 100 мкм), то ідеальна селективна поверхню приймача СІ повинна володіти високим значенням α в ближчій ультрафіолетовій (0,3 ... 0,38 мкм), видимій (0,38 ... 0,78 мкм) і ближній інфрачервоній (0,78 ... 3 мкм) областях випромінювання і низьким коефіцієнтом випромінювання в інфрачервоній області з довжинами хвиль більше 3 мкм. Спектральні характеристики ідеальної селективної поверхні для приймача сонячного колектора представлені на рис. 1.5.

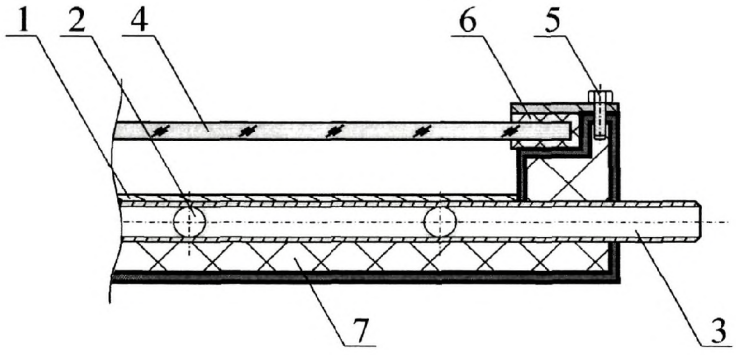


Рис. 1.3. Поперечний розріз плоского сонячного колектора:

1 - приймач, 2 - внутрішні канали (трубки), 3 - гідравлічний колектор, 4 - прозора ізоляція (скло), 5 - кріплення, 6 - ущільнювач, 7 - теплоізоляція

Created by Universal Document Converter

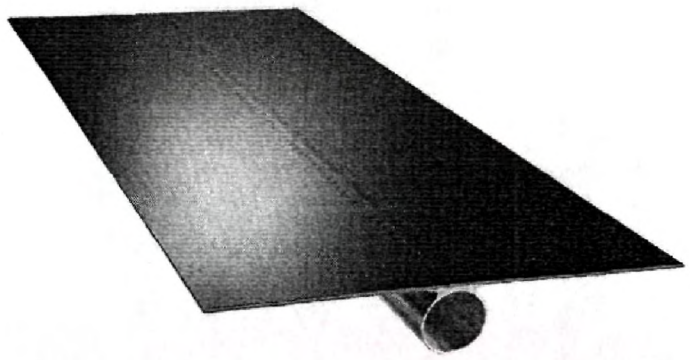


Рис. 1.4. Приймач сонячного випромінювання:

трубка, приварена до поглинаючої пластини СК

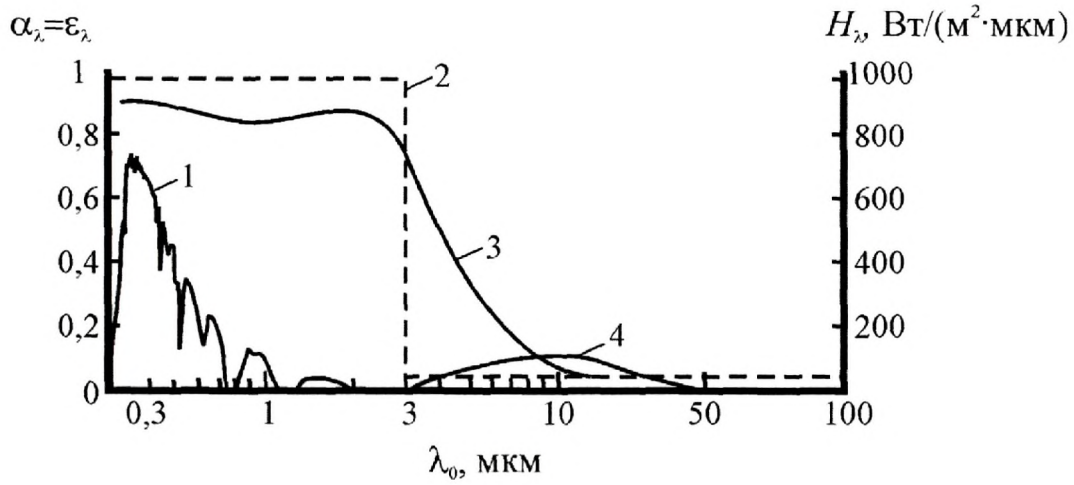


Рис. 1.5. Спектральні характеристики:

1 - спектр випромінювання Сонця при атмосферній масі 2; 2 - поглинальна (випромінювальна) здатність ідеальної селективної поверхні; 3 - поглинальна (випромінювальна) здатність Cu_2O; 4 - спектр випромінювання абсолютно чорного тіла при температурі 100° С

Зверху корпус СК закритий світлопрозорої ізоляцією 4 (див. рис. 1.3), виготовляється, як правило, з загартованого скла з низьким вмістом оксиду заліза. Для герметичності між склом і кріпленням 5 поміщений ущільнювач 6. Знизу і з боків СК теплоізольований матеріалом 7 з низькою теплопровідністю, таким як пінопласт, мінеральна вата, скляна вата, пінополіуретан та ін. Загальний вигляд плоского рідинного сонячного колектора представлений на рис. 1.6.

Created by Universal Document Converter

Найбільшого поширення набули двошарові селективні покриття. На поверхню, якої потрібно додати селективні властивості, наноситься шар з високим коефіцієнтом відбиття в довгохвильовій області спектра, наприклад, мідь, нікель, срібло або алюміній. Поверх цього шару наноситься шар, що має високі коефіцієнт поглинання у видимій та ближній інфрачервоній області спектра. Приклад отримання двошарової селективної поверхні - окислювання поверхні металу. Можливий і зворотний варіант. Шар, що відбиває довгохвильове випромінювання, розташовується зверху, а шар, що поглинає видиму і ближню інфрачервону області спектра, знизу. Верхній шар для видимої частини спектру повинен бути прозорий .

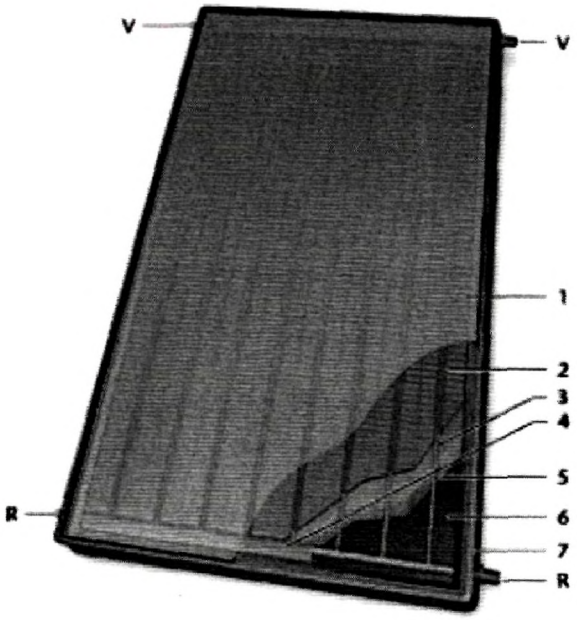


Рис. 1.6. Рідинний сонячний колектор:

1 - прозора ізоляція, 2 - приймач сонячного випромінювання, 3 - внутрішні канали, 4 - гідравлічні конектори (внизу - подаючий, вгорі - збірний), 5 - теплоізоляція, 6 - корпус сонячного колектора, 7 - герметичний ущільнювач, R - Холодний теплоносій, V - нагрітий теплоносій

Відношення a/ε називається селективністю; чим більше селективність, тим ефективніше селективне покриття для приймача СВ. У табл. 1.2 представлені характеристики деяких селективних покриттів, що наносяться на приймачі сонячного випромінювання [18].

Created by Universal Document Converter

Ідеальне світлопрозоре покриття сонячного колектора повинно мати максимальну пропускну здатність в діапазоні довжин хвиль від 0,28 до 3,0 мкм і грати роль екрану для теплового випромінювання в інфрачервоній області з довжинами хвиль більше 3 мкм.

Таблиця 1.2.

Характеристики селективних покриттів

Матеріал покриття / підкладка	Коефіцієнт поглинання *a* (температура, ° С)	Коефіцієнт випромінювання ε (температура, ° С)
Ge + SiO_n / Cr	0,90 (100)	0,11 (100)
Si + SiO_n / Ag	0,80 (100)	0,05 (100)
Cr + CrO_x / SiO_2	0,92 (120)	0,08 (120)
Al_2O_3 + Cu	0,90 (100)	0,05 (100)
Al_2O_3 + Cr	0,90 (100)	0,10 (100)
CuO_x / Cu (чорна мідь)	0,91 (100)	0,16 (100)

1.4.2. Повітряні сонячні колектори

Деякі типи повітряних сонячних колекторів представлені на рис. 1.7 [19]. В колекторі (а) є тільки одне скляне покриття, повітря рухається тільки в одному напрямку, омиваючи абсорбер. Недолік даної конструкції в тому, що гаряче повітря контактує з прозорою ізоляцією, наслідком чого є великі теплові втрати.

Переваги конструкції сонячних колекторів (рис. 1.7 б, в) в тому, що повітря, що поступає в канал, нагрівається від абсорбера і не контактує з зовнішнім склінням, а із зовнішнім склінням контактує вже охолоджене в теплообміннику повітря, що протікає у верхньому каналі.

Сонячні колектори зазвичай встановлюють нерухомо на плоскому або похилому даху з оптимальною орієнтацією для конкретного місця розташування і пори року, протягом якого повинна працювати сонячна установка, або вертикально на стіні. Ефективним конструктивним рішенням

Created by Universal Document Converter

використання повітряного сонячного колектора для обігріву приміщення є інтегрування його в стіну будівлі.

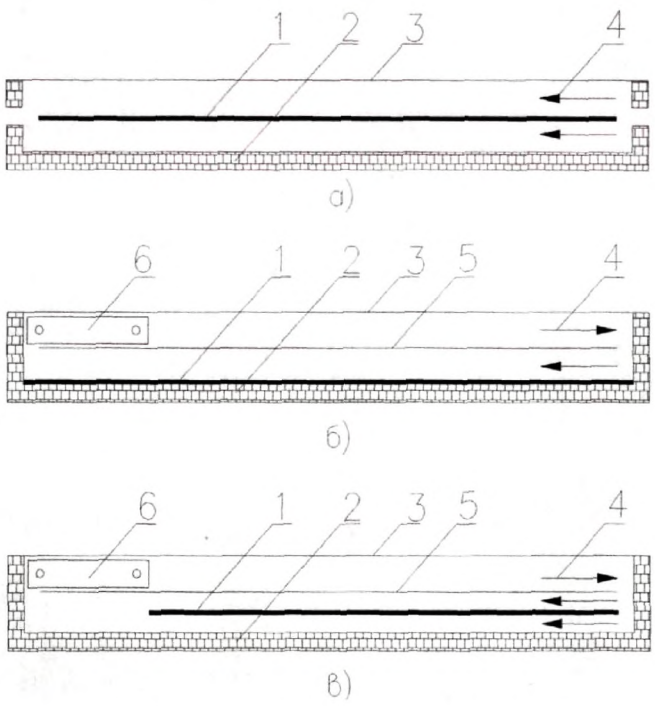


Рис. 1.7. Плоскі сонячні повітряні колектори:

1 - абсорбер, 2 - ізоляція, 3 - прозора ізоляція, 4 - рух потоку повітря,

5 - середня прозора ізоляція, 6 - теплообмінник

У 1995 р. спільно французькими та німецькими вченими були проведені дослідження по обігріву приміщення за допомогою вбудованого в стіну сонячного повітряного колектора, так званої «Thermowall» (рис. 1.8), тобто «Термості» [19]. Дослідження проводилися в Швейцарії, результати були наступними: коефіцієнт тепловтрат склав 4,9 Вт / ($м^2$·К), а ККД 64 %. В дослідженнях застосовувалася модель повітряного колектора, зображена на рис. 1.7 б.

Застосовувати вбудовані в стіну будівлі сонячні повітряні колектори для опалення приміщень стали ще в середині XX століття. Наприклад, в 1956 році в м. Рікмансуорт (поблизу м. Лондона, 52 ° пн.ш.) був побудований будинок, південна стіна якого (28 $м^2$) була повністю зроблена з склопакетів плексиглас і являла собою сонячний колектор.

Created by Universal Document Converter

В [20] описані найбільш розповсюджені конструкції повітряних сонячних колекторів, що інтегруються в будівлі. Дані конструкції представлені на рис. 1.9.

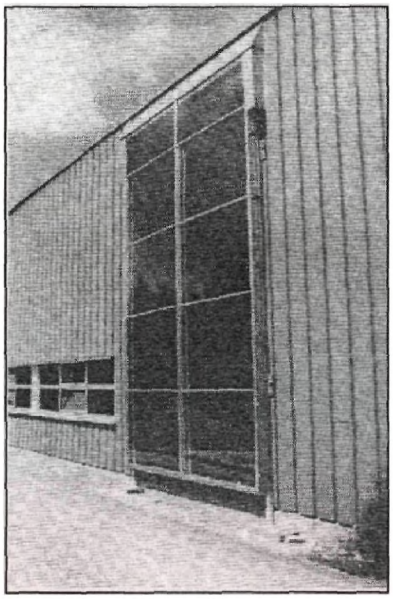


Рис. 1.8. «Thermowall»: вбудований в стіну сонячний колектор

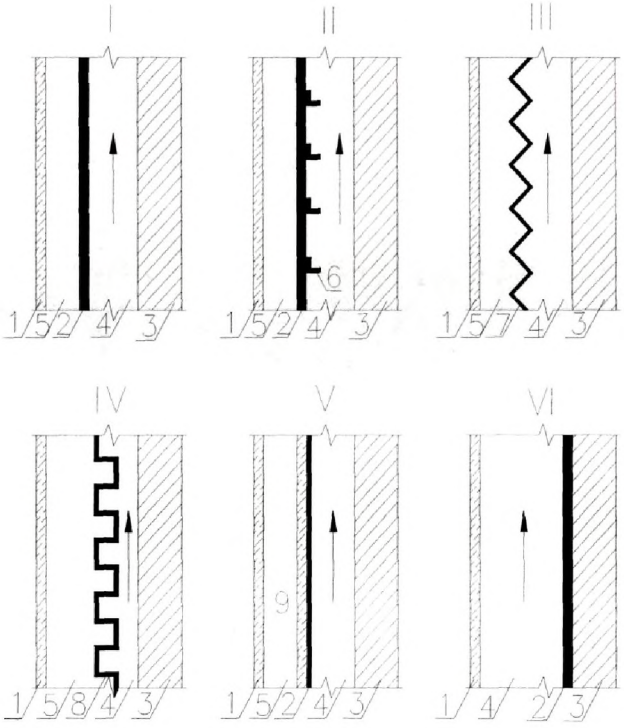


Рис. 1.9. Конструкції повітряних геліоколекторів, що вбудовуються в стіну будівлі

1 - прозора теплоізоляція; 2 - теплопоглинаюча пластина; 3 - теплоізоляція; 4 тепловий канал; 5 - замкнуте повітряний простір; 6 - турбулізатори; 7 - гофрована пластина; 8 - профільний елемент; 9 – склопакет

Created by Universal Document Converter

1.5. Сонячні колектори з вакуумною трубкою

Сонячні колектори з вакуумною трубкою (рис. 1.10) забезпечують більш високу температуру теплоносія, ніж плоскі рідинні колектори. Вони складаються з декількох скляних трубок 1, в яких розташовані мідні трубки 2 з привареною пластиною-абсорбером 3, на яку нанесено селективне покриття 4 (рис. 1.11). Усередині мідної трубки рухається теплоносій 5. Простір всередині скляної трубки «заповнений» вакуумом - так усуваються тепловтрати за рахунок теплопровідності і конвекції повітря.



Рис. 1.10. Сонячний колектор з вакуумною трубку

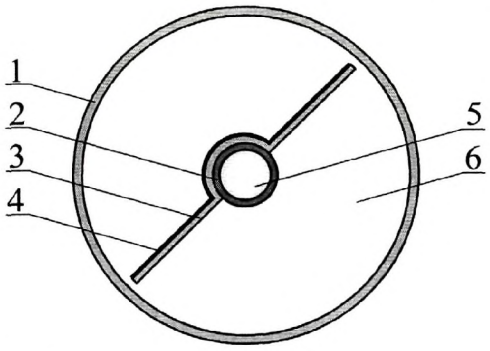


Рис. 1.11. Схема вакуумної трубки:

1 - скляна трубка, 2 - мідна трубка, 3 - пластина-абсорбер, 4 - селективне покриття, 5 - теплоносій, 6 - вакуум

Created by Universal Document Converter

Найбільш поширений варіант СК з вакуумною трубкою працює за принципом термосифонів: трубки з'єднані безпосередньо з баком-акумулятором, і теплоносій, нагріваючись, піднімається в бак-акумулятор (рис. 1.12).



Рис. 1.12. Сонячний колектор із вакуумними трубками та вбудованим баком-акумулятором

Недоліками сонячних колекторів з вакуумною трубкою є висока вартість і складність в експлуатації: вакуумні трубки можуть руйнуватися. Дослідження, проведені в Об'єднаному інституті високих температур, показали, що для нагріву води в цілях гарячого водопостачання, де потрібні температури теплоносія 55 - 60 ° С, плоскі СК мають перевагу перед СК з вакуумною трубку [20].

1.6. Сонячні колектори з відбивачами

Концентратори на основі дзеркальних відбивачів - це оптичні пристрої, що підвищують густину потоку сонячного випромінювання. В сонячних колекторах їх можна застосовувати для того, щоб збирати випромінювання з більшої площі, ніж приймач, і отримувати на приймачі концентроване

Created by Universal Document Converter

випромінювання. Таким чином, можна в кілька разів скоротити площу приймача в порівнянні з плоским колектором, і досягти більш високих температур теплоносія.

Сонячний колектор з дзеркальними відбивачами складається з одного або декількох відбивачів, які фокусують сонячне випромінювання на приймач, таким чином, на приймач надходить як сумарна сонячна радіація, так і відбита від концентратора.

На рис. 1.13 представлений сонячний колектор з відбивачем, основою для якого послужили параболоциліндричні концентратори, описані в [21]. Твірна лінія BC3B' концентратора є оптимальної для приймача з меншим діаметром (заштрихований), а лінія BC2B'- оптимальною для приймача з великим діаметром [21].

На основі даного концентратора сконструйовані кілька типів СК з трубчастим (рис. 1.14, а) і ребристим (рис. 1.14, б) приймачем. Форма відбивачів оптимізована в залежності від розміру діаметра трубки. У першому варіанті СК (а) оптимальної лінією є BC_2B' (рис. 1.13), у другому - лінія BC_3B' (рис. 1.13). У другому варіанті труба має менший діаметр і покрита зігнутої мідною пластиною. В залежності від розташування Сонця промені падають на якусь частину пластини, нагрівають її, і далі тепло передається за рахунок теплопровідності теплоносія в трубці.

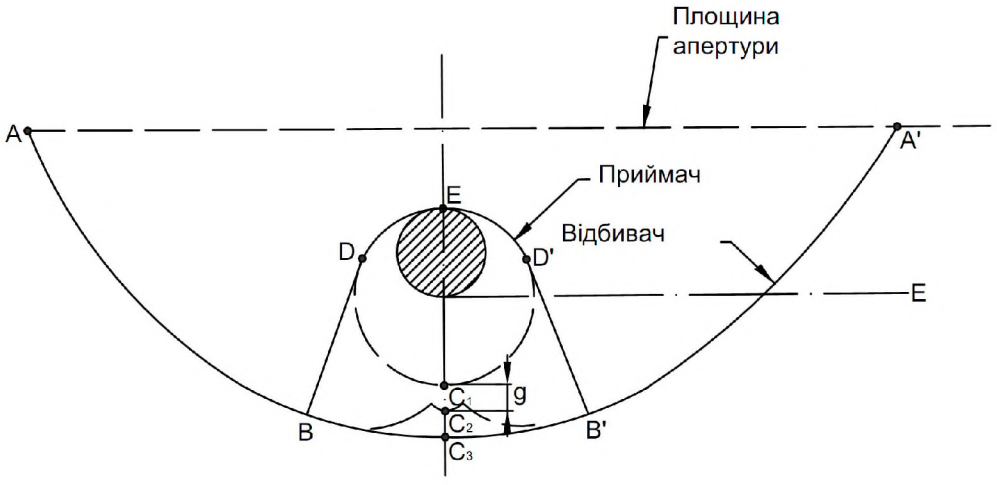


Рис. 1.13. Сонячний колектор з відбивачами і циліндричним приймачем

Created by Universal Document Converter

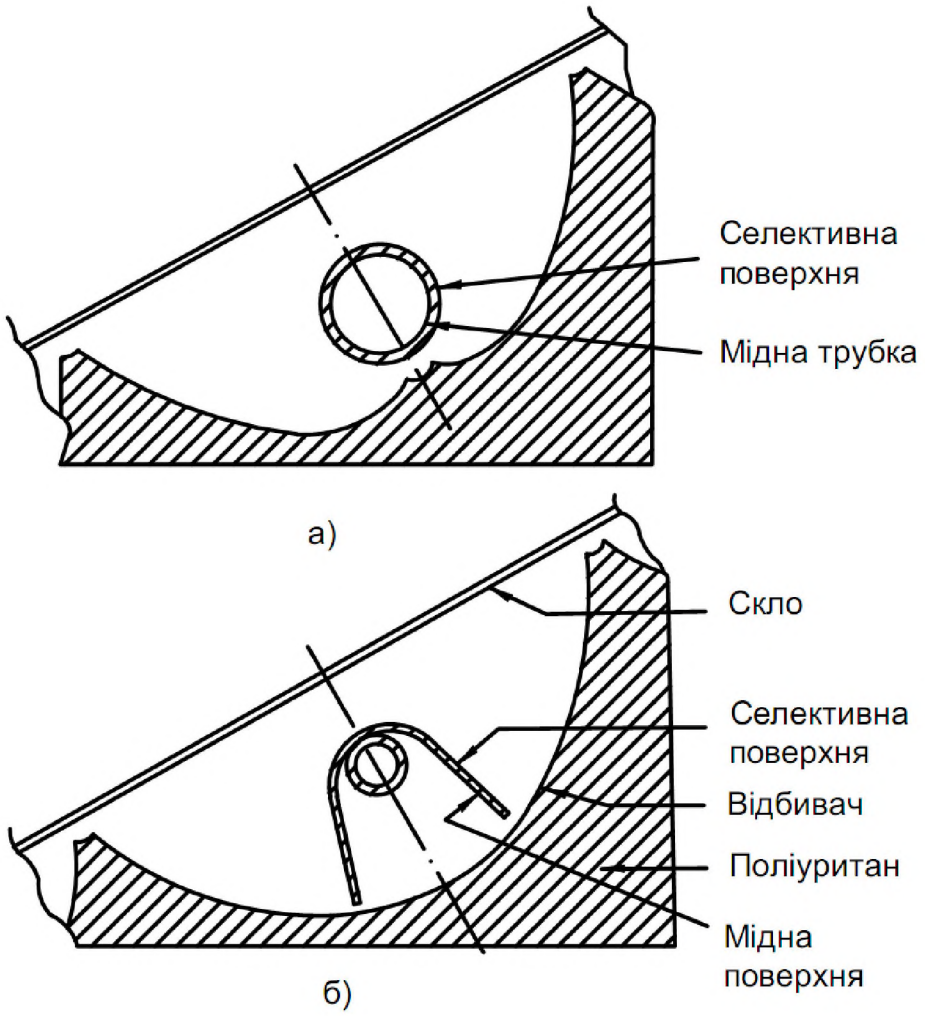


Рис. 1.14. Конструкції СК з відбивачем і циліндричним приймачем

У Фраунгофському інституті сонячних систем (м. Фрайбург, Німеччина) був розроблений сонячний колектор з напівциліндричними відбивачами і приймачем з прозорою ізоляцією з полікарбонату з проясненим покриттям [22]. Зверху СК закритий склом з низьким вмістом заліза і покриттям (рис. 15). Оптичний ККД такого СК оцінюється рівним 64 %.

В [23] описаний сонячний колектор з відбивачами і приймачем у вигляді вакуумної трубки (рис. 1.16), прототипом якого був відбивач для трубчастих приймачів, запропонований авторами [24,25]. Відбивачі являють собою симетричні або асиметричні гілки. Авторами були досліджені кілька варіантів кривих відбивачів: симетричних з апертурними кутами 13°,

Created by Universal Document Converter

симетричних з апертурними кутами 26,5° і асиметричних з апертурними кутами 7 ° і 46 °. Автори прийшли до висновку, що найбільш оптимальним за вироблюваної потужності є варіант, з асиметричними відбивачами (рис. 17).

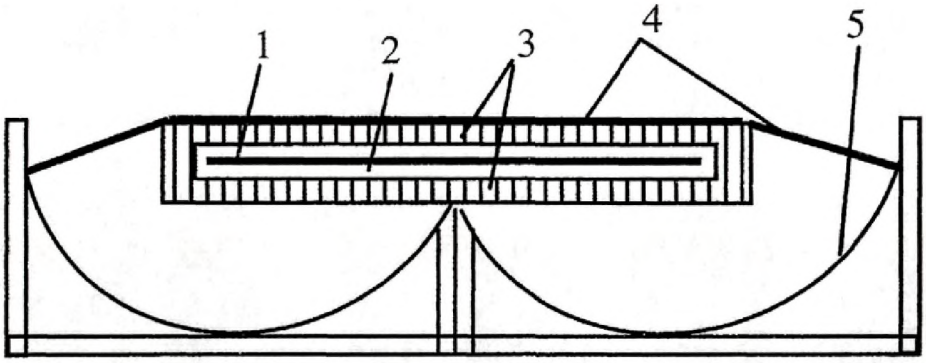


Рис. 1.15. Сонячний колектор з відбивачами і прозорою ізоляцією з полікарбонату стільникової структури навколо приймача:

1 - приймач, 2 - повітряний зазор 24 мм, 3 - прозора ізоляція із стільникового полікарбонату товщиною 50 мм, 4 - скло товщиною 4 мм, 5 - напівциліндричні відбивачі

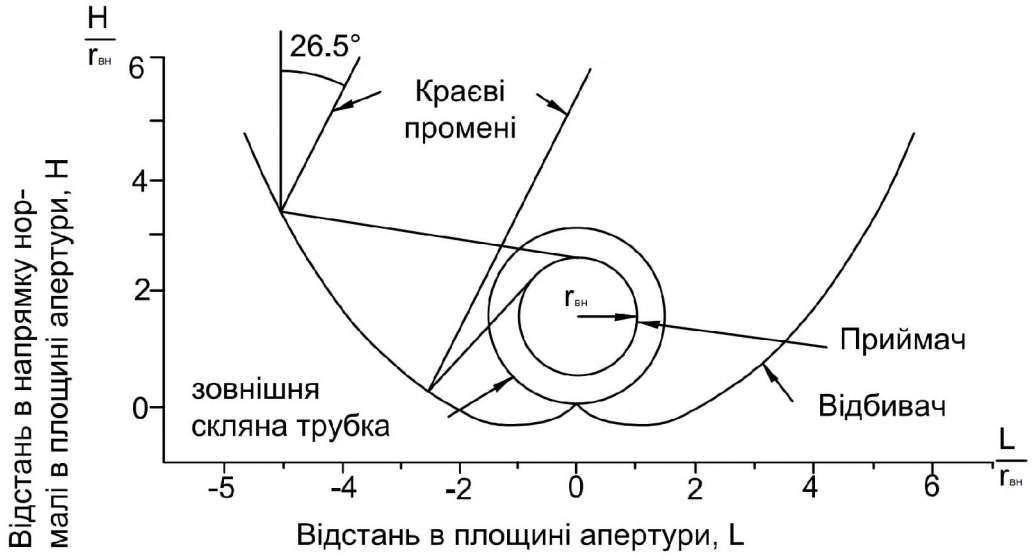


Рис. 1.16. Сонячний колектор з симетричними відбивачами і приймачем у вигляді вакуумної трубки; $r_{вн}$ - внутрішній радіус трубкоподібного приймача

Created by Universal Document Converter

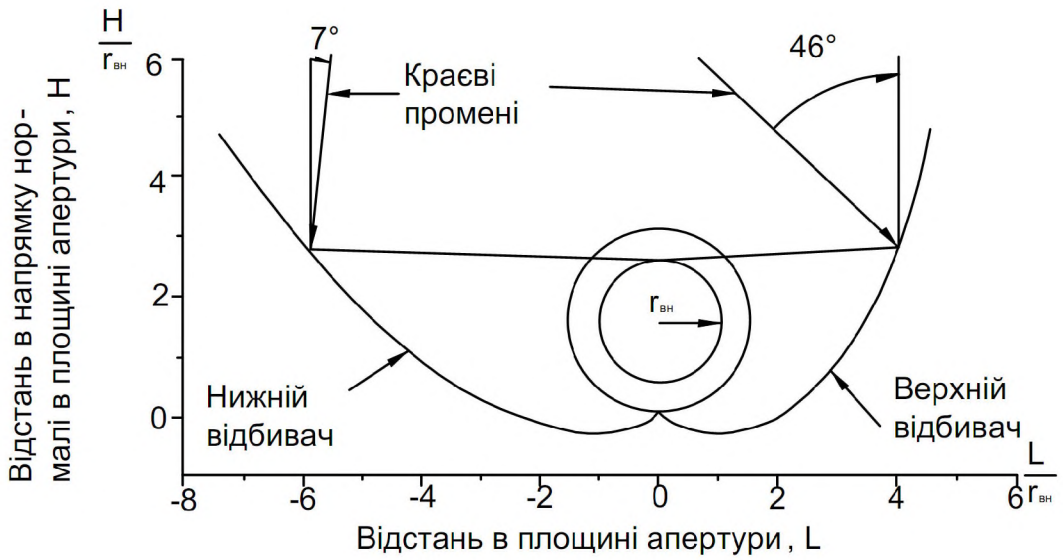


Рис. 1.17. Сонячний колектор з асиметричними відбивачами і приймачем у вигляді вакуумної трубки $r_{вн}$ - внутрішній діаметр трубкоподібного приймача

1.7. Типи прозорої ізоляції для сонячних колекторів

1.7.1. Одинарне, подвійне скління

Найбільш поширеним типом прозорої ізоляції в СК є скло. В залежності від якості листове скло підрозділяють на марки МО, М1, М2, М3, М4, М5, М6, М7. Чим менше цифра в марці скла, тим вище його якість, тобто тим менше дефектів на одиницю поверхні [27]. Якість листового скла визначається ГОСТ 111-2001 [28]. Для прозорої ізоляції СК важливо, щоб скло було з низьким вмістом оксиду заліза, тому в цьому випадку воно краще пропускає видиме сонячне випромінювання і практично його не поглинає.

Деякі фізико-механічні характеристики листового скла за ГОСТ 111-2001 наведено в табл. 1.3.

Created by Universal Document Converter

Таблиця 1.3

Фізико-механічні характеристики листового скла [28]

Найменування показника	**Довідкове значення**
Густина	2500 кг / м ^{3}
Коефіцієнт теплопровідності	1,0 Вт / (м·К)
Температурний коефіцієнт лінійного розширення (в інтервалі температур від 20 до 300 ° С)	9,0-10^{-6} К$^{-1}$
Температура розм'якшення	600 ° С
Коефіцієнт заломлення світла	1,5
Коефіцієнт спрямованого відбиття світла	0,08

Опір теплопередачі прозорого загородження СК більший при меншій різниці температур приймача і навколишнього середовища і зростає при збільшенні кількості шарів скла і нанесенні на скло селективного покриття.

ГОСТ Р 51595-2000 не обмежує число шарів прозорої ізоляції СК. Як було сказано, при збільшенні шарів прозорої ізоляції зростає опір теплопередачі, але зменшується пропускання і виникає складність при монтажі внаслідок збільшення товщини прозорої ізоляції. Тому в СК, як правило, використовують одинарне скління. Зазвичай для цілей гарячого водопостачання (температура теплоносія близько 60 °С) використовують СК з одинарним склінням, а для опалення - СК з подвійним склінням.

1.7.2. Скло з селективними покриттями

Тепловтрати випромінюванням через скло можна знизити за рахунок використання селективного (низькоемісійного) скла, серед яких I-скло (з

Created by Universal Document Converter

м'яким селективним покриттям) і К-скло (з твердим селективним покриттям). Селективні покриття наносяться на поверхні стекол ВСП для того, щоб відбити інфрачервоне випромінювання (з довжиною хвилі більше 3 мкм, максимум на 10 мкм) з боку приміщення (або теплового приймача в разі сонячного колектора). При цьому інтегральна пропускна здатність скла з низькоемісійним покриттям зменшується на 3 – 5 % *у* порівнянні зі склом без покриття.

Селективність скла забезпечується нанесенням тришарового покриття: адгезійного металооксидного (SnO_2, ZnO), основного шару - срібла, і захисного металооксидного. Селективні покриття отримують методом піролізу (К-скло) або методом вакуумного магнетронного напилення (І-скло) [29]. В першому випадку молекули оксидів металів проникають в кристалічну решітку скла, і покриття дуже міцно зчіплюється з поверхнею скла, таке покриття називається твердим. Покриття, що наноситься вакуумним методом, є менш стійким і називається м'яким, але має більш низьку випромінювальну здатність ε в порівнянні з твердим покриттям. Для твердого покриття ε = 0,1 - 0,18; м'якого ε= 0,02 - 0,08.

Якість скла з твердим селективним покриттям встановлює ГОСТ 30733-2000 [30]. Випромінювальна здатність твердого селективного покриття повинна бути не більше 0,18.

1.7.3. Прозора ізоляція з полімерних матеріалів

В [31] подано докладний огляд прозорої ізоляції для СК із полімерних матеріалів. Для ізоляції зазвичай використовують різні пластики: поліетилен, полікарбонат (ПК), поліметилметакрилат, поліестеркарбонат та ін. З відомих конструкцій сонячних колекторів з полімерної прозорою ізоляцією можна назвати наступні: СК з відбивачами з прозорою сотовою ізоляцією з

Created by Universal Document Converter

полікарбонату (рис. 1.15), плоский СК з прозорою сотовою ізоляцією (рис. 1.18), плоский СК з прозорою капілярної ізоляцією зі скла (рис. 1.19).

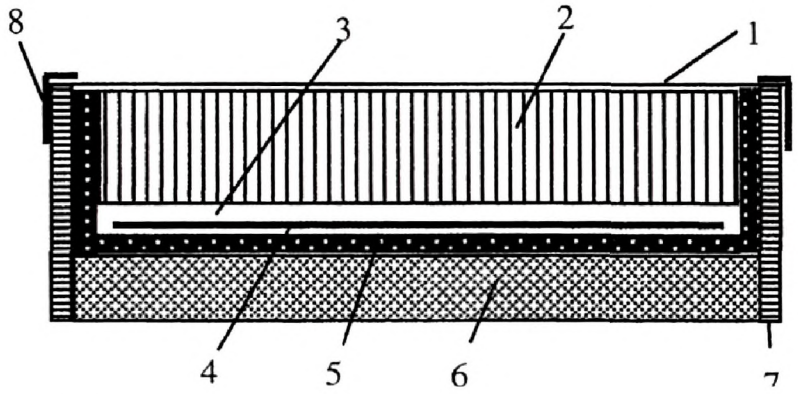


Рис. 1.18. Плоский СК з прозорою сотовою ізоляцією:

1 - скло з низьким вмістом заліза товщиною 4 мм, 2 - ізоляція з сотового ПК товщиною 50 - 100 мм, 3 - повітряний зазор 20 мм, 4 - приймач сонячного випромінювання з селективним покриттям, 5 - теплова ізоляція товщиною 15 мм з матеріалу, що витримує високі температури, 6 - поліуретан товщиною 60 мм, 7 - дерев'яна рама, 8 - алюмінієва рама

Авторами роботи [32] пропонується використовувати двошарову прозору ізоляцію: з полікарбонату сотової структури і скла (рис. 1.20). Прозора теплова ізоляція являє собою порожнисту структуру з прозорого матеріалу, у видимій області сонячного випромінювання і має низький коефіцієнт випромінювання в інфрачервоній області.

Експерименти показали, що ККД сонячного колектора з прозорою ізоляцією з сотового полікарбонату вище в середньому на 20 %, ніж ККД сонячного колектора без неї (лише з одинарним склінням), а нагрів теплоносія вище в середньому на 15 °С в залежності від витрати повітря.

Для того щоб знизити тепловтрати сонячного колектора і одночасно уникнути недоліків, які відносяться до розглянутих типів прозорої ізоляції (недостатньо високий коефіцієнт опору теплопередачі у скла; велика товщина, низький коефіцієнт пропускання у полікарбонату), доцільно застосовувати в якості прозорої ізоляції СК вакуумні склопакети.

Created by Universal Document Converter

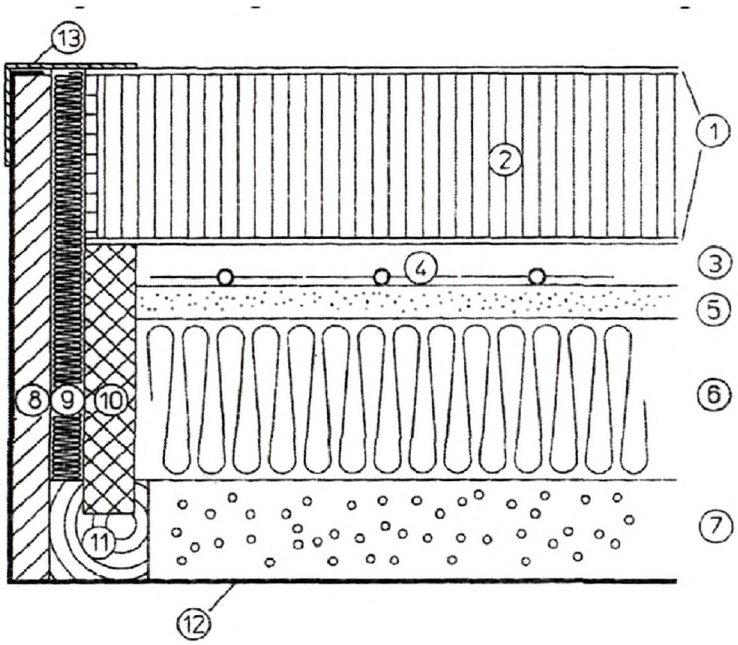


Рис. 1.19. Плоский СК з прозорою капілярної ізоляцією зі скла:

1 - листи скла з низьким вмістом заліза, 2 - прозора капілярна ізоляція зі скла товщиною 80 - 100 мм, 3 - повітряний зазор 20 мм, 4 - приймач сонячного випромінювання, 5 - теплова ізоляція товщиною 20 мм з матеріалу, що витримує високі температури, 6 - мінеральна вата товщиною 100 мм, 7 - пінополіуретан товщиною 60 мм, 8 - дерев'яна рама, 9 - мінеральна вата товщиною 200 мм, 10 - піноскло товщиною 30 мм, 11 - дерев'яна підтримуюча рама, 12 - захист від атмосферних впливів, 13 - алюмінієва рама

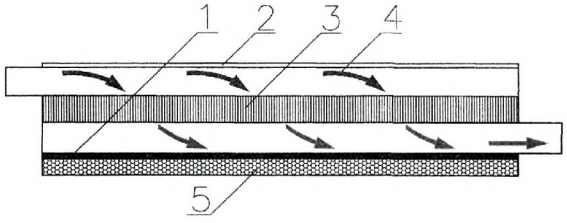


Рис. 1.20. Схема повітряного сонячного колектора з прозорою ізоляцією з сотового полікарбонату:

1 - приймач сонячного випромінювання; 2 - скло; 3 - прозора ізоляція з сотового полікарбонату; 4 - потік повітря; 5 – теплоізоляція

Опір теплопередачі ВСП більше, ніж у одинарного і подвійного засклень за рахунок відсутності в вакуумному зазорі конвекції і незначною теплопровідністю розрідженого газу. При цьому товщина ВСП не набагато більше одинарного скління - 6,5 ... 8 мм.

Created by Universal Document Converter

У табл. 1.4 представлені дані по пропускній здатності та опору теплопередачі вакуумних склопакетів (ВСП) для умов їх застосування в якості світлопрозорих огороджень в будівлях.

Таблиця 1.4.

Коефіцієнти пропускання τ і коефіцієнти опору теплопередачі R_t різних типів склопакетів за даними ВАТ «Плазма» (м. Рязань) [47]

Тип вакуумованого склопакета	**τ**	**R_t, $(м^2 \cdot К)/Вт$**
ВСП товщиною 6,5 мм	0,83	0,44
ВСП з селективним покриттям на одному склі	0,80	0,85
ВСП з селективним покриттям на двох склах	0,76	1,2

1.8. Вакуумні склопакети

1.8.1. Конструкція вакуумних склопакетів

Схема конструкції вакуумного склопакета представлена на рис. 1.21. ВСП складається з двох листів скла 1 з вакуумним проміжком 2, рівним 0,15 - 0,2 мм. Повітря з цього зазору відкачано до тиску порядку10^{-3} - 10^{-4} мм рт. ст., за рахунок чого помітно знижуються тепловтрати внаслідок теплопровідності повітря, і, отже, істотно підвищується опір теплопередачі ВСП.

Між склом впорядковано встановлюються фіксатори 3 діаметром 0,25 - 0,4 мм і висотою 0,15 - 0,2 мм з кроком 25 - 40 мм для того, щоб при відкачці повітря зберегти зазор між склом і запобігти руйнуванню від перепаду тиску всередині зазору і атмосферою. Фіксатори можуть виконуватися з нержавіючої сталі або склокераміки. Останній варіант, безумовно, краще, тому що теплопровідність склокераміки набагато менше, ніж у сталі: близько

Created by Universal Document Converter

1 Вт/(м·К) (теплопровідність сталі 20 Вт/(м·К)). Скло з'єднується по периметру швом герметизації 4 зі спеціального скла для пайки.

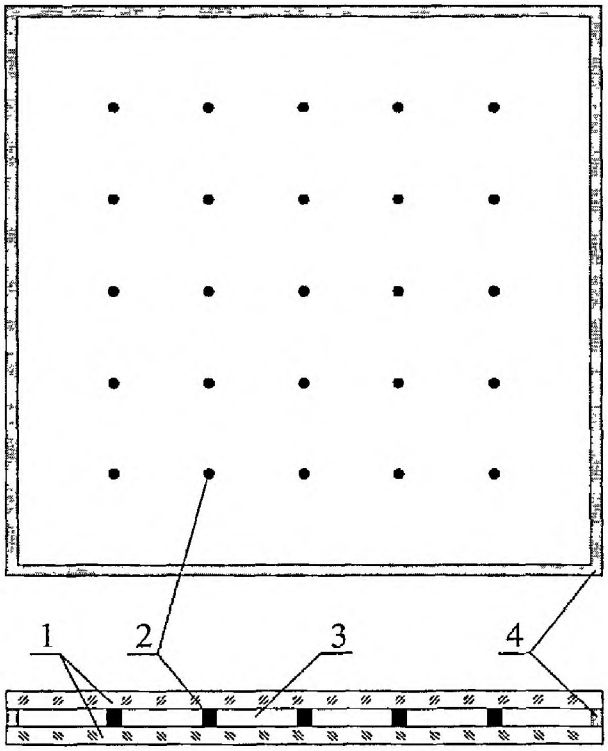


Рис. 1.21. Конструкція ВСП:

1 - лист скла, 2 - склокерамічні фіксатори, 3 - вакуумний зазор, 4 - шов герметизації

Вперше конструкція ВСП була запатентована в 1913 році Цоллер (Zoller). Надалі багато європейських, американських та австралійських вчених займалися розробками ВСП, про що можна дізнатися в патентній літературі. Виробництво ВСП почалося в 1988 році в Сіднейському університеті [33]. Масовий випуск ВСП вперше почала японська фірма Nippon Sheet Glass в середині 1999 року.

1.8.2. Вплив товщини скла на коефіцієнт теплопередачі ВСП

Автори [34] провели аналіз впливу товщини стекол на коефіцієнт теплопередачі ВСП. Згідно з їх розрахунками, для зразків ВСП площею 1 м ×

Created by Universal Document Converter

1 м і більше при зменшенні товщини скла збільшується коефіцієнт теплопередачі ВСП, а для розмірів склопакетів менше 1 м спостерігається зворотний ефект - зменшення коефіцієнта теплопередачі ВСП при зменшенні товщини стекол. Автори пояснюють це тим, що грають роль тепловтрати через шви герметизації (крайові ефекти), які значні при малих розмірах скла.

Згідно з розрахунками [33], коефіцієнт теплопередачі поблизу країв ВСП з рамою більше коефіцієнта теплопередачі в центрі ВСП на 0,4 Вт/(м·К) для умов стандарту ASTM E1423-06: внутрішній і зовнішні коефіцієнти тепловіддачі відповідно 8,3 Вт/(м·К) і 30 Вт/(м·К), внутрішня і зовнішня температури відповідно +21,1 °С і -17,8 °С.

1.8.3. Вплив селективного покриття на ефективність ВСП

Автори [34] побудували залежність коефіцієнта теплопередачі від випромінювальної здатності ε поверхонь скла ВСП і прийшли до висновку, що якщо випромінювальна здатність селективного покриття $\varepsilon = 0{,}02$, досить нанесення одного селективного покриття, тому збільшення їхньої кількості не призводить до подальшого зниження коефіцієнта теплопередачі.

При використанні «твердих» селективних покриттів, має сенс наносити 2 селективних покриття, тому що це значно зменшує коефіцієнт теплопередачі ВСП. Наприклад, при $\varepsilon = 0{,}16$ коефіцієнт теплопередачі ВСП з одним селективним покриттям становить 1,3 Вт /(м·К), з двома селективними покриттями - 1 Вт / (м·К) (рис. 1.22).

До теперішнього часу всі дослідження ВСП проводилися з урахуванням їх експлуатації в якості віконних огороджень. Умови експлуатації ВСП у складі СК істотно відрізняються від віконних, зокрема, по робочій температурі, куту нахилу СК до горизонту, опромінення Сонцем.

До прозорих огороджень, які застосовуються в сонячних колекторах, висуваються такі вимоги: висока пропускна здатність, стійкість до

Created by Universal Document Converter

механічних навантажень, сонячного випромінювання, високих температур і температурних перепадів, високий коефіцієнт опору теплопередачі.

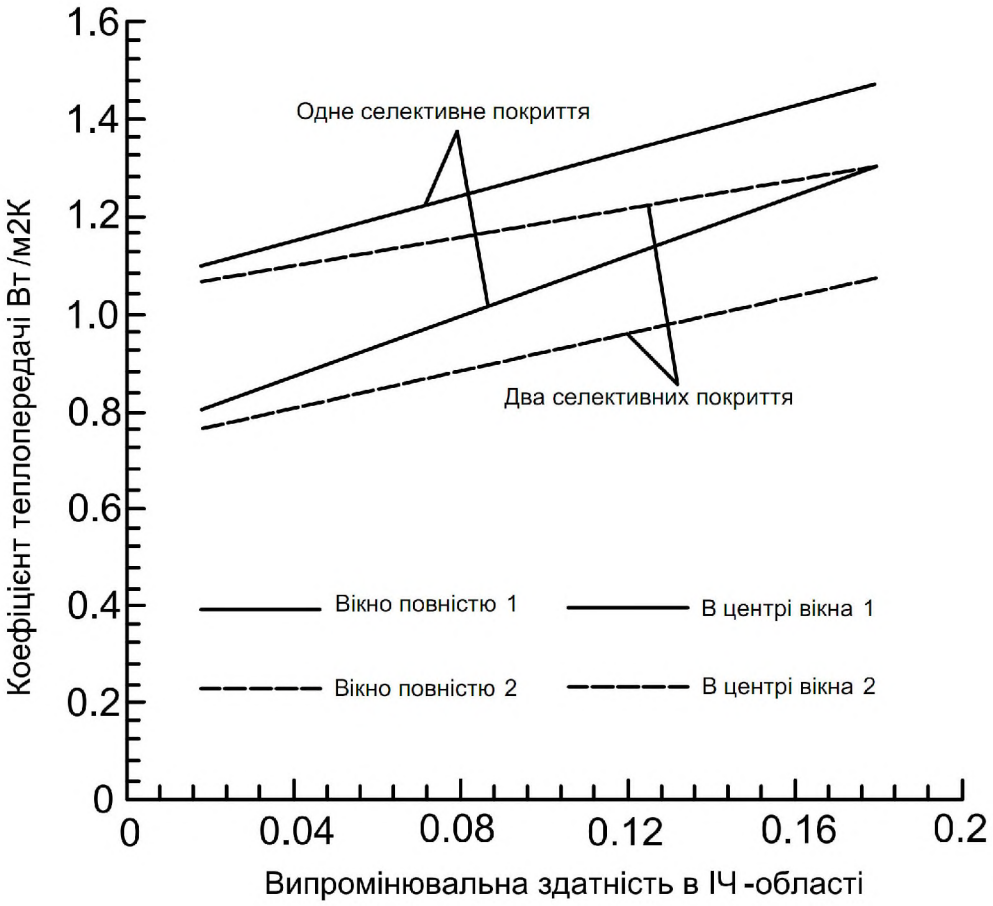


Рис. 1.22. Коефіцієнти теплопередачі засклень з одним і двома селективними покриттями для умов ASTM [35]:

температура в приміщенні +21,1 ° С, температура зовнішнього повітря -17,8 ° С, коефіцієнт тепловіддачі усередині приміщення 8,3 Вт / (м·К), коефіцієнт тепловіддачі зовні 30 Вт/(м·К)

1.9. Висновки до розділу

1. Проведено огляд плоских рідинних і повітряних сонячних колекторів та сонячних колекторів з відбивачами. Представлені деякі профілі

Created by Universal Document Converter

відбивачів, які використовуються в конструкціях сонячних установок з тепловими приймачами.

2. До 90 % всіх теплових втрат сонячного колектора відбуваються через прозору ізоляцію, тому при проектуванні сонячних колекторів значна увага має бути приділена вибору прозорої ізоляції з високим опором теплопередачі.
3. Найбільш часто застосовувана в сонячних колекторах прозора ізоляція має ряд недоліків: низький опір теплопередачі (одинарне скління), більшу товщину і недостатньо високий коефіцієнт пропускання сонячного випромінювання (подвійне скління, полікарбонат).
4. Запропоновано застосування вакуумних склопакетів як більш ефективних в порівнянні з одинарним і подвійним склінням прозорої ізоляції в плоских сонячних колекторах і сонячних колекторах з відбивачами. У порівнянні з одинарним і подвійним склінням вакуумні склопакети мають більш високий опір теплопередачі. При цьому товщина ВСП не набагато більше одинарного скління - близько 6 мм.

Created by Universal Document Converter

РОЗДІЛ 2.
ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1. Методика розрахунку сонячного колектора з вакуумованим склопакетом

2.1.1. Постановка завдання

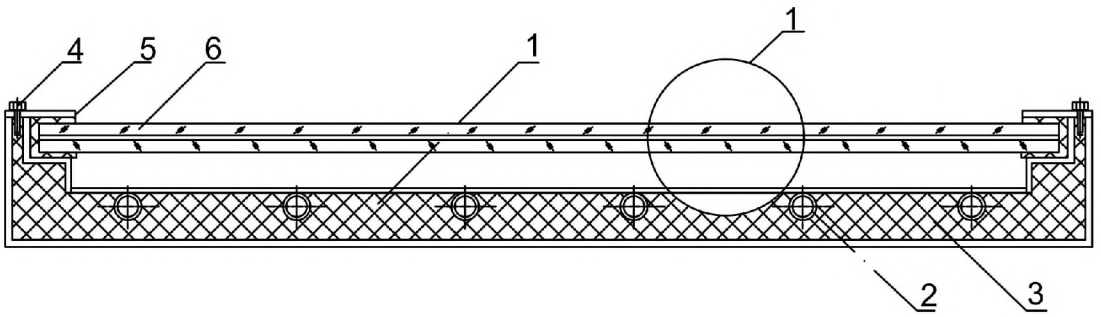
Стендові випробування прозорої ізоляції, в тому числі вакуумованого склопакету, проводяться на спеціальному стандартизованому обладнанні з кліматичними камерами [36], що імітують внутрішні (в приміщенні) і зовнішні (атмосферні) умови середовища, крім опромінення Сонцем, що визначаються такими стандартами як ГОСТ 26602.1 -99 і ASTME 1423-06 [36]. Проведення випробувань вакуумованого склопакету у складі СК на цьому обладнанні не передбачено. Враховуючи невизначеність ступеня вакууму, наявність якого в процес сонячного випромінювання експлуатації неможливо оцінити візуально або за допомогою приладів, оцінку ефективності конкретного вакуумованого склопакету можна провести в порівнянні з еталонним зразком, який має відомі розрахункові та експериментальні параметри, наприклад, подібним СК з подвійним склінням.

Далі представлена методика визначення теплотехнічних характеристик сонячного колектора з вакуумованим склопакетом, заснована на комплексному вирішенні рівнянь теплопередачі і залежностей молекулярно-кінетичної теорії газів. Дана методика включає розрахунково-експериментальний метод визначення тиску розрідженого газу в вакуумному зазорі по його коефіцієнту теплопровідності. Останній визначався за допомогою вирішення рівнянь теплового балансу сонячного колектора з вакуумованим склопакетом.

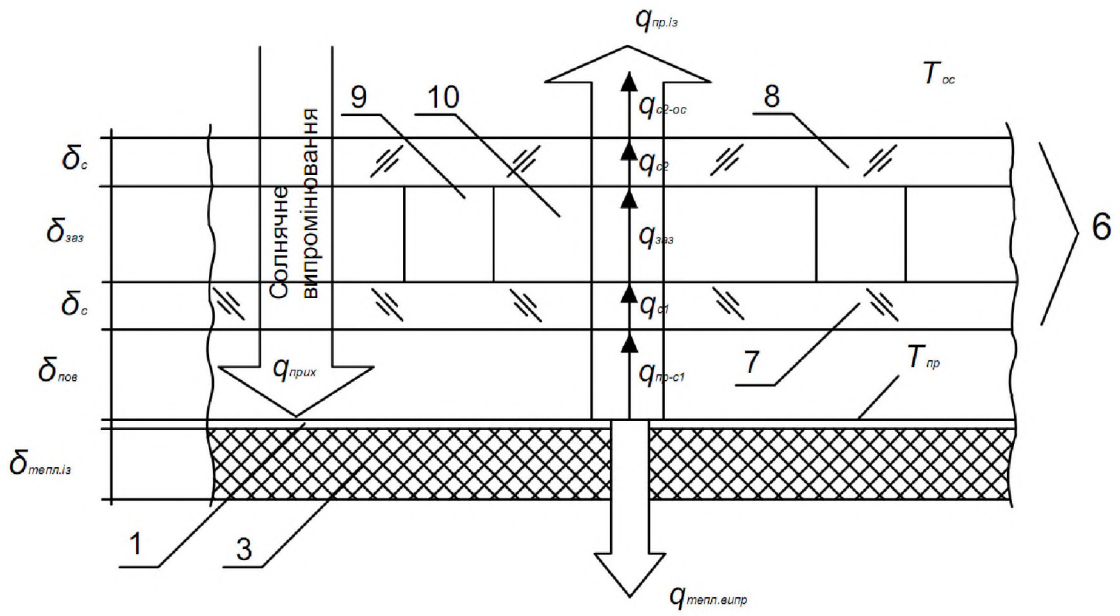
Created by Universal Document Converter

2.1.2. Тепловий баланс сонячного колектора з вакуумованим склопакетом

Розглянемо тепловий баланс сонячного колектора з прозорою ізоляцією з вакуумованого склопакету і теплової ізоляцією з пінопласту в стаціонарному режимі, припускаючи, що елементи СК - нескінченні паралельні пластини (рис. 2.1) [37, 38].



а)



б)

Рис. 2.1. Схема сонячного колектора з вакуумованим склопакетом.

Тепловий баланс: 1 - приймач сонячного випромінювання, 2 - внутрішні канали (трубки), 3 - теплоізоляція, 4 - кріплення, 5 - ущільнювач, 6 - вакуумований склопакет, 7 - перше скло, 8 - друге скло, 9 - фіксатори, 10 - вакуумний зазор

Created by Universal Document Converter

Густина потоку сонячного випромінювання $q_{прих,}$ поглиненого приймачем сонячного випромінювання, дорівнює сумі теплових втрат через прозору ізоляцію $q_{пр.із}$ і теплову ізоляцію $q_{тепл.із}$:

$$q_{прих} = q_{пр.із} + q_{тепл.із} . \quad (2.1)$$

Крім того, у стаціонарному режимі повинна виконуватися умова рівності густин теплових потоків від приймача до першого скла $q_{пр. С1,}$ через скло $q_{С1}$ і $q_{С2,}$ від першого скла до другого $q_{заз,}$ від другого скла в навколишнє середовище $q_{С2\text{-}ос,}$ від приймача через прозору ізоляцію $q_{пр.із:}$

$$q_{пр.із} = q_{пр-с1} = q_{с1} = q_{с2} = q_{заз} = q_{с2-ос} . \quad (2.2)$$

Густина випромінювання, поглиненого приймачем сонячного випромінювання:

$$q_{прих} = \tau \cdot \alpha_{пр} \cdot H , \quad (2.3)$$

де τ - коефіцієнт пропускання прозорої ізоляції (вакуумованого склопакету);

$\alpha_{пр}$ - коефіцієнт поглинання сонячного випромінювання приймача;

H - густина потоку сонячного випромінювання, Вт/м^2.

Густина теплового потоку через прозору ізоляцію:

$$q_{пр.із} = \frac{T_{пр} - T_{ос}}{R_t}, \quad (2.4)$$

де $T_{пр,}$ $T_{ос}$ - температури приймача і навколишнього середовища відповідно, К;

R_t - загальний опір теплопередачі вакуумованого склопакету, м^2·К/Вт.

Опір теплопередачі вакуумованого склопакету складається з наступних термічних опорів: термічного опору повітряного зазору між приймачем і першим від приймача склом вакуумованого склопакету $R_{п\text{-}с1,}$ термічного опору скла вакуумованого склопакету $2R_{с,}$ термічного опору вакуумного

Created by Universal Document Converter

зазору між склами $R_{заз}$ і термічного опору тепловіддачі від другого скла до навколишнього середовища $R_{\text{с 2-ос}}$.

$$R_t = R_{пр-с1} + R_{с1} + R_{с2} + R_{заз} + R_{с2-ос}, \quad (2.5)$$

Розглянемо густини теплових потоків від приймача через прозору ізоляцію (вакуумованого склопакету) і теплоізоляцію, показані на рис. 2.2, припускаючи, що кожний елемент сонячного колектора є ізотермічний, тобто присутня одномірність теплових потоків.

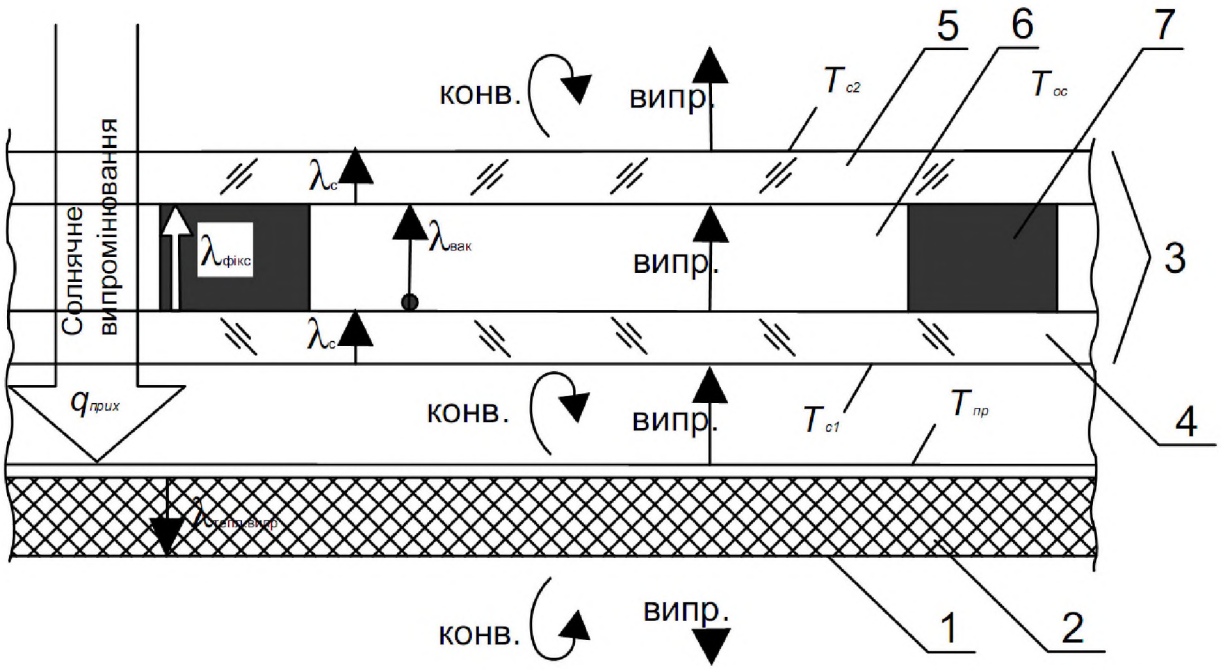


Рис. 2.2. Схема теплових потоків в сонячному колекторі з вакуумованим склопакетом: 1 - приймач сонячного випромінювання (поглинаюча пластина) 2 - теплоізоляція дна СК, 3 - вакуумований склопакет, 4 - перше скло, 5 - друге скло, 6 - вакуумний зазор, 7 - фіксатори;
конв. - Теплоперенос конвекцією, *випр.* - Теплоперенос випромінюванням

1. Густина теплового потоку від приймача до першого скла:

Created by Universal Document Converter

$$q_{пр-с1} = \frac{T_{пр} - T_{с1}}{R_{пр-с1}}, \qquad (2.6)$$

де $T_{с1}$ - температура першого скла, К.

Термічний опір між приймачем і першим склом вакуумованого склопакету:

$$R_{пр-с1} = \frac{1}{h^{конв}_{пр-с1} + h^{випр}_{пр-с1}}, \qquad (2.7)$$

де $h^{конв}_{пр-с1}$, $h^{випр}_{пр-с1}$ - коефіцієнти тепловіддачі конвекцією і випромінюванням в зазорі між приймачем і першим склом вакуумованого склопакету відповідно, Вт/ м^2·К.

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією можна визначити з числа Нуссельта:

$$Nu = \frac{h \cdot L}{\lambda}, \qquad (2.8)$$

тобто

$$h^{конв}_{пр-с1} = \frac{Nu \cdot \lambda_{пов}}{L}, \qquad (2.8а)$$

де L - характерний розмір *(*$L = \delta_{пов}$*)*;

$\lambda_{пов}$ - коефіцієнт теплопровідності;

$\delta_{пов}$ - Товщина водзушного зазору між приймачем і склом, м.

Для розрахунку конвективного теплообміну між двома пластинами з нахилом β до 75° Холландсом експериментальним шляхом виведена формула залежності між числом Нуссельта Nu і числом Релея Ra [40, 41]:

$$Nu = 1 + 1{,}44 \cdot \left[1 - \frac{1708 \cdot \left(\sin(1{,}8 \cdot \beta)^{1{,}6}\right)}{Ra \cdot \cos\beta}\right] \cdot \left[1 - \frac{1708}{Ra \cdot \cos\beta}\right]^{+} + \left[\left(\frac{Ra \cdot \cos\beta}{5830}\right)^{1/3} - 1\right]^{+} \qquad (2.9)$$

Created by Universal Document Converter

Знак «+» після квадратної дужки означає, що в розрахунок приймаються тільки додатні значення; якщо значення виходить відємним, воно приймається рівним 0.

Число Релея Ra обчислюється за формулою [40]:

$$Ra = \frac{g \cdot \beta' \cdot \Delta T \cdot \delta_{пов}^3}{\nu \cdot a}, \qquad (2.10)$$

де g - гравітаційна стала, g = 9,8 м/с^2;

β'- коефіцієнт об'ємного розширення, для ідеального газу $\beta' = 1/T$, K^{-1}

ΔT - різниця температур між приймачем і склом вакуумованого склопакету, К;

ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, м^2/с;

a - коефіцієнт температуропровідності, м^2/ с.

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням в зазорі між приймачем і першим склом вакуумованого склопакету [41]:

$$h_{пр-с1}^{випр} = \frac{\sigma \cdot \cdot \left(T_{пр}^2 + T_{с1}^2\right) \cdot \cdot \left(T_{пр} + T_{с1}\right)}{\left(1/\varepsilon_{пр}\right) + \left(1/\varepsilon_{с1}\right) - 1}, \qquad (2.11)$$

де σ - стала Стефана-Больцмана, σ =5,67·10^{-8} Вт/(м^2·К^4);

$\varepsilon_{пр}$ - коефіцієнт випромінювання пластини;

$\varepsilon_{с1}$ - коефіцієнт випромінювання зовнішньої поверхні першого скла.

2. Густини теплових потоків через перше і друге скло, які переносяться за рахунок теплопровідності:

$$q_{с1} = \frac{\Delta T_{с1}}{R_{с1}}, \qquad (2.12)$$

$$q_{с2} = \frac{\Delta T_{с2}}{R_{с2}}, \qquad (2.12а)$$

Created by Universal Document Converter

де ΔT_{c1} та ΔT_{c2} - перепад температур між поверхнями скла, К.

Опір теплопровідності скла розраховується як зворотна величина теплопровідності:

$$R_c = \frac{\delta_c}{\lambda_c}, \tag{2.13}$$

де δ_c - товщина скла, м;

λ_c - коефіцієнт теплопровідності скла, Вт / (м·К).

3. Тепловий потік через вакуумний зазор:

$$q_{заз} = \frac{T_{c1} - T_{c2}}{R_{заз}}, \tag{2.14}$$

де T_{c2} - температура другого скла, К.

Теплоперенос в вакуумному зазорі вакуумованого склопакету складається з тепловіддачі випромінюванням $h_{заз}^{випр}$, теплопровідності розрідженого газу $h_{вак}$ і теплопровідності фіксаторів $\Lambda_{фікс}$, а тепловаий опір вакуумного зазору відповідно:

$$R_{заз} = \frac{1}{h_{заз}^{випр} + h_{вак} + \Lambda_{фікс}}, \tag{2.15}$$

Теплопровідність розрідженого газу визначається відношенням коефіцієнта теплопровідності розрідженого газу $\lambda_{вак}$ до величини вакуумного зазору $\delta_{заз}$:

$$h_{вак} = \frac{\lambda_{вак}}{\delta_{заз}}. \tag{2.16}$$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням у вакуумному зазорі:

Created by Universal Document Converter

$$h_{заз}^{випр} = \frac{\sigma \cdot \cdot \left(T_{c1}^2 + T_{c2}^2\right) \cdot \cdot \left(T_{c1} + T_{c2}\right)}{\left(1/\varepsilon_1\right) + \left(1/\varepsilon_2\right) - 1}, \qquad (2.17)$$

де ε_1 , ε_2 - коефіцієнти випромінювання внутрішніх поверхонь скла вакуумованого склопакету.

Коефіцієнт теплопровідності розрідженого газу $\lambda_{вак}$ залежить від довжини вільного пробігу молекули (ступеня вакууму).

Теплопровідність фіксаторів, розташованих на 1 м вакуумованого склопакету $\Lambda_{фікс}$:

$$\Lambda_{фікс} = \frac{\lambda_{фікс}}{\delta_{заз}} A_{фікс}, \qquad (2.18)$$

де $\lambda_{фікс}$ - коефіцієнт теплопровідності фіксаторів, Вт / (м·К);

$A_{фікс}$ - площа фіксаторів на 1 м скла, розраховується за формулою:

$$A_{фікс} = \frac{\pi d_{фікс}^2}{4 s^2_{фікс}}, \qquad (2.19)$$

де $d_{фікс}$ - діаметр фіксатора, м;

$s_{фікс}$ - крок фіксаторів (відстань між фіксаторами), м.

4. Густина теплового потоку від другого скла в навколишнє середовище:

$$q_{c2-oc} = \frac{T_{c2} - T_{oc}}{R_{c2-oc}}, \qquad (2.20)$$

Опір тепловіддачі від зовнішньої поверхні другого скла до навколишнього середовища:

Created by Universal Document Converter

$$R_{c2-oc} = \frac{1}{h_{c2-oc}^{конв} + h_{c2-oc}^{випр}}, \quad (2.21)$$

де $h_{c2-oc}^{конв}$, $h_{c2-oc}^{випр}$ - коефіцієнти тепловіддачі від зовнішньої поверхні другого скла до навколишнього середовища конвекцією і випромінюванням відповідно.

Коефіцієнт тепловіддачі конвекцією залежить від швидкості вітру н і визначається емпіричним виразом (формула Мак-Адамса) [39]:

$$h_{c2-oc}^{конв} = 5{,}7 + 3{,}8v, \quad (2.22)$$

Коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням від скла до навколишнього середовища:

$$h_{c2-oc}^{випр} = \frac{\sigma \cdot \left(T_{c2}^2 + T_{oc}^2\right) \cdot \left(T_{c2} + T_{oc}\right)}{\left(1/\varepsilon_{c2}\right) + \left(1/\varepsilon_0\right)}, \quad (2.23)$$

Так як $\varepsilon_0 = 1$ (ступінь чорноти небосхилу), формула (2.23) набуває вигляду:

$$h_{c2-oc}^{випр} = \sigma \cdot \varepsilon_{c2} \cdot \left(T_{c2}^2 + T_{oc}^2\right) \cdot \left(T_{c2} + T_{oc}\right), \quad (2.24)$$

5. Густина потоку теплових втрат через теплову ізоляцію:

$$q_{тепл.із} = \frac{T_{тепл.із} - T_{oc}}{R_{тепл.із-oc}}, \quad (2.25)$$

де $R_{тепл.із-oc}$ - термічний опір теплової ізоляції:

$$R_{тепл.із-oc} = \frac{1}{h_{тепл.із-oc}^{конв} + h_{тепл.із-oc}^{випр} + \frac{\lambda_{тепл.із-oc}}{\delta_{тепл.із-oc}}}, \quad (2.26)$$

де $h_{тепл.із-o}^{конв}$, $h_{тепл.із-o}^{випр}$ - коефіцієнти тепловіддачі від теплоізоляції в навколишнє середовище випромінюванням і конвекцією, Вт/(м^2·К):

Created by Universal Document Converter

$$h^{випр}_{тепл.із-ос} = \sigma \cdot \varepsilon_{тепл.із-ос} \cdot \left(T_2^2 + T_{ос}^2\right) \cdot \left(T_2 + T_{ос}\right), \quad (2.27)$$

$$h^{конв}_{тепл.із-ос} = 5{,}7 + 3{,}8 \cdot v, \quad (2.28)$$

Невідомими в системі рівнянь (2.1) - (2.28) є: $T_{пр}$, $T_{с1}$, $T_{с2}$, $h^{випр}_{пр-с1}$, $h^{випр}_{заз}$, $h^{випр}_{с2-ос}$, $R_{пр-с1}$, $R_{заз}$, $R_{с2-ос}$, R_t, $q_{пр.із}$, $q_{пр-с1}$, $q_{заз}$, а також необхідно визначити коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{вак}$ і тиск p розрідженого газу в зазорі між шарами скла.

Розв'язок системи рівнянь (2.1) - (2.28) вироблялося ітераційним методом за допомогою комп'ютерної програми Excel. При аналітичному рішенні теплового балансу в першому наближенні задавалися температури скла вакуумованого склопакету T_{c1} , T_{c2} і коефіцієнт теплопровідності розрідженого газу $\lambda_{вак}$; система рівнянь розвязується при зведенні теплового балансу і рівності теплових потоків через прозору ізоляцію (формули 2.1 і 2.2); вихідні (шукані) параметри - $R_{всп}$, $R_{заз}$, $\lambda_{вак}$, p.

При експериментальних дослідженнях температури приймача (пластини), скла, навколишнього середовища, а також сонячна радіація вимірювалися. Температура повітря між приймачем і першим склом, а також температура розрідженого газу між склінням приймалися середніми між температурами сусідніх поверхонь.

Далі за коефіцієнтом теплопровідності розрідженого газу $\lambda_{вак}$ розраховується довжина вільного пробігу молекули λ_0 і тиск p. Залежності цих характеристик для різних ступенів вакууму представлена далі.

2.1.3. Залежність коефіцієнта теплопровідності розрідженого газу від тиску в вакуумному зазорі вакуумованого склопакету

Відповідно до молекулярно-кінетичної теорією коефіцієнт теплопровідності розрідженого газу $\lambda_{вак}$ залежить від ступеня вакууму. Вакуум умовно ділять на низький, середній, високий і надвисокий [42].

Created by Universal Document Converter

Низьким вакуумом називається стан розрідженого газу в ємності, коли довжина вільного пробігу молекули λ_0 істотно менше характерного лінійного розміру ємності δ ($\lambda_0 << \delta$). Середнім вакуумом називається розрідженість газу, при якій $\lambda_0 \approx \delta$, високим вакуумом - розрідженість газу, коли $\lambda_0 > \delta$. Надвисокий вакуум характеризується дуже низькою концентрацією молекул і тиском газу; довжина вільного пробігу молекули оцінюється десятками тисяч метрів.

Перераховані ступені вакууму також можна умовно характеризувати наступними інтервалами тисків: низький вакуум - від 760 до 1 мм рт. ст., середній - від 1 до 10^{-4} мм рт. ст., високий - від 10^{-4} до 10^{-8} мм рт. ст., надвисокий - від 10^{-8} і нижче.

Також для характеристики ступенів вакууму використовується критерій Кнудсена [43], рівний відношенню довжини вільного пробігу молекули до відстані між пластинами:

$$Kn = \frac{\lambda_0}{\delta_{заз}}, \qquad (2.29)$$

Вакуум по Кнудсену вважається високим при $Kn > 1{,}5$.

Таким чином, вакуум характеризується, з одного боку, тиском, а з іншого - відношенням довжини вільного пробігу молекули λ_0 до відстані між пластинами δ.

Однак, при *низькому вакуумі* коефіцієнт теплопровідності газу $\lambda_{н.вак}$ не залежить від тиску і розраховується за формулою [39]:

$$\lambda_{н.вак} = \frac{2}{3}\sqrt{\frac{kT}{m}} \cdot \frac{c_v}{\pi^{3/2} \cdot N_A \cdot d_м^2}, \qquad (2.30)$$

де k - стала Больцмана, $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К;

Created by Universal Document Converter

T - середня температура між шарами скла, приймається рівною $(T_{c1} - T_{c2})/2$, К;

m - маса молекули,

c_v - мольна теплоємність газу,

$d_м$ - діаметр молекули, м; для легких газів (H_2, O_2, N^2, повітря) зазвичай користуються величиною $d_м = 1{,}7 \cdot 10^{-10}$ м [42];

N_A - число Авогадро, $N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$.

Підставляючи $m = M/N_A$, $k = R_0/N_A$ у формулу (2.30), її можна перетворити в такий вигляд:

$$\lambda_{н.вак} = \frac{k}{\pi \cdot d_м^2} \cdot \sqrt{\frac{R_0 \cdot T}{\pi \cdot M}}, \qquad (2.31)$$

де R_0 - універсальна газова стала, рівна $R_0 = 8{,}314$ Дж/(моль·К);

M - молекулярна маса газу (молекулярна маса азоту M_{N2}=0,028 кг/моль);

Після підстановки значень констант вираз (2.31) представимо в більш зручній формі:

$$\lambda_{н.вак} = 0{,}715 \cdot 10^{-23} \cdot \frac{1}{d_м^2} \cdot \sqrt{\frac{T}{M}}, \qquad (2.32)$$

Виведемо залежності умовного коефіцієнта теплопровідності і тиску розрідженого газу при *середньому* і *високому* вакуумі. Якщо знехтувати конвекцією між двома пластинами (як у випадку вакуумованого склопакету, коли величина зазору складає 0,2 мм), питомий тепловий потік між двома нескінченними паралельними пластинами, що переноситься теплопровідністю через одиницю площі в одиницю часу, визначається як:

Created by Universal Document Converter

$$q_{газ} = \frac{\lambda_{вак}}{\delta_{заз}}\left(T_{c1} - T_{c2}\right), \qquad (2.33)$$

де $\lambda_{вак}$ - умовний параметр, аналог коефіцієнта теплопровідності, який не є властивістю газу, тому відбувається молекулярний теплоперенос від пластини до пластини без зіткнень молекул.

При *середньому вакуумі* густина теплового потоку, що переноситься молекулами [42]:

$$q_{вак} = \sqrt{\frac{2R_0}{\pi \cdot T \cdot M}}\left(T_{c1} - T_{c2}\right) \cdot p\,. \qquad (2.34)$$

Об'єднуючи формули (2.33) і (2.34), отримаємо тиск розрідженого газу в вакуумному зазорі:

$$p = \frac{\lambda_{вак}}{\delta_{заз}}\sqrt{\frac{\pi \cdot T \cdot M}{2R_0}}\,. \qquad (2.35)$$

При *високому вакуумі* (молекулярні умови переносу газом теплової енергії) густина теплового потоку, що переноситься молекулами:

$$q_{вак} = \alpha_0\left(\frac{\gamma+1}{\gamma-1}\right)\sqrt{\frac{R_0}{8 \cdot \pi \cdot T \cdot M}}\left(T_{c1} - T_{c2}\right) \cdot p\,, \qquad (2.36)$$

де α_0 - коефіцієнт акомодації; α_0 = 0,2 - 0,95 [44];

γ - поправочний коефіцієнт, що представляє собою відношення молярних теплоємність газу при постійному тиску і об'ємі $\gamma = c_p / c_v$.

Коли молекули газу, який знаходиться при температурі T, стикаються з поверхнею нагрітої стінки, температура якої T' то при першому зіткненні повного обміну енергії не відбувається; може знадобитися багато зіткнень, перш ніж це відбудеться. При першому зіткненні молекули, які відбиваються від нагрітої стінки, мають середньою енергію, меншу, ніж

Created by Universal Document Converter

мали б при температурі T. Припустимо, ця енергія відповідає температурі T'', тоді коефіцієнт акомодації можна визначити відношенням [45]:

$$\alpha_0 = \frac{T'' - T}{T' - T}. \qquad (2.37)$$

Коефіцієнт акомодації для двох поверхонь розраховується за формулою:

$$\alpha_0 = \frac{\alpha_1 \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_1 \alpha_2}, \qquad (2.38)$$

де α_1 і α_2 - коефіцієнти акомодації молекул газу на першій і другій поверхнях. Якщо $\alpha_1 = \alpha_2 = 0{,}9$ [42], то $\alpha_0 = 0{,}82$.

Тиск згідно молекулярно-кінетичної теорії газів:

$$p = \frac{k \cdot T}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot d_м^2 \cdot \lambda_0}, \qquad (2.39)$$

Підставляючи (2.39) в (2.36) отримуємо:

$$q = \frac{\alpha_0}{4}\left(\frac{\gamma+1}{\gamma-1}\right)\sqrt{\frac{R_0 T}{\pi \cdot M}} \cdot \frac{k}{\pi \cdot d_м^2 \cdot \lambda_0}\left(T_{c1} - T_{c2}\right) = \frac{\alpha_0}{4}\left(\frac{\gamma+1}{\gamma-1}\right) \cdot \frac{\lambda_{вак}}{\lambda_0}\left(T_{c1} - T_{c2}\right), \qquad (2.40)$$

Прирівнюючи (2.33) і (2.40) одержуємо рівняння для розрахунку довжини вільного пробігу молекули λ_0:

$$\lambda_0 = \frac{\alpha_0}{4}\left(\frac{\gamma+1}{\gamma-1}\right) \cdot \frac{\delta_{заз}}{\lambda_{вак}} \lambda_{н.вак},$$

де $\lambda_{н.вак}$ - коефіцієнт теплопровідності газу при низькому вакуумі.

Далі за формулою (2.39) визначаємо тиск розрідженого газу p.

В літературі [42, 43, 44, 45] наводяться й інші формули, що зв'язують коефіцієнт теплопровідності і тиск розрідженого газу; докладний аналіз

Created by Universal Document Converter

цих формул виконаний в [46]. Збіжність результатів розрахунку коефіцієнта теплопровідності при високому вакуумі за формулами, запропонованими різними авторами, висока.

Отже, алгоритм розрахунку тиску розрідженого газу складається з наступних стадій:

1. Розв'язок теплового балансу сонячного колектора з вакуумованим склопакетом і визначення коефіцієнта теплопровідності розрідженого газу $\lambda_{вак}$.
2. Розрахунок довжини вільного пробігу молекули λ_0 і визначення ступеня вакууму за критерієм Кнудсена.
3. Визначення тиску розрідженого газу p.

Блок-схема алгоритму розрахунку представлена на плакаті. Визначимо, які характеристики повинен мати вакуумований склопакет для перевищення опору теплопередачі одинарного і подвійного склінь, користуючись описаним вище алгоритмом.

2.2. Розрахунок характеристик вакуумованих склопакетів, які забезпечують підвищення енергоефективності сонячних колекторів

Для того щоб визначити, який тиск розрідженого газу повинен бути в зазорі вакуумованого склопакету і скільки селективних (низькоемісійних) покриттів доцільно наносити, щоб його опір теплопередачі перевищував опір теплопередачі одинарного і подвійного засклень з селективним покриттям, були прийняті умови, як у [39], при яких характеристики одинарного і подвійного засклень відомі: температура приймача сонячного випромінювання $t_{пр}$ = 100 °С; температура навколишнього середовища $t_{ос}$ = -20 °С; коефіцієнт тепловіддачі конвекцією від скла в навколишнє середовище $h_{с2-ос}^{конв}$ = 20 Вт/(м^{2}К). При цих умовах опору теплопередачі одинарного і

Created by Universal Document Converter

подвійного засклень з селективним покриттям відповідно: 0,24 м^2·К/Вт і 0,36 м^2·К/Вт.

Шуканими параметрами вакуумованого склопакету сонячного колектора були:

- тиск у вакуумному зазорі;
- кількість «Твердих» селективних покриттів з випромінювальною здатністю 0,1;
- вартість.

Коефіцієнт випромінювання скла варіювався (див. рис. 2.3, 2.4): були розраховані варіанти вакуумованого склопакету без селективних покриттів (ε_{c1}, ε_1, ε_2, ε_{c2} = 0,95), з одним «твердим» селективним покриттям з випромінювальною здатністю 0,1 на внутрішній поверхні скла (ε_{c1}, ε_2, ε_{c2} = 0,95; ε_1 = 0,1), з двома селективними покриттями на внутрішніх поверхнях стекол (ε_{c1}, ε_{c2} = 0,95; ε_1, ε_2 = 0,1), з трьома селективними покриттями (ε_{c1}, ε_1, ε_{c2} = 0,95; ε_2 = 0,1) і з чотирма селективними покриттями на всіх поверхнях стекол (ε_{c1}, ε_2, ε_{c2}; ε_1 = 0,1). Перелічені варіанти були розраховані для двох випадків: для приймача без селективного покриття та з селективним покриттям (коефіцієнти випромінювання $\varepsilon_{пр}$ = 0,95 і $\varepsilon_{пр}$ = 0,1; коефіцієнт поглинання приймача сонячного випромінювання в обох випадках $a_{пр}$ = 0,95; тобто в першому випадку селективність приймача $a_{пр}/\varepsilon_{пр}$ = 1, у другому випадку $a_{пр}/\varepsilon_{пр}$ = 9,5).

Інші значення були прийняті наступними: $\tau_{ВСП}$ = 0,80; ε_0 = 1; β = 45 °; $\delta_{заз}$ = 0,0002 м; δ_c = 0,004 м; λ_c = 0,74 Вт / (м·К); $\lambda_{фікс}$ = 0,74 Вт / (м·К); $d_{фікс}$ = 0,0004 м; $s_{фікс}$ = 0,025 м; коефіцієнт теплопровідності теплоізоляції з пінопласту $\lambda_{тепл.із}$ = 0,024 Вт / (м·К) [39]; $\delta_{тепл.із}$ = 0,05 м; коефіцієнт теплопровідності повітря при 80 ° С $\lambda_{пов}$ = 0,0302 Вт / (м·К) [39]; α_0 = 0,81

Created by Universal Document Converter

[44]; γ = 1,4 [47]; $d_м$ = 1,7 · 10^{-10} м [42]; величина повітряного зазору між пластиною і внутрішнім склом вакуумованого склопакету $\delta_{пов}$ = 0,025 м.

На рис. 2.3 і 2.4 представлені результати розрахунків: залежності опору теплопередачі вакуумованого склопакету від тиску розрідженого газу всередині вакуумного зазору і кількості «твердих» селективних покриттів на вакуумованому склопакеті з випромінювальною здатністю ε = 0,1. Як видно з рис. 2.3 і 2.4, до точок перегину, яким відповідає вакуум 10^{-3} мм. рт. ст., спостерігається збільшення опору теплопередачі, а далі воно практично не залежить від тиску.

При наявності одного селективного покриття опір теплопередачі R_t вакуумованого склопакету становить 0,77 м^2·К/Вт, а при наявності селективного покриття на вакуумованого склопакету і на приймачі (рис. 2.4) або двох селективних покриттів на вакуумованому склопакеті (рис. 2.3) - 0,93 м^2·К/Вт.Порогові значення досягаються при вакуумі 10^{-4} мм рт. ст. за наявності одного селективного покриття R_t = м^2·К/Вт, двох селективних покриттів R_t = 1,02 м^2·К/Вт. Нанесення трьох або чотирьох селективних покриттів збільшує опір теплопередачі приблизно до 1,2 м^2·К/Вт.

Слід зазначити, що нанесення селективного покриття на вакуумований склопакет дає набагато більший ефект, ніж нанесення селективного покриття на приймач (вакуумований склопакет при цьому без селективного покриття).

Опір теплопередачі вакуумованого склопакету без селективних покриттів в умовах роботи сонячного колектора не набагато перевищує опір теплопередачі подвійного скління (рис. 2.3), тому нанесення селективного покриття на вакуумований склопакет для прозорої ізоляції сонячного колектора - обов'язкова умова.

Був оцінений внесок вакуумного зазору в опір теплопередачі вакуумованого склопакету. Без селективних покриттів на склі внесок вакуумного зазору в загальний опір теплопередачі становить 17 % при низькому вакуумі (10^{-1} мм рт. ст.), 36 % при вакуумі 10^{-2} мм рт. ст. та 40 % при більш високому вакуумі (10^{-3} - 10^{-5} мм рт. ст.).

Created by Universal Document Converter

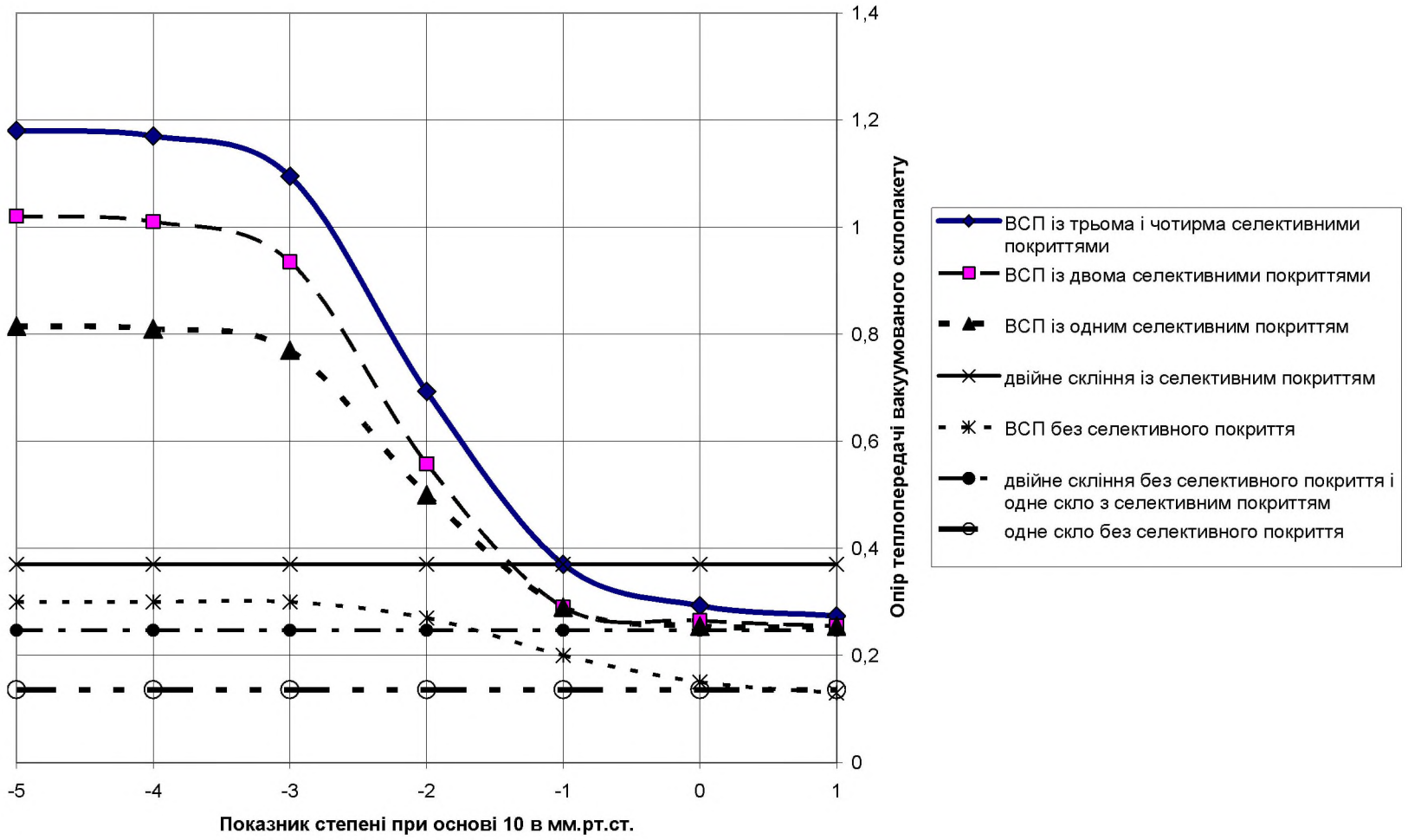


Рис. 2.3. Залежність опору теплопередачі вакуумованого склопакету від тиску розрідженого газу в вакуумному зазорі і коефіцієнта випромінювання поверхонь стекол; коефіцієнт випромінювання приймача $a_{пр}$ = 0,95, $_{пр}$ = 0,95 ($a_{пр}$/ $_{пр}$ = 1)

Created by Universal Document Converter

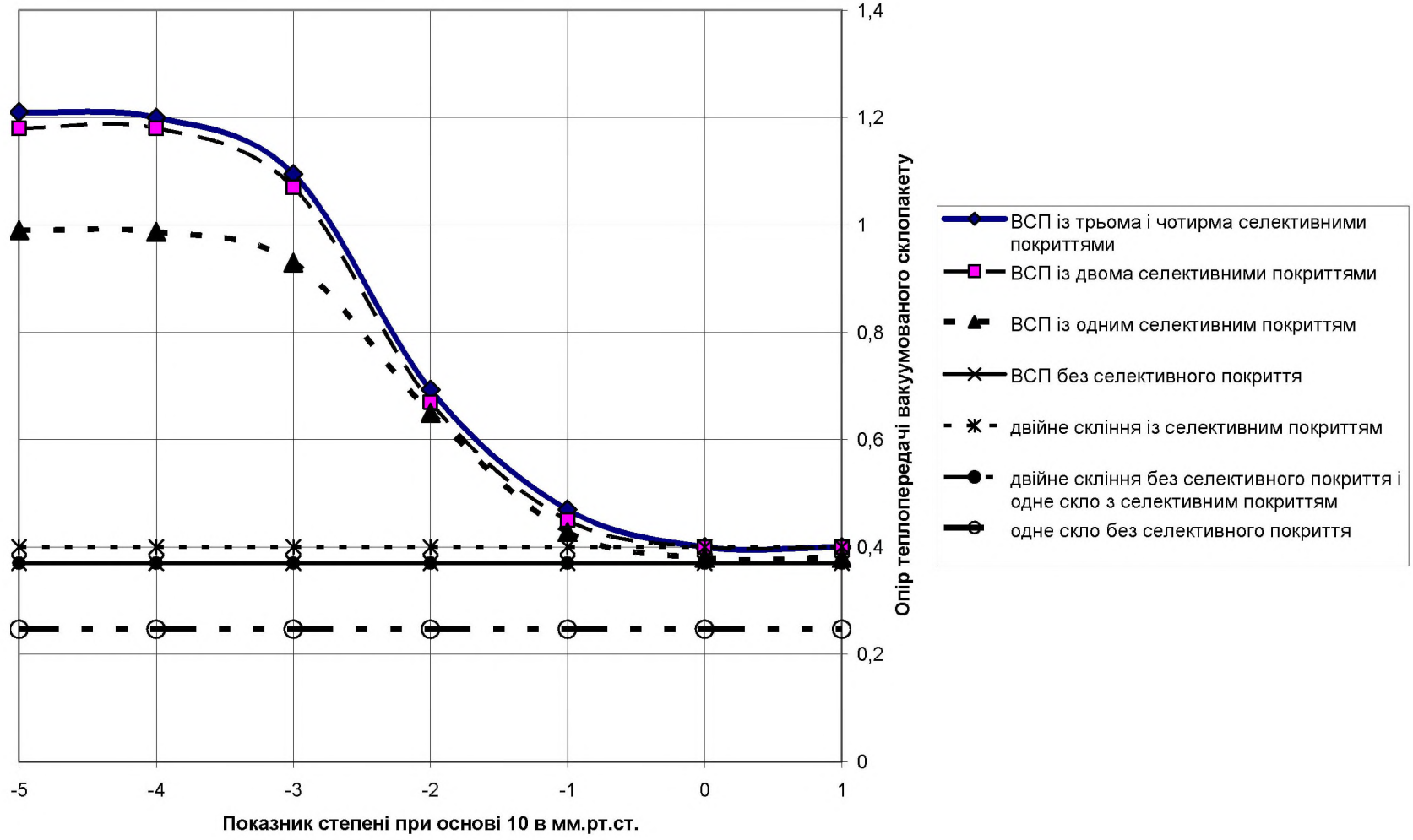


Рис. 2.4. Залежність опору теплопередачі вакуумованого склопакету від тиску розрідженого газу в вакуумному зазорі і коефіцієнта випромінювання поверхонь стекол; коефіцієнт випромінювання приймача $a_{пр} = 0{,}95$, $_{ви}з = 0{,}1$ ($a_{пр}/_{ви}з = 9{,}5$)

Created by Universal Document Converter

При наявності селективних покриттів внесок вакуумного зазору в загальний опір теплопередачі дорівнює ≈ 20 % при вакуумі 10^{-1} мм рт. ст., ≈ 60 % при вакуумі 10^{-2} мм рт. ст. і до 77 % при більш високому вакуумі (10^{-3} - 10^{-5} мм рт. ст.). Це пояснюється тим, що при низькому вакуумі теплопередача через вакуумний зазор здійснюється переважно за рахунок теплопровідності розрідженого газу, і тому внесок вакуумного зазору в загальний опір теплопередачі невеликий; коли при більш високому вакуумі теплопровідність розрідженого газу значно зменшується, внесок вакуумного зазору в загальний опір теплопередачі зростає , а теплопередача здійснюється більшою мірою випромінюванням. Це наочно продемонстровано в табл. 2.1 і 2.2, у яких показаний внесок кожної складової теплопередачі у вакуумному зазорі: теплопровідністю розрідженого газу, випромінюванням і теплопровідністю фіксаторів.

Таблиця 2.1

Складові потоків теплопередачі через вакуумний зазор (Вт/(м^2·К)) у вакуумному склопакеті без селективного покриття

Тепловий потік	Вакуум, мм рт. ст.									
	10^{-1}		10^{-2}		10^{-3}		10^{-4}		10^{-5}	
	Вт/(м^2·К)	%	Вт/(м^2·К)	%	Вт/(м^2·К)	%	Вт/(м^2·К)	%	Вт/(м^2·К)	%
$\frac{\lambda_{заз}}{\delta_{газ}}$	13,04	69,6	1,29	17,6	0,13	2,1	0,013	0,2	0,0013	0,02
$h_{заз}^{випр}$	4,96	26,5	5,28	72,2	5,34	86,0	5,34	87,6	5,34	87,8
$\Lambda_{фікс}$	0,74	3,9	0,74	10,1	0,74	11,9	0,74	12,1	0,74	12,2

Знизити теплові втрати випромінюванням допомагає нанесення селективних покриттів. При цьому внесок вакуумного зазору в загальний опір теплопередачі, як було сказано, зростає до 77 %.

Created by Universal Document Converter

Щоб наочно проілюструвати внесок кожної складової теплопереносу в вакуумному зазорі в вакуумованого склопакету без селективних покриттів і з селективним покриттям, на рис. 2.5 і 2.6 дані табл. 2.1 і 2.2 представлені у вигляді графіків (у відсотках).

Таблиця 2.2

Складові потоків теплопередачі через вакуумний зазор (Вт/(м^2·К)) у вакуумному склопакеті з одним селективним покриттям

Тепловий потік	Вакуум, мм рт. ст.									
	10^{-1}		10^{-2}		10^{-3}		10^{-4}		10^{-5}	
	Вт/(м^2·К)	%	Вт/(м^2·К)	%	Вт/(м^2·К)	%	Вт/(м^2·К)	%	Вт/(м^2·К)	%
$\frac{\lambda_{заз}}{\delta_{газ}}$	13,01	90,6	1,28	47,6	0,13	8,3	0,013	0,9	0,0013	0,09
$h_{заз}^{випр}$	0,61	4,2	0,67	24,9	0,69	44,2	0,69	47,8	0,69	48,2
$\Lambda_{фікс}$	0,74	5,2	0,74	27,5	0,74	47,4	0,74	51,3	0,74	51,7

Як видно з рис. 2.5, теплоперенос випромінюванням через вакуумованого склопакету без селективних покриттів при вакуумі 10 мм рт. ст. Складає близько 88 %, тому нанесення одного селективного покриття на внутрішню поверхню вакуумованого склопакету необхідно. Нанесення двох і більше селективних покриттів значно здорожує сонячний колектор.

Created by Universal Document Converter

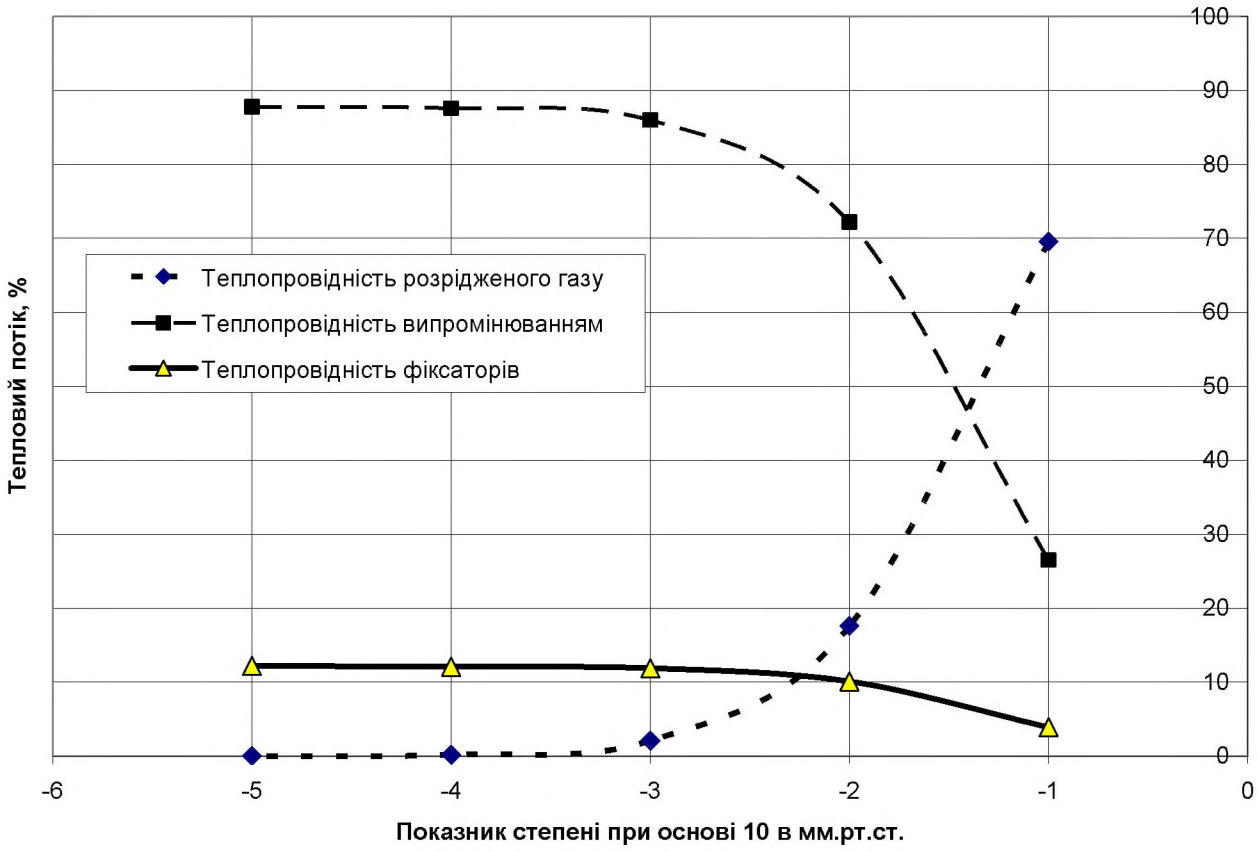


Рис. 2.5. Внесок складових теплопереносу в вакуумному зазорі для вакуумованого склопакету без селективного покриття

Таким чином, найбільш раціональними параметрами вакуумованого склопакету слід визнати вакуум 10^{-3} мм рт. ст. Та одне селективне покриття з випромінювальною здатністю 0,1. При цих параметрах опір теплопередачі вакуумованого склопакету становить 0,77 м·К/Вт, що більше в 3 рази, ніж у одинарного скління з селективним покриттям і в 2 рази більше, ніж у подвійного скління з селективним покриттям.

Розрахунки загального опору теплопередачі вакуумованого склопакету при різних ступенях вакууму, ступеня випромінювання приймача і поверхонь стекол, представлені в табл. 2.3.

Created by Universal Document Converter

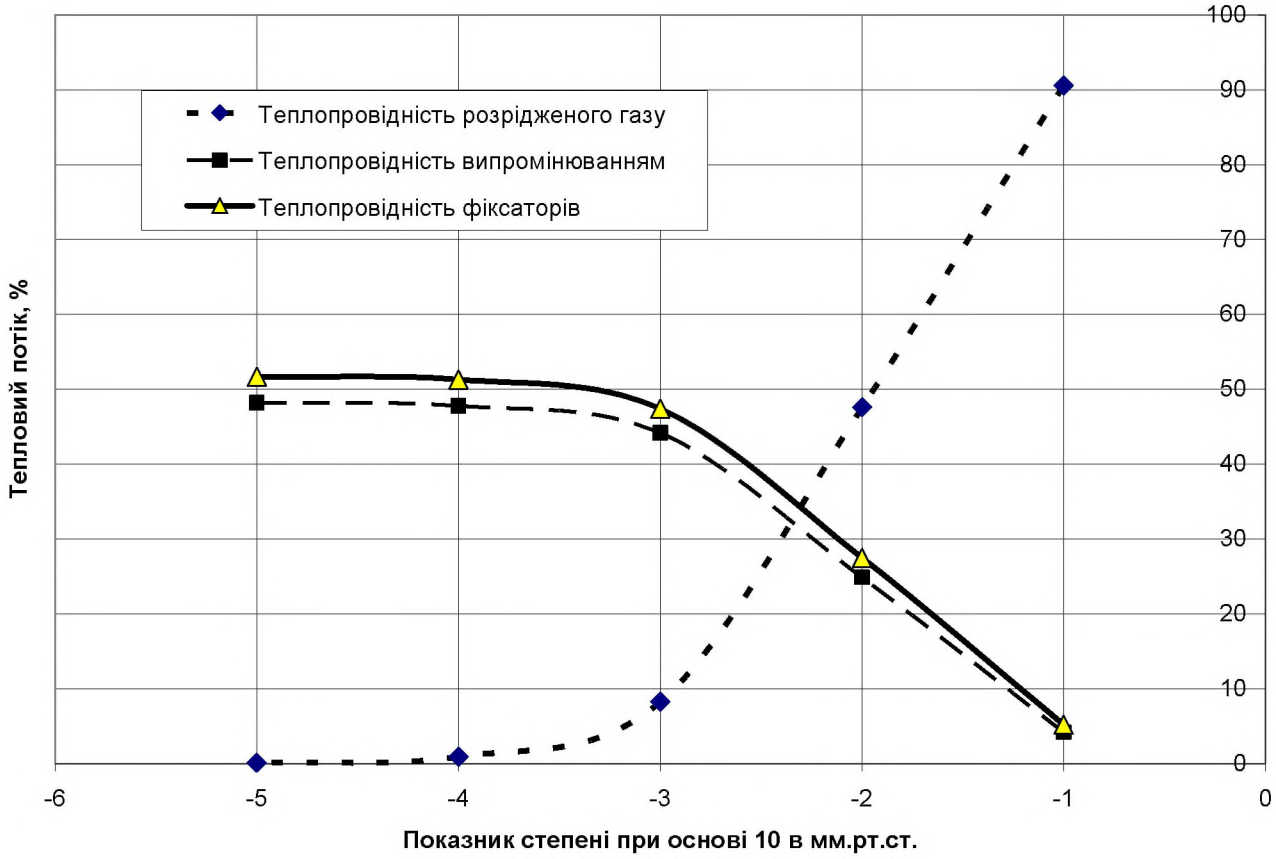


Рис. 2.6. Внесок складових теплопереносу в вакуумному зазорі для вакуумованого склопакету з селективним покриттям

2.3. Розрахунок сонячних колекторів з відбивачами

Відбивачі (концентратори) застосовуються в сонячних колекторах для:

1) зменшення розмірів теплового приймача в порівнянні з плоским сонячним колектором;

2) підвищення температури теплоносія за рахунок концентрованого сонячного випромінювання в порівнянні з плоским сонячним колектором.

У даному підрозділі будуть розглянуті теплові характеристики сонячного колектора з ω-подібними відбивачами, розробленими в ВІЭСХ [48], і його ККД з різними типами світлопрозорих захистних конструкцій.

Created by Universal Document Converter

Таблиця 2.3

Загальний опір теплопередачі R_t різних типів прозорого огородження, $(м^2 \cdot К)/Вт$, при умовах: $t_{пр} = 100$ °С; $t_{ос} = -20$ °С; $h_{с2-ос}^{конв} = 20$ Вт/$(м^2 \cdot К)$

Тип скління	Ступінь випромінювання приймача	Кількість селективних покриттів ($\varepsilon = 0,1$)	Вакуум, мм рт. ст.							
			-	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}
Одне скло	$\varepsilon_{пр} = 0,95$	-	0,13							
		одне	0,24							
Подвійне скління	$\varepsilon_{пр} = 0,95$	-	0,24							
		одне	0,36							
Вакуумний склопакет	$\varepsilon_{пр} = 0,95$	-		0,15	0,15	0,19	0,27	0,29	0,30	0,30
		одне		0,24	0,25	0,21	0,50	0,77	0,82	0,83
		два		0,25	0,26	0,22	0,55	0,93	1, 02	1,03
		три		0,27	0,28	0,34	0,69	1,09	1,17	1,1
Вакуумний склопакет	$\varepsilon_{пр} = 0,1$	-		0,36	0,37	0,33	0,42	0,45	0,46	0,46
		одне		0,38	0,39	0,34	0,64	0,93	0,98	0,99
		два		0,40	0,41	0,34	0,69	1,09	1,17	1,18
		три		0,41	0,42	0,36	0,71	1,11	1,20	1,21

Created by Universal Document Converter

Для стаціонарного стану рівняння теплового балансу сонячного колектора з відбивачами відповідає рівнянню:

$$H \cdot \tau \cdot \eta_{опт} \cdot \theta = q_{пр.із} + q_{тепл.із}, \qquad (2.41)$$

де H - густина сумарної сонячної радіації, Вт/м^2 ;

τ - коефіцієнт пропускання прозорої ізоляції;

$\eta_{опт}$ - оптичний коефіцієнт концентрації системи «Концентратор-приймач»;

θ - коефіцієнт уловлювання сонячного випромінювання;

$q_{пр.із}$ - густина теплового потоку через прозору ізоляцію, Вт/м^2;

$q_{тепл.із}$ - густина теплового потоку через теплоізоляцію, Вт/м^2.

Розрахунок характеристик прозорої ізоляції ведеться аналогічно алгоритму, описаного в розд. 2.1.2, за винятком параметрів, обумовлених наявністю в конструкції сонячного колектора відбивачів (концентраторів), в т.ч. оптичного ККД системи «концентратор-приймач» і геометричного коефіцієнта концентрації. Методи розрахунку даних параметрів наведені далі.

2.4. Графоаналітичний метод розрахунку оптичного ККД системи «концентратор-приймач»

Ефективність роботи сонячної установки, що складається з приймача і концентратора сонячного випромінювання, залежить від їх оптичних властивостей, таких як коефіцієнт відбивання концентратора ρ і коефіцієнт поглинання приймача $\alpha_{пр}$. Сонячні промені можуть відбиватися багаторазово від поверхні концентратора, перш ніж потрапити на приймач,

Created by Universal Document Converter

і водночас розподілятися нерівномірно на тильній стороні приймача. Пропонується використовувати графоаналітичний метод розрахунку оптичного ККД сонячного колектора з відбивачами, що фокусують сонячне випромінювання на приймач.

Розглянемо півтораїдальний концентратор (рис. 2.7), що має в розрізі форму ω, при цьому гілки ω можуть складатися як з одного радіуса (рис. 2.8, а), так і з двох (рис. 2.13, 2.14).



Рис. 2.7. Півтораїдальний концентратор

На рис. 2.8 зображено хід променів як безпосередньо від Сонця, так і від концентратора до приймача, з якого можна виділити три характерних варіанти розташування приймача:

1) приймач розташований таким чином, що його діаметр знаходиться між осями напівкіл, що утворюють профіль концентратора (рис. 2.8 а), тобто діаметр приймача дорівнює половині діаметра апертури;

2) діаметр приймача більше половини діаметра апертури (рис. 2.8 б);

3) діаметр приймача менше половини діаметра апертури (рис. 2.8 в).

Created by Universal Document Converter

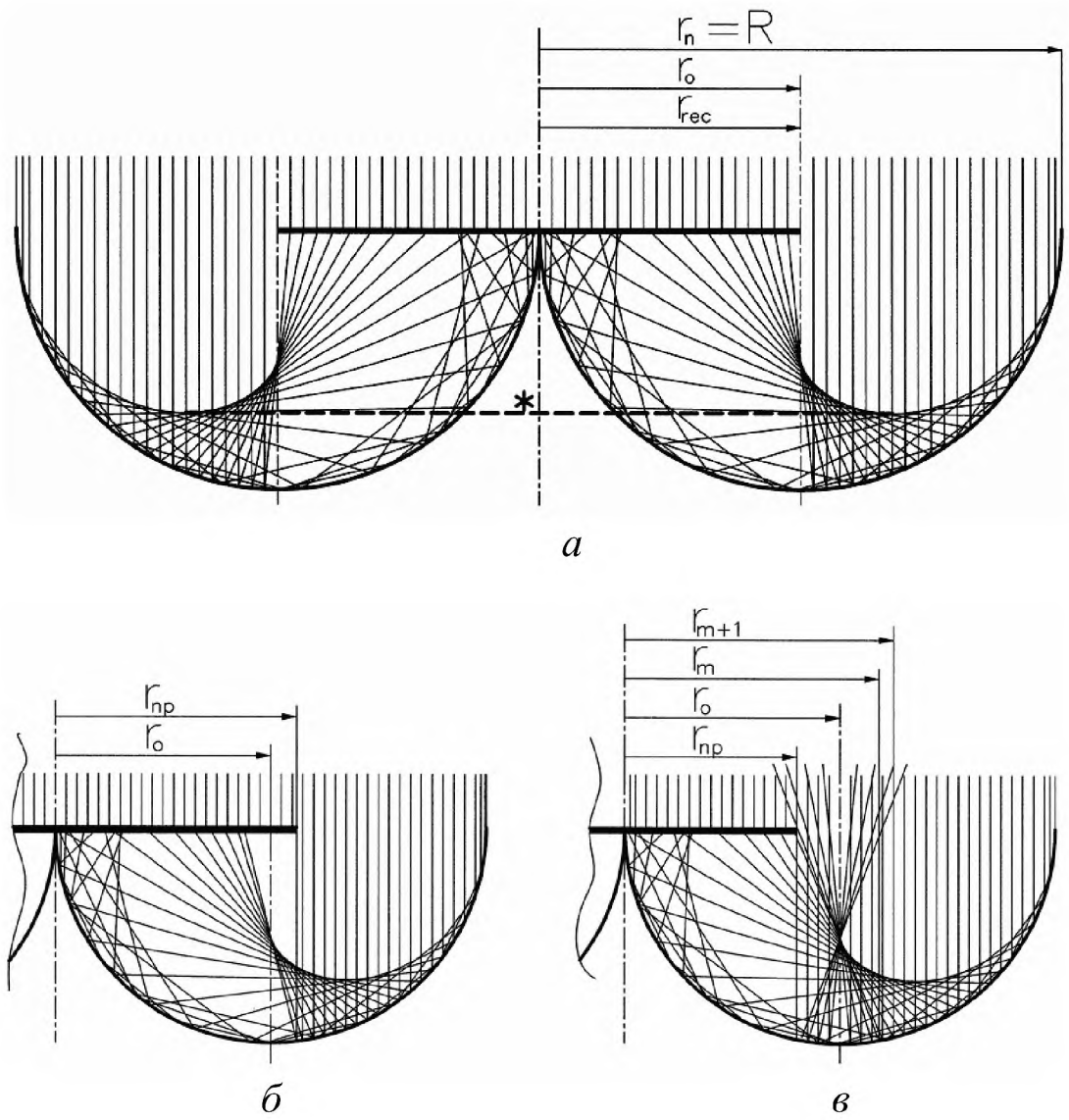


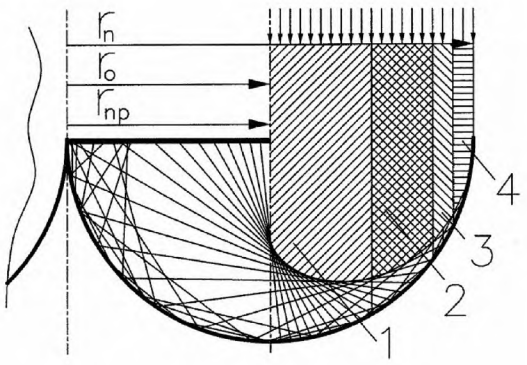
Рис. 2.8. Варіанти розмірів приймача по відношенню до сонячного концентратора і хід променів

У першому варіанті приймач повністю опромінюється відбитим випромінюванням з боку, зверненого до концентратора, і безпосередньо Сонцем - з лицьового боку. У другому варіанті частина приймача з тильної сторони не опромінюється, а в третьому - частина відбитого променевого потоку не потрапляє на приймач. Характерним для всіх трьох розташувань приймачів є нерівномірність освітленості тильного боку. Очевидно, що застосовувати приймач по 3-му варіанту недоцільно, оскільки втрачається

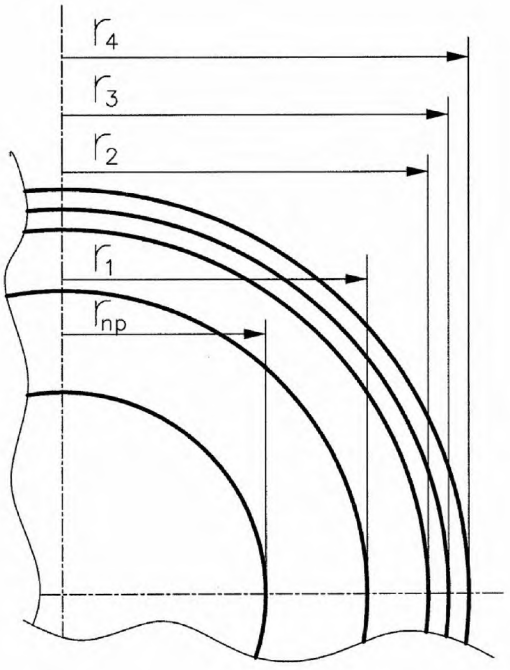
Created by Universal Document Converter

сама продуктивна частина відбитого випромінювання, тобто після одноразового відбиття.

Відбиті промені розподіляються за кількістю відбивань від концентратора на одно-, дво-... і багаторазово відбиті (рис. 2.9). Ці зони у вигляді концентричних кілець зображені на рис. 2.9 б: одноразово відбиті промені розташовуються поряд з віссю півкола, далі йдуть дворазові, триразові і т.д.



а



б

Рис. 2.9. Зони променів, розподілені за кількістю відбивань: а) радіальний розріз, б) вигляд зверху

Created by Universal Document Converter

Нехай за кількістю з відбивань концентратор розбитий на n зон, у кожній з яких будуть перебувати промені з однаковою кількістю відбивань від концентратора. Тоді в периферійному кільці будуть знаходитися промені, які після i-кратного відбиття потраплять на тильну сторону приймача і доставлять туди потік:

$$Q_n = q \cdot \pi\left(r_n^2 - r_{n-1}^2\right)\rho^n, \qquad (2.42)$$

де q - густина потоку прямої сонячної радіації, Вт/м^2 ;

$r_n = R_{an}$ - радіус великого кола концентратора (апертури);

r_{n-1}- внутрішній радіус периферійного кільця і зовнішній радіус наступного за ним кільця;

ρ^n - коефіцієнт відбиття концентратора в степені n.

У другій, (n - 1)-ій від периферії, зоні потік буде дорівнювати:

$$Q_{n-1} = q \cdot \pi\left(r_{n-1}^2 - r_{n-2}^2\right)\rho^{n-1}, \qquad (2.43)$$

і т.д.

Тоді для повного потоку, що потрапляє на обидві сторони приймача (тобто за умови r $r_{пр} < r < R_{an}$ і $r_{пр} = r_0$):

$$Q = \alpha_{пр} q \cdot \pi\left[\left(r_n^2 - r_{n-1}^2\right)\rho^n + \left(r_{n-1}^2 - r_{n-2}^2\right)\rho^{n-1} \ldots + \left(r_1^2 - r_0^2\right)\rho^1 + \delta_0 r_{пр}^2 \rho^0\right], \qquad (2.44)$$

де $\alpha_{пр}$ - коефіцієнт поглинання сонячної радіації приймачем;

r_0 - радіус до осі півкола;

$r_{пр}$ - радіус приймача;

$r_{пр}^2 \rho^0 = r_{пр}^2$ - доданок, що враховує потік, падаючий на лицьову сторону приймача;

Created by Universal Document Converter

$\delta_0 > 1$ - коефіцієнт, що враховує розсіяну радіацію, падаючу на лицьову сторону приймача.

У варіанті 2 розташування приймача, коли діаметр приймача більше r_0, формула (2.44) має той же вигляд при обмеженні $r_{пр} < r < R_{an}$ і $r_{пр} > r_0$.

У варіанті 3 розташування приймача, коли діаметр приймача менше $2r_0$, формула (2.44) приймає вигляд:

$$Q = \alpha_{пр} q \cdot \pi \left[\left(r_n^2 - r_{n-1}^2 \right) \rho^n + \left(r_{n-1}^2 - r_{n-2}^2 \right) \rho^{n-1} \ldots + \left(r_{m+1}^2 - r_m^2 \right) \rho^m + \delta_0 r_{пр}^2 \right], \qquad (2.45)$$

де m - кількість відбивань в кільці $\left(r_{m+1}^2 - r_m^2 \right)$, що не потрапляють на тильну сторону приймача.

При виконанні умов: $r_{пр} < r_0$ $r_{пр} < r < R$ і $r_m \geq r_0$, тобто починаючи з радіуса r_m відбиті промені не потрапляють на приймач.

Для сонячного колектора з лінійними ω-подібними відбивачами (рис. 2.13, 2.14), аналогічно (2.42) і (2.43), потоки периферійної зони і наступної за нею будуть рівні:

$$Q_n = 2 \cdot L_k \cdot q_k \cdot \pi \left(r_n - r_{n-1} \right) \rho^n, \qquad (2.46, а)$$

$$Q_{n-1} = 2 \cdot L_k \cdot q_k \cdot \pi \left(r_{n-1} - r_{n-2} \right) \rho^n, \qquad (2.46, б)$$

де L_k - довжина концентратора, м;

r_n - половина ширини лінійного ω-подібного відбивача, м (див. рис. 2.9). Тоді повний потік, падаючий на приймач, складе:

$$Q = \alpha_{пр} 2 \cdot L_k \cdot q_k \cdot \pi \left[\left(r_n - r_{n-1} \right) \rho^n + \left(r_{n-1} - r_{n-2} \right) \rho^{n-1} \ldots + \left(r_1 - r_0 \right) \rho^1 + \delta r_{пр} \rho^0 \right] \qquad (2.47)$$

У варіанті 3 розташування приймача:

Created by Universal Document Converter

$$Q = \alpha_{пр} 2 \cdot L_k \cdot q_k \cdot \pi \left[\left(r_n - r_{n-1} \right) \rho^n + \left(r_{n-1} - r_{n-2} \right) \rho^{n-1} \ldots + \left(r_{m+1} - r_m \right) \rho^m + \delta_0 r_{пр} \right] \quad (2.47а)$$

Оптичний ККД $\eta_{опт}$ системи« концентратор - приймач » визначається як

$$\eta_{опт} = \frac{Q}{\delta_0 \cdot q \cdot A_{ап}} \quad (2.48)$$

де $A_{ап}$ - площа апертури відбивача.

Якщо встановлювати приймач нижче площини апертури так, щоб його краї закінчувалися на огинаючій кривій, утвореної перетином променів, особливо на мінімумі огинаючої кривої (рис. 2.8, а), зменшиться кількість відбивань периферійних променів, і, отже, збільшиться оптичний ККД сонячного колектора з відбивачами.

2.5. Метод розрахунку коефіцієнта концентрації по балансу променистих потоків

Геометричний коефіцієнт концентрації К у багатьох випадках визначається як відношення ефективної площі апертури до площі поверхні приймача сонячної енергії [39], тобто

$$K = \frac{A_{ап}^{еф}}{A_{пр}} \quad (2.49)$$

де $A_{ап}^{еф}$ - площа проекції незатіненої частини відбивача.

Рідше використовується ***потоковий коефіцієнт концентрації***, який розраховується як відношення середньої густини сконцентрованого потоку на приймачі до густини потоку сонячної радіації на апертурі концентратора

Created by Universal Document Converter

[39]. Зазвичай потік сконцентрованого сонячного випромінювання розподілений нерівномірно по поверхні приймача, тому часто розрахунок потокового коефіцієнта концентрації представляється скрутним.

Геометричний коефіцієнт концентрації є досить умовною характеристикою, особливо при незначних концентраціях, коли розміри приймача порівнянні з розмірами апертури, і деяка частина сонячного випромінювання падає на приймач в неконцентрованому вигляді, інша частина - концентрується, а потім падає на приймач, можливий і змішаний потік. Тим не менш, в літературі геометричний коефіцієнт концентрації використовується для розрахунків енергетичних параметрів, наприклад, оптичної ефективності фотоелектричних систем з асиметричними відбивачами [49], при цьому геометричний коефіцієнт концентрації визначається як відношення лінійних розмірів апертури і приймача.

Пропонується розраховувати коефіцієнт концентрації по балансу променистих потоків, що приходять на апертуру концентратора $Q_{ап}$ і на приймач сонячного випромінювання $Q_{пр}$ [50].

Розглянемо, систему «концентратор - приймач» (рис. 2.10), яка опромінюється тільки прямою сонячною радіацією при наступних умовах:

- сонячне випромінювання у вигляді паралельного потоку променів $Q_{ап}$ густиною q падає нормально до площини апертури концентратора;
- частина сонячного випромінювання $Q_{ф}$ безпосередньо поглинається оберненою до потоку, фронтальною, поверхнею приймача, інша частина $Q_{тил}$ концентрується, а потім поглинається тильною поверхнею приймача;
- коефіцієнт відбиття ідеального концентратора ρ = 1, коефіцієнт поглинання приймача $\alpha_{пр}$ = 1, коефіцієнт теплопровідності матеріалу приймача $\lambda_{пр} = \infty$.

Created by Universal Document Converter

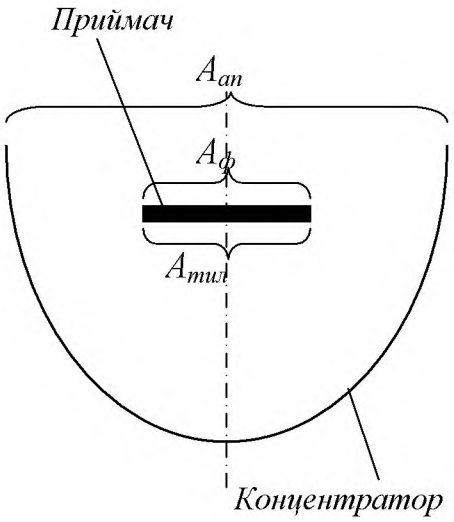


Рис. 2.10. До виводу формули коефіцієнта концентрації сонячної установки

При цих умовах $Q_{ап} = Q_{пр}$ і рівняння балансу променевих потоків можна записати у вигляді:

$$Q_{ап} = Q_ф + Q_{тил}, \tag{2.50}$$

де

$$Q_{ап} = \iint_{A_{ап}} q \cdot d\sigma_0, \tag{2.51}$$

$$Q_ф = \iint_{A_ф} q \cdot d\sigma_0, \tag{2.52}$$

$$Q_{тил} = \iint_{A_{тил}} K' \cdot q \cdot d\sigma_0, \tag{2.53}$$

де $A_{ап}$, $A_ф$ і $A_{тил}$ - площі апертури, фронтальної і тильної сторін приймача відповідно;

K'- коефіцієнт концентрації потоку, що приходить безпосередньо від відбиваючої поверхні на приймач;

$d\sigma_0$ - диференціал незалежної змінної - елементарної площадки σ_0 відповідних поверхонь.

Беручи $q = const$, $K' = const$, одержимо з (2.50) - (2.53):

Created by Universal Document Converter

$$A_{ап} = A_{ф} + K' \cdot A_{тил}, \tag{2.54}$$

звідки коефіцієнт концентрації:

$$K' = \frac{A_{ап} - A_{ф}}{A_{тил}}, \tag{2.55}$$

Для порівняння з (2.49) визначимо ефективну площу апертури як

$$A_{ап}^{еф} = A_{ап} - A_{ф}, \tag{2.56}$$

тоді коефіцієнт концентрації за [39] буде:

$$K = \frac{A_{ап} - A_{ф}}{A_{пр}}, \tag{2.57}$$

і, отже, відрізняється від K' з (2.55) тільки знаменником ($A_{пр}$ - площа приймача, рівна $A_{пр} = A_{ф} + A_{тил}$).

Розглянемо сонячний колектор з ω-подібним відбивачем. На верхню частину теплового приймача падає неконцентроване сонячне випромінювання $q_1 = q$ і на нижню частину - концентроване сонячне випромінювання $q_2 = K'q$ (рис. 2.11).

Рівняння балансу потоків випромінювання в цьому випадку виглядає так:

$$q \cdot D \cdot L = q \cdot dL + K' \cdot q \cdot dL, \tag{2.58}$$

де D - ширина концентратора, м;

d - ширина приймача, м.

Отже, коефіцієнт концентрації дорівнює:

$$K' = \frac{D}{d} - 1, \tag{2.59}$$

Created by Universal Document Converter

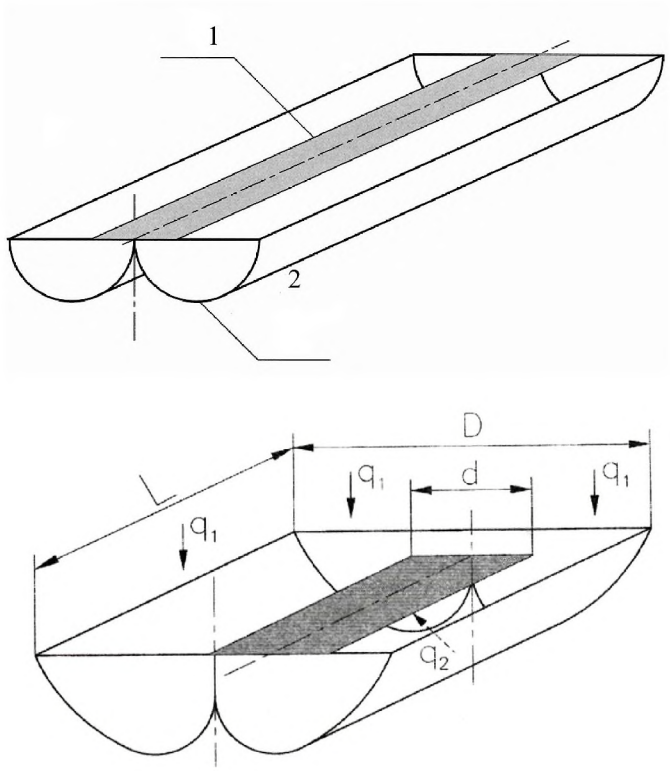


Рис. 2.11. Сонячний модуль з ω-подібним концентратором і тепловим приймачем

Підкреслимо, що K' відноситься тільки до внеску потоку від концентратора в сумарний потік на приймачі, як це і випливає з рівняння (2.59).

У граничних випадках при $d \to 0$, $K' \to \infty$, а при $d \to D$, $K' \to 0$. Фізично це означає, що в першому випадку промені концентруються в точку, а в другому - концентрація з тильної сторони відсутня, а з фронтальної дорівнює одиниці.

Далі наведемо приклад розрахунку коефіцієнта концентрації для сонячного модуля з параболоциліндричним концентратором, приймач якого розташований уздовж осі перпендикулярно апертурі концентратора (рис.2.12).

В цьому випадку баланс потоків виглядає наступним чином:

$$q \cdot D \cdot L = K' \cdot q \cdot dL + K' \cdot q \cdot dL, \qquad (2.60)$$

Created by Universal Document Converter

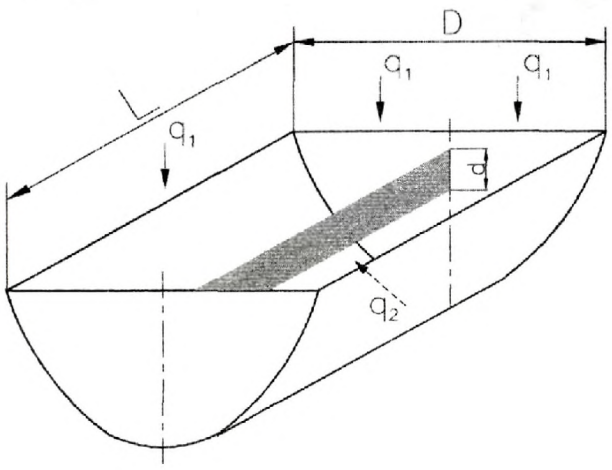


Рис. 2.12. Сонячний модуль з параболоциліндричним концентратором і тепловим приймачем

звідки коефіцієнт концентрації:

$$K' = \frac{D}{2d}, \tag{2.61}$$

що збігається з визначенням по [39]:

$$K = \frac{D-0}{2d} = \frac{D}{2d}, \tag{2.62}$$

У даному варіанті при $d \to 0$, $K \to \infty$, а якщо $d \to D$, $K \to 1/2$.

2.6. Розрахунок енергетичних характеристик сонячного колектора з ω-подібними відбивачами

2.6.1. Геометричні параметри ω-подібного відбивача

На рис. 2.13 показаний профіль ω-подібного концентратора [51].

Відбиваюча поверхня концентратора складається з двох сполучених радіусів r і R, при цьому

$$R = r + \frac{r}{\sin\beta}, \tag{2.63}$$

Created by Universal Document Converter

де β - кут між площиною, в якій розташовані центри кіл радіусами r і R, і нормаллю до площини АВ, тобто площини, яка поглинає сонячне випромінювання. Оптимальний апертурний кут $\beta = 27{,}5\ °$ [51].

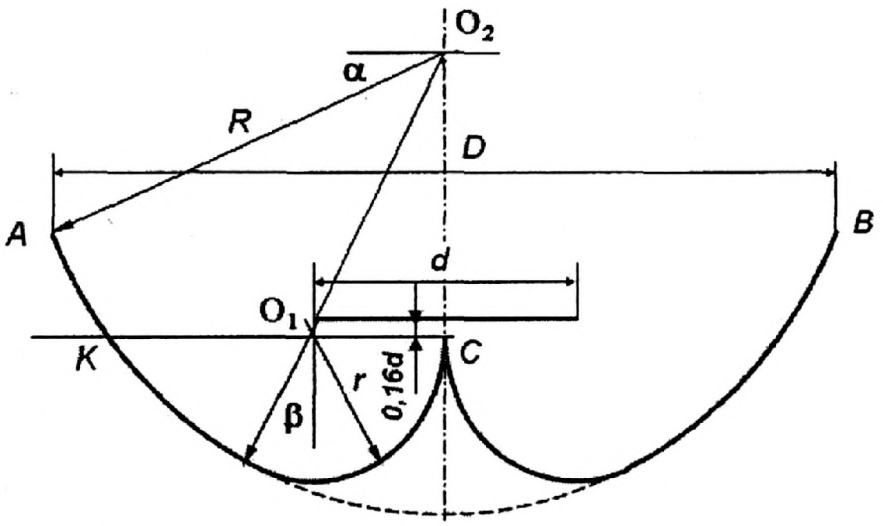


Рис. 2.13. Принцип побудови ω-подібного концентратора

2.6.2. Розрахунок оптичного ККД і коефіцієнта концентрації теплового модуля з ω-подібними відбивачами

Розглянемо розрахунковий варіант для ω-подібного концентратора, який має наступні розміри: $2r_{ап} = 300$ мм, $2r_{пр} = 100$ мм. Користуючись графоаналітичним методом, описаним вище, розбиваємо відбиваючу поверхню концентратора на кілька зон (див. рис. 2.9). На рис. 2.14 показані радіуси цих зон в ω-подібному концентраторі при нормальному падінні променів: $r_0 = r_{пр} = 50$ мм, $r_1 = 97$ мм, $r_2 = 147$ мм, $r_3 = r_п = 150$ мм. У зоні шириною $(r_1 - r_0)$ промені відбиваються одноразово перед падінням на приймач з тильного боку, в зоні шириною $(r_2 - r_1)$ - двократно, в зоні шириною $(r_3 - r_2)$ - трикратно. Беручи $\alpha = 0{,}9$; $\delta_0 = 1{,}25$; $\rho = 0{,}9$, з (2.47)

Created by Universal Document Converter

отримаємо потік Q = 1,41q, а оптичний ККД сонячного колектора з ω-подібним відбивачами складе:

$$\eta_{опт} = \frac{1{,}41 \cdot q}{1{,}25 \cdot 1{,}7 \cdot q} = 0{,}66$$

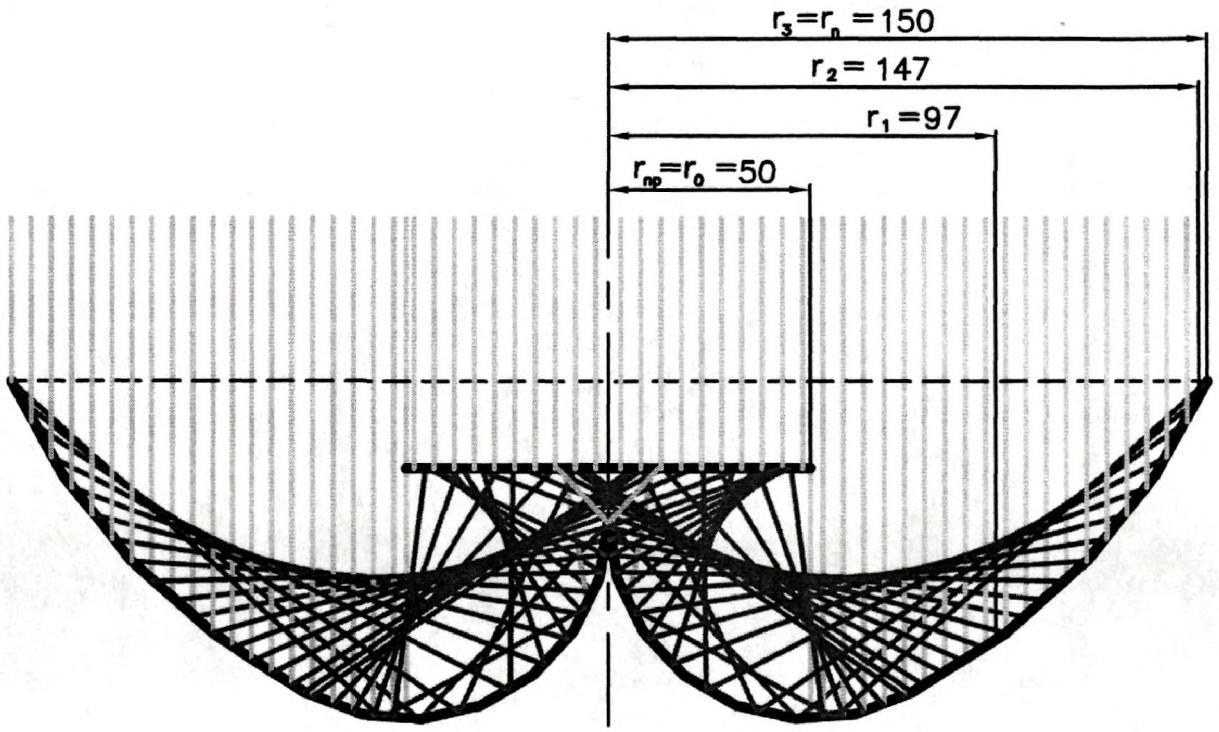


Рис. 2.14. До розрахунку оптичного ККД ω-подібного концентратора:

Залежність оптичного ККД від відношення діаметрів приймача і апертури концентратора показана на рис. 2.15, з якого випливає, що максимальний оптичний ККД виходить при площі приймача, рівний площі апертури. На цьому ж малюнку показана залежність оптичного ККД від коефіцієнта відбиття ρ.

Геометричний коефіцієнт концентрації теплового модуля з ω-подібними відбивачами, розрахований за формулою (2.49):

$$K = \frac{A_{ап}^{еф}}{A_{пр}} = \frac{D \cdot L}{d \cdot L} = \frac{D}{d} = 3,$$

де d = 0,1 м, D = 0,3 м (див. рис. 2.13).

Created by Universal Document Converter

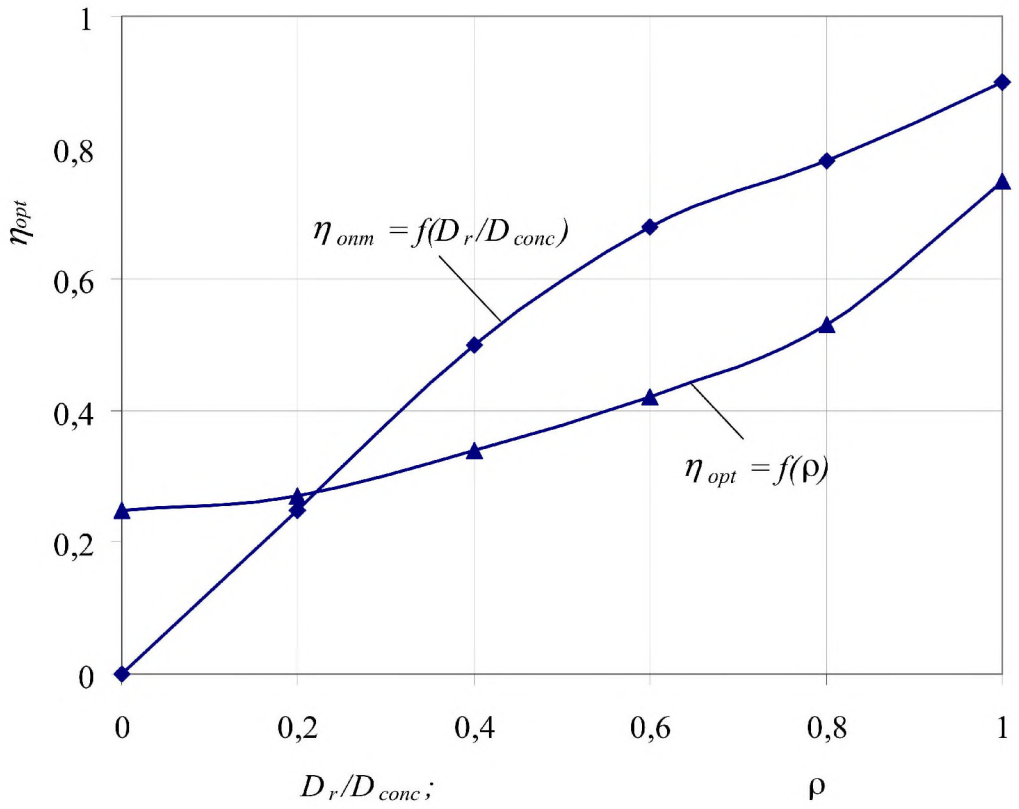


Рис. 2.15. Залежність оптичного ККД $\eta_{опт}$ від співвідношення діаметрів приймача і концентратора D_r / D_{conc} і коефіцієнта відбиття ρ

Коефіцієнт концентрації, розрахований за балансом променевих потоків (2.59), складе:

$$K' = \frac{D}{d} - 1 = \frac{0,3}{0,1} - 1 = 2.$$

2.7. Визначення ексергії сонячного колектора з ω-подібними відбивачами

Ексергія - це властивість термодинамічної системи або потоку енергії, обумовлена кількістю роботи, яка може бути отримана зовнішнім приймачем енергії при оборотному їх взаємодії з навколишнім середовищем до встановлення повного рівноваги [52].

Created by Universal Document Converter

Ексергія характеризує енергію будь-якого виду не тільки по її кількості, але і дає можливість кількісно оцінити її якісний бік.

Ексергія визначає перетворюваність, придатність енергії для технічного використання в будь-яких заданих умовах.

У приймачах сонячного випромінювання здійснюється передача ексергії сонячної радіації теплоносію, але для аналізу ефективності цього процесу достатньо знати ексергію не випромінюючого тіла (Сонця), а ексергію сонячної радіації $e_{рад}$, що досягає поверхні сонячного колектора.

Шаргут і Петель [53] запропонували визначати густину потоків ексергії сонячної радіації $e_{випр}$ за формулою:

$$e_{випр} = \phi_e q_{випр}, \tag{2.64}$$

де

$$\phi_e = \frac{e_{випр}}{q_{випр}} = 1 - \frac{1}{3}\frac{T_0}{T_c}\left[4 - \left(\frac{T_0}{T_c}\right)^3\right], \tag{2.65}$$

являє собою відношення густин потоків ексергії $e_{випр}$ і енергії $q_{випр}$ сонячної радіації, що досягає поверхні приймача, Дж;

T_0 - абсолютна температура навколишнього середовища, К;

T_c - абсолютна ефективна температура поверхні фотосфери Сонця, К. Згідно [52] при T_0 = 300 К, ϕ_e = 0,933.

Ексергетична ефективність η_e в плоских і концентруючих сонячних колекторах визначається як відношення ексергії e, отриманої теплоносієм від сонячного випромінювання, до ексергії сонячного випромінювання:

$$\eta_e = \frac{e}{e_{випр}}, \tag{2.66}$$

де ексергія теплоносія e визначається для стаціонарних умов як:

Created by Universal Document Converter

$$e = q_{випр}\left(\frac{T_{ср} - T_{ос}}{T_{ср}}\right), \qquad (2.67)$$

де $T_{ср}$ - середня температура теплоносія. Її можна визначити як средньологарифмічну температуру:

$$T_{ср} = \frac{T_{вих} - T_{вх}}{\ln \frac{T_{вих}}{T_{вх}}}, \qquad (2.68)$$

або як середньоарифметичну температуру:

$$T_{ср} = \frac{1}{2}\left(T_{вих} + T_{вх}\right), \qquad (2.69)$$

Після підставлення вхідних даних у формули (2.64-2.69) виявилося, що ексергетична ефективність, розрахована за 5 годин роботи сонячного колектора з ω-подібними відбивачами і подвійним склінням, склала 3,74 %, а з прозорою ізоляцією із вакуумними склопакетами 5,55 %.

2.8. Висновки до розділу

1. Запропоновано заходи для удосконалення методики визначення теплотехнічних характеристик сонячних колекторів з вакуумованих склопакетами, що включає розрахунково-експериментальний метод визначення тиску всередині вакуумного зазору.

2. Проведено розрахунок оптимальних характеристик вакуумованого склопакету. З якого виходить, що для того щоб опір теплопередачі вакуумованого склопакету перевищувало опір теплопередачі одинарного і подвійного засклень з селективним покриттям, необхідно нанесення одного селективного покриття з випромінювальною здатністю 0,1 на внутрішню поверхню скла вакуумованого склопакету і створення вакууму не нижче 10^{-3} мм рт. тт. При цих значеннях опір теплопередачі вакуумованого

Created by Universal Document Converter

склопакету складе 0,77 ($м^2 \cdot К$)/Вт, що більше ніж у одного скла з селективним покриттям в 3 рази, ніж у подвійного скла з селективним покриттям в 2 рази.

3. На основі графоаналітичного методу розрахунку оптичного ККД сонячного колектора з відбивачем, встановлено, що оптичний ККД сонячного колектора з ω-подібними відбивачами складає 0,66.

4. На основі методу розрахунку коефіцієнта концентрації по балансу променистих потоків, встановлено, що коефіцієнт концентрації сонячного колектора з ω-подібними відбивачами складає 2.

Created by Universal Document Converter

РОЗДІЛ 3.
СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1. Використання редактора формул у MS Word для виконання роботи магістра

За допомогою редактора формул можна створювати складні формули, обираючи символи з панелі інструментів і вводячи змінні та числа. При створенні формул розмір шрифтів, інтервали і формати регулюються автоматично. Змінювати форматування можна й у процесі роботи.

Щоб викликати редактор формул і набрати в тексті документа математичний вираз потрібно [54]:

- встановити текстовий курсор у ту позицію, у якій повинен знаходитися перший символ виразу;

- виконати команду *Объект* меню *Вставка*;

- у діалоговому вікні *Вставка объекта*, що з'явилося, в списку *Тип объекта*: вибрати значення *Microsoft Equation* і клацнути *Ок*.

На екрані з'явиться панель *Формула і рамка* з курсором, положення якого вказує, де з'явиться набраний символ.

Використання символів із панелі інструментів і шаблонів.

У верхньому ряду панелі інструментів редактора формул розташовані кнопки для вставки у формулу більш як 150 математичних символів, велика частина яких недоступна в стандартному шрифті *Symbol*. Символом називається знак типу логічних символів, символів теорії множин і грецьких букв. Для вставки символа у формулу потрібно натиснути кнопку у верхньому ряду панелі інструментів, а потім вибратиь потрібний символ із палітри, що з'являється під кнопкою.

Created by Universal Document Converter

У нижньому ряду панелі інструментів редактора формул розташовані кнопки, призначені для вставки шаблонів або структур, що включають символи типу дробів, радикалів, сум, інтегралів, добутків, матриць або різноманітних дужок чи відповідних пар символів типу круглих і квадратних дужок. Багато шаблонів містять спеціальні поля, які призначені для набору тексту і вставки символів. У редакторі формул є приблизно 120 шаблонів, згрупованих у палітри. Шаблони можна вкладати один в інший для побудови багатоступінчастих формул.

Для створення формули необхідно виконати такі дії:

- натиснути кнопку символа або шаблона на панелі інструментів редактора формул. Під кнопкою з'явиться палітра символів або шаблонів;

- вибрати символ або шаблон, що треба додати у формулу;

- після створення формули встановити покажчик поза вікном формули і натиснути кнопку миші для повернення в документ;

Для видалення елементів формули використовуйте одну з таких дій:

- для видалення символу або букви зліва від курсора натисніть клавішу BACKSPACE;

- для видалення символу або букви справа від курсора натисніть клавішу DEL;

- для видалення вмісту поля виділите вміст поля і натисніть клавішу DEL.

Деякі поля можна видалити тільки разом з їхніми шаблонами. Наприклад,

- не можна видалити підінтегральний вираз, не знищивши сам інтеграл.

Для видалення виділеного фрагмента виконайте одну з таких дій:

- натисніть клавішу DEL;

- виберіть команду Очистить в меню Правка;

- почніть набір нових символів поверх виділеного фрагмента;

Created by Universal Document Converter

- відразу ж після видалення елемента виберіть команду Отменить ввод в меню Правка.

Для відкриття вікна редактора формул необхідно встановити покажчик на потрібну формулу і двічі натиснути ліву кнопку миші. На екрані з'явиться панель інструментів редактора формул і рядок меню додатку буде тимчасово замінений рядком меню редактора формул. Після цього можна внести необхідні зміни, а також додати, змінити або видалити елементи формули. Також можна змінити розмір, стиль або форматування тексту, змінити інтервали і розташування елементів. Після закінчення роботи встановити покажчик поза вікном формули і натиснути кнопку миші для повернення в документ.

Введення тексту у формулу.

Для написання коротких нематематичних фраз необхідно використовувати режим стилю «Текст». У цьому режимі символи алфавіту відформатовані як звичайний текст і можна використовувати клавішу ПРОБІЛ для створення інтервалів між словами:

- встановіть курсор туди, відкіля треба почати вводити текст;
- виберіть команду Текст у меню Стиль;
- введіть текст.
- щоб повернутися до стилю «Математический» виберіть команду Математический у меню Стиль.

Існує можливість застосовувати форматування символів і шрифти, не властиві жодному стилю редактора формул, за допомогою команди Другой (меню Стиль):

- виділіть текст, що треба форматувати;
- виберіть команду Другой у меню Стиль;
- виберіть потрібний шрифт із списку; .
- щоб надати тексту курсивного або полужирного накреслення, встановіть прапорець Курсив або Полужирный у групі Начертание;

Created by Universal Document Converter

- натисніть кнопку OK.

3.2. Команди меню редактора формул

Команди меню Файл дозволяють розмістити й обновити формули в документі, а також завершити роботу з редактором формул [54]:

Обновить - обновлення формули в документі без закриття вікна редактора формул.

Выход и возврат в документ - закриття всіх вікон редактора формул, завершення роботи з ним і обновлення формули в документі (якщо в неї були внесені зміни).

Меню Правка містить команди, призначені для зміни формул. За допомогою цих команд можна переміщати або копіювати елементи формул, використовуючи буфер обміну:

Отменить - скасування останньої виконаної дії. Якщо останньою операцією було скасування, вибір цієї команди призводить до відновлення скасованої дії. Якщо скасування операції неможливе, команда в меню стає недоступною.

Вырезать- видалення виділених елементів формули з занесенням у буфер обміну. Старий вміст буфера обміну губиться і не відновлюється навіть після скасування команди Вырезать.

Копировать - копіювання виділених елементів формули в буфер обміну. Старий вміст буфера обміну губиться і не відновлюється навіть після скасування команди Копировать.

Вставить - вставка вмісту буфера обміну у формулу в позицію курсора або замість виділеного фрагмента. Якщо буфер обміну містить що-небудь, крім формули, на екрані з'явиться повідомлення про помилку.

Created by Universal Document Converter

Очистить - знищення виділених елементів формули без занесення в буфер обміну. Вміст буфера обміну не змінюється при виконанні цієї команди.

Выделить все - виділення усієї формули, у тому числі її елементів, що знаходяться за межами вікна. Цю команду зручно використовувати для копіювання формули в буфер обміну.

Меню Вид містить команди, що визначають вид вікна редактора формул і формули , що знаходиться в ньому:

100% - відображення в поточному вікні формули такого розміру, який вона буде мати в документі або при виведенні на принтер.

200% - відображення формули вдвічі більшою за звичайний розмір. Команда не впливає на розмір формули в документі.

400% - відображення формули в чотири рази більшою за звичайний розмір. Корисна при перегляді дрібних символів або при точному регулюванні інтервалів і розмірів. Команда не впливає на розмір формули в документі.

Масштаб - керування відображенням формули в поточному вікні. Масштаб доцільно збільшувати для перегляду частин формули або зменшувати для перегляду всієї формули.

Панель инструментов - відобразити або заховати панель інструментів редактора формул.

Обновить - обновлення формули в поточному вікні із збереженням поточного масштабу.

Показать все - вмикання і вимикання відображення деяких спеціальних символів на екрані, включаючи символи табуляції та точні проміжки.

Меню Формат призначене для контролю над розташуванням формули і її елементів. Перші п'ять команд відповідають за горизонтальне вирівнювання елементів у стовпцях і матрицях. Для використання команд вирівнювання курсор або виділений фрагмент повинен бути розташовуваний

Created by Universal Document Converter

у стовпці або матриці. Для вирівнювання стовпчиків матриці використовується команда Матрица.

По левому краю - переміщення рядків по горизонталі для їх вирівнювання по крайньому лівому символу.

По центру - переміщення рядків по горизонталі для вирівнювання їх центрів.

По правому краю - переміщення рядків по горизонталі для їх вирівнювання по крайньому правому символу.

Вировнять по = - переміщення рядків по горизонталі для їх вирівнювання по знаках = та інших знаках рівності або нерівності, розташовуючи їх один над іншим.

Выровнять по, - переміщення рядків по горизонталі з розташуванням десяткових ком у них одна над іншою.

Матрица - дозволяє змінити створену матрицю. Для використання цієї команди слід розташувати курсор усередині цієї матриці або виділити її. В інших випадках ця команда виглядає неяскравою, що свідчить про те, що вона недоступна.

Интервал - дозволяє визначати розташування елементів формули.

Кожна з команд меню Стиль призначена для присвоєння певного стилю або шрифту виділеній групі символів у формулі:

Математический - присвоєння стилю «Математический» виділеній групі символів або символам, що будуть набрані після цього. У більшості випадків слід використовувати саме цей стиль, тому що в ньому функції і змінні відрізняються, і їхнє форматування виконується по-різному. Інші стилі служать для вставки у формулу спеціальних символів.

Текст - присвоєння стилю «Текст» виділеній групі символів або символам, що будуть набрані згодом.

Функция - присвоєння стилю «Функция» виділеній групі символів або символам, що будуть набрані згодом.

Created by Universal Document Converter

Переменная - присвоєння стилю «Переменная» виділеній групі символів або символам, що будуть набрані потім. Ця команда служить для присвоєння послідовності символів стилю «Переменная», якщо редактор формул помилково порахував цю послідовність ім'ям функції.

Греческий - присвоєння одного зі стилів «Греческий» виділеній групі символів або символам, що будуть введені згодом.

Матрица-вектор - присвоєння стилю «Матрица-вектор» виділеній групі символів або символам, що будуть введені згодом

Другой - дозволяє провести форматування символів або шрифт напряму виділеній групі символів або символам, що будуть введені згодом.

Определить - дозволяє визначати стилі для використання їх у формулах.

Кожна з команд меню Размер дозволяє надати визначений тип розміру виділеній групі символів або символам, що будуть введені згодом:

- *Обычный;*
- *Крупный индекс;*
- *Мелкий индекс;*
- *Крупный символ;*
- *Мелкий символ;*
- *Другой* - Дозволяє надати конкретний розмір виділеній групі символів або символам, що будуть введені згодом у це ж поле.

Определить - Дозволяє змінити визначення перших п'ятьох розмірів, перерахованих у меню.

Created by Universal Document Converter

РОЗДІЛ 4.
ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

4.1. Обґрунтування використання сонячних колекторів

Не дивлячись на те, що технологія використання сонячної енергії для потреб споживачів житлових будівель існувала досить давно, актуальність своєї вона стала набувати досить недавно – з моменту істотного подорожчання традиційних енергоносіїв (перш за все - газу). Ринок вмить відреагував на збільшення попиту і у продажу з'явилася велика кількість різних установок для нагріву води, заснованих на сонячних батареях і сонячних колекторах. Відповідно паралельно виходу нового устаткування його виробниками в ЗМІ стала проводитися широка рекламна компанія, в якій використання сонячних панелей підноситься як один із способів здобуття дармової і екологічно чистої теплової енергії, який здатний задовольнити всі потреби споживачів.

Термін окупності сонячних нагрівальних систем – це одне з найважливіших питань який слід вивчити для ухвалення рішення про покупку і установку геліосистеми. Нижче приведена таблиця інтенсивності сонячного випромінювання для декількох міст України (табл. 4.1).

Як відомо, сонячна енергія безкоштовна. Однак, для використання цього ресурсу все ж необхідні певні витрати. Для використання енергії сонячного випромінювання буде потрібно:

1) Установка геліосистеми здатної вловлювати сонячну енергію і передавати її воді, що використовується, або теплоносію засобом якого і буде здійснюватися нагрівання води. Цей етап включає в себе витрати на

Created by Universal Document Converter

придбання самої системи і витрати на проведення інсталяційних робіт (останнє, як правило, необхідно тільки у випадку використання потужних закритих активних систем, що мають два контури і що працюють за магістрального тиску водопроводу).

Таблиця 4.1

Середній місячний коефіцієнт сонячної інсоляції в містах України (кВт·год /м^2/день)*

Середній місячний рівень радіації (сонячна постійна) в містах України (кВт·год /м^2/день)*													
Середній показник за останніх 22 роки	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Середньорічний
м. Київ, Широта 50.5 N, Довгота 30.5 E	1,69	2,56	3,15	3,49	4,71	4,19	4,48	4,40	3,14	2,44	1,39	1,44	3,10
м. Львів, Широта 49.5 N, Довгота 24 E	1,66	2,49	2,90	3,23	3,96	3,81	3,90	4,06	3,01	2,34	1,48	1,34	2,85
м. Харків, Широта 49.59 N, Довгота 46.13 E	1,19	2,18	3,42	4,48	5,65	5,89	5,83	5,05	3,71	2,24	1,27	0,93	3,49
м. Одеса, Широта 46.30 N, Довгота 30.46 E	1,08	1,78	2,68	3,87	5,40	5,70	6,39	5,63	3,96	2,45	1,06	0,87	3,41
м. Тернопіль, Широта 49.33 N, Довгота 25.5 E	1,09	1,86	2,85	3,85	4,84	5,00	4,93	4,51	3,08	1,91	1,09	0,85	2,99
м. Ялта, Широта 44.29 N, Довгота 34.9 E	1,27	2,06	3,05	4,30	5,44	5,84	6,20	5,34	4,07	2,67	1,55	1,07	3,58

*За даними NASA.

Created by Universal Document Converter

2) Резервне джерело енергії для найбільш ефективного функціонування геліосистеми. Справа в тому, що сонячні установки покривають лише частину Ваших енергетичних витрат на одержання теплої води і тепла для опалення приміщень. У разі використання відкритих пасивних систем додаткового джерела енергії не буде потрібно, але якщо мова йде про більш потужні установки, то буде потрібен резерв. З урахуванням кліматичних особливостей регіону, що характеризується помірним кліматом, можна покрити приблизно 50-70 % своїх витрат (у першу чергу в залежності від сезону), решту 30 % доведеться компенсувати за рахунок додаткового джерела енергії (найчастіше це газовий котел, або електронагрівач). Однак навіть у цьому випадку велику частину енергетичних витрат можна покрити необмеженим ресурсом сонячної енергії.

У таблиці 4.2, наведеній нижче, можна порівняти вартість енергії, отриманої при використанні всіх можливих традиційних енергоносіїв. Незважаючи на відносно невисоку вартість енергоресурсів в Україні на сьогоднішній день, річні витрати на сім'ю не виглядають такими оптимістичними, як можна було б очікувати і це при тому, що ми знаходимося на порозі значного стрибка цін енергоресурсів і в першу чергу найбільш широко використовуваних, таких, наприклад, як природний газ.

Залежно від типу і характеристик вибраного обладнання геліоустановки окуповують себе за термін від 2-х до 5-ти років.

Слід врахувати те, що початкові вкладення на установку сонячного колектора в рази вище у порівнянні з традиційними системами теплопостачання (газові або електричні котли) і становлять приблизно 80 $ за одну кВт·год енергії (приблизно 1900 $ за 1 кВт потужності системи). Однак подальше використання системи дає можливість отримувати всю вироблену сонячною установкою енергію безкоштовно. Сонячні колектори здатні забезпечувати до 100 % потреб у гарячій воді і забезпечити від 50 % до 70 % економії витрат на опалення. Продуктивність системи залежить від

Created by Universal Document Converter

параметрів сонячного випромінювання в конкретному регіоні України.

Таблиця 4.2

Порівняння вартості 1 кВт·год енергії, отриманої на основі використання різних енергоносіїв

Генеруючі системи	Питома теплота згоряння, кДж (на м^3 або кг)	Теплова потужність, кВтг	ККД системи	Вартість одиниці ресурсу, грн.	Вартість 1 кВтг	Витрати, грн. на 1 особу* (на сім'ю з 5 осіб)		
						добу	місяць 30 діб	рік 365 діб
ГАЗОВА								
природний газ, м^3	33500	9,31	0,90	0,98	0,12	0,21 (1,05)	6,30 (31,50)	76,65 (383,25)
скраплений газ, м^3	45200	12,56		2,00	0,18	0,32 (1,60)	9,60 (48,00)	116,80 (584,00)
РІДКОПАЛИВНА								
дизель, л (щільність: 0,70)	33600	9,33	0,85	6,70	1,21	2,12 (10,60)	63,60 (318,00)	773,80 (3869,00)
бензин, л (густина: 0,75)	33400	9,28		6,20	1,05	1,84 (9,20)	55,20 (276,00)	671,60 (3358,00)
гас, л (густина: 0,80)	43500	12,08		7,00	0,85	1,49 (7,45)	44,70 (223,50)	543,85 (2719,45)
ТВЕРДОПАЛИВНІ								
кокс, кг	29300	8,14	0,70	2,25	0,39	0,68 (3,40)	20,40 (102,00)	248,20 (1241,00)
вугілля кам'яне, кг	27000	7,50		0,70	0,13	0,23 (1,15)	6,90 (34,50)	83,95 (419,75)
вугілля буре, кг	13000	3,61		0,40	0,16	0,28 (1,40)	8,40 (42,00)	102,20 (511,00)
торф, кг	12100	3,36		0,23	0,10	0,18 (0,90)	5,40 (27,00)	65,70 (328,50)
дрова, кг	12400	3,44		0,30	0,12	0,21 (1,05)	6,30 (31,50)	76,65 (383,25)
ЕЛЕКТРИЧНА								
електрика, кВтг	3600	1	0,99	0,2436	0,25 (для організацій до 1грн.)	0,44 (2,20)	13,20 (66,00)	160,60 (803,00)

* Усереднене споживання гарячої води 1 особою за добу: 50 л (без урахування прийняття ванн). Температура вхідної води для нагрівання: 15 °С. Температура гарячої води: 45 °С. Для нагрівання 1 л води на 1 °С необхідно витратити 4,19 кДж. Необхідна кількість енергії для забезпечення потреб 1

Created by Universal Document Converter

особи (нагрів 50 л води на 30 °С): 50 л • 30 °С • 4,19 кДж = 6285 кДж. При: 1 кВт·год = 3600 кДж, отримуємо: 6285 кДж / 3600сек = 1,75 кВт·год. Для родини, що складається з 5 чоловік: 1,75 кВт·год • 5 = 8,75 кВт·год.

Наприклад, для Києва цей параметр дорівнює 3,1 кВт·год в день на 1 м^2 (діапазон значень протягом року від 1,44 до 4,48). Це означає що сонячний колектор на 30 вакуумних труб (площа абсорбера 3,9 м^2) вартістю 1500 $ здатний в середньому виробляти в Києві 12,1 кВт·год на добу (4412 кВт·год на рік) або в Ялті (3,58 кВт·год/м^2/добу) 14 кВт·год на добу (5100 кВт·год на рік). Що в свою чергу дає можливість окупити вкладення на встановлення сонячної установки протягом 2-5 років в залежності від традиційного джерела тепла і тарифів на енергоносії (тарифи на електроенергію та природний газ для приватних осіб та для організацій відрізняються в рази).

Найбільш економічно-ефективна конфігурація сонячних колекторів у разі необхідності підігріву басейну. У цьому випадку використовується 100 % середньорічної вироблюваної енергії, тому що в літній час, все надмірне тепло використовується для нагрівання басейну.

4.2. Техніко-економічне обґрунтування системи опалювання і нагріву води на базі геліоколектора

1. Оцінка геліоколектора [55].

Приклад. Оцінимо геліоколектор типу IM-HP-O58-1800-30 без врахування вартості монтажу вартістю 10820 грн. (де 058 - діаметр труби (d) рівний 58 мм; 1800 - довжина труби (L) рівна 1,8 м; 30 - кількість труб в колекторі n.

1) знайдемо робочу площу колектора:

$$S_k = d \cdot L \cdot n, \qquad (4.1)$$

$$S_k = 0{,}058 \cdot 1{,}8 \cdot 30 = 3{,}132 \text{ м}^2$$

Created by Universal Document Converter

2) знайдемо кількість тепла яке генерує колектор за рік:

Знаємо, що коефіцієнт сонячної інсоляції (за даними НАСА) на 1 м^2, для Київської обл. рівний 3,1 кВт. Кількість тепла, що генерується, за рік визначається за формулою:

$$Q_p = S \cdot k_i \cdot N \cdot \eta, \qquad (4.2)$$

де k_i – коефіцієнт сонячної інсоляції за день (табл. 4,1), кВт·год/м^2;

N – кількість днів у році.

η – ККД геліоколектора, $\eta = 0{,}8$.

Отже,

$$Q_p = 3{,}132 \cdot 3{,}1 \cdot 365 \cdot 0{,}8 = 2759 \text{ кВт·год}$$

2. Оцінка вартості виробленого тепла колектором в перерахунку на електроенергію:

$$B_т = Ц_e \cdot Q_р, \qquad (4.3)$$

де $Ц_e$ – вартість електктроенергії в Україні за 1 кВт/год;

Враховуючи ціни на електроенергію на Україні на сьогоднішній день:

- для фіз. осіб 0,9 грн. за 1 кВт·год;
- для юр. осіб 1,87 грн. за 1 кВт·год;

Тоді вартість виробленого тепла в рік складе

- для фіз. осіб $B_т = 2759 \cdot 0{,}9 = 2383{,}1$ (грн в рік)
- для юр. осіб $B_т = 2759 \cdot 1{,}87 = 5159{,}33$ (грн в рік)

3. Оцінка терміну окупності проекту:

$$O_Г = Ц_Г / B_т, \qquad (4.4)$$

де $O_Г$ – термін окупності геліоколектора, рік;

Created by Universal Document Converter

$Ц_Г$ – вартість геліоколектора, $Ц_Г = 10820$ грн..

Тоді період окупності складе:

- для фіз. осіб: $О_Г = 10820 / 2483,1 = 4,36$ років;

- для юр. осіб: $О_Г = 10820 / 5159,3 = 2,1$ роки.

Економічна ефективність проекту визначається за формулою:

$$E = B_т / Ц_Г \cdot 100\%, \qquad (4.5)$$

і становить:

- для фіз. осіб: E=(2483,1 х 100%) : 10820 = 22,95 % в рік;

- для юр. осіб: E=(5159,3 х 100%) : 10820 = 47,68 % в рік

4.3. Висновки до розділу

1. При сучасних цінах на електроенергію для фізичних осіб термін окупності геліоколектора становить 4,36 років, при терміну експлуатації 20. Тому його використання є доцільне.
2. В наслідок того, що ціна на електроенергію для юридичних осіб вища, термін окупності геліоколектора знижується до 2,1 роки і доцільність його використання не викликає сумнівів.

Created by Universal Document Converter

РОЗДІЛ 5.
ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1. Основні вимоги безпеки до улаштування та експлуатації технологічного обладнання

Загальні вимоги безпеки до конструкції виробничого обладнання встановлені ДНАОП [56].

Безпека виробничого обладнання забезпечується:

– при проектуванні - дотриманням принципів технологічності і ергономічності конструкції, застосуванням раціональних кінематичних схем, принципу безперервності процесу, дистанційного або автоматичного управління, забезпеченням запобіжними та захисними системами;

– при виготовленні - застосуванням сучасних технологій машинобудування, дотриманням передбачених допусків та посадок;

– при збірці та монтажі - точним дотриманням технології;

– при експлуатації - своєчасним обслуговуванням та профілактичними оглядами, дотриманням експлуатації, тощо.

Виробниче обладнання має бути пожежо- і вибухобезпечним. Воно не повинно створювати небезпеки в результаті дії вологості, сонячної радіації, механічних коливань, високих і низьких тисків і температур, агресивних речовин і мікроорганізмів.

Важливою умовою безпечної експлуатації обладнання є дотримання вимог санітарних норм і правил, галузевих стандартів і правил техніки безпеки щодо розмірів виробничих приміщень, галерей і тунелів, мінімальної висоти до низу виступаючих будівельних конструкцій, ширини проходів.

Created by Universal Document Converter

Матеріали, що застосовуються в конструкції виробничого обладнання, не повинні бути небезпечними і˙ шкідливими. Складові частини обладнання (в тому числі трубопроводи, проводка, кабелі і т.п.) повинні виконуватися з таким розрахунком, щоб виключалась можливість їх випадкового пошкодження, що може створити небезпеку. Конструкція обладнання, що має газо-, паро-, пневмо-, гідросистеми та інші, повинна відповідати вимогам безпеки для цих систем [56].

Рухомі частини обладнання, що є джерелом небезпеки, повинні бути огороджені, за виключенням частин, огородження яких не допускається за їх функціональним призначенням. У цих випадках передбачається сигналізація, що попереджує про пуск машин в роботу, засоби зупинки і відключення джерел енергії. При наявності машин значної довжини (наприклад, транспортерів) засоби зупинки повинні розміщуватись не рідше як через кожні 10 м їх довжини.

Елементи конструкцій виробничого обладнання не повинні мати гострих кутів, кромок і поверхонь з нерівностями, що становлять собою джерело небезпеки, якщо їх наявність не визначається функціональним призначенням обладнання.

Конструкцією виробничого обладнання повинна передбачатись сигналізація, а у разі потреби і засоби автоматичної зупинки і відключення обладнання від джерел енергії при небезпечних несправностях, аваріях і при режимах роботи, близьких до небезпечних. В необхідних випадках виробниче обладнання повинно мати засоби гальмування, ефективність дії яких має бути достатня для забезпечення безпеки і відповідати вимогам стандартів на вироби. Спрацьовування термінової зупинки не повинно створювати небезпеки для працюючих або аварійної ситуації.

Обладнання, яке в процесі роботи виділяє виробничі шкідливості (пил, дим, пару, газ, вологу) в навколишнє середовище, повинно бути герметизоване і забезпечене аспіраційними вентиляційними установками.

Created by Universal Document Converter

5.2. Сигнально-попереджувальні пристрої і фарбування обладнання

Для попередження про небезпеку застосовують звукові, світлові і кольорові сигнали. Сигнальні пристрої встановлюються в зонах видимості і слухового відчуття обслуговуючого персоналу. Сигнали небезпеки повинні чітко сприйматися у виробничій обстановці [56].

Нормативами визначаються *сигнальні і розпізнавальні* кольори. Основними *сигнальними кольорами* є червоний - забороняючий, засвідчуючий про безпосередню небезпеку, жовтий - зосереджуючий увагу і попереджуючий про можливу небезпеку і зелений - означаючий безпеку.

Розпізнавальними кольорами вважають зелений, червоний, синій, жовтий оранжевий, фіолетовий, коричневий, сірий.

Розпізнавальні кольори наносять на технологічне підйом-но-транспортне обладнання, трубопроводи, елементи будівельних конструкцій та інші споруди.

Сигнально-попереджувальним фарбуванням (жовтими і чорними смугами) відмічаються елементи будівельних конструкцій і міжцехового транспорту. Так, жовто-чорною смугою позначаються низькі балки, виступи і перепади у площині підлоги, краю люків і колодязів, кабіни і перила кранів, вантажні гаки, бічні поверхні електрокарів, навантажувачів, візків, стріл автокранів.

Огородження небезпечних зон із зовнішнього боку фарбують в жовтий колір, із внутрішнього - в червоний.

Габарити проїздів, проходи і робочі місця на підлозі виробничих приміщень позначаються смугою чи штриховими лініями білого чи жовтого кольору.

Розпізнавальне фарбування однойменних струмоведучих шин у кожній електроустановці приймається однаковим.

Created by Universal Document Converter

При змінному струмі фаза А фарбується в жовтий колір, фаза В - зелений, фаза С - червоний, нульова (при ізольованій чи заземленій нейтралі) - в чорний; при однофазному струмі провідник, під'єднаний до початку обмотки джерела живлення, - в жовтий, до кінця обмотки - в червоний; при постійному струмі позитивна фаза "+" - в червоний, негативна "-" – в синій, нейтральна - в білий.

Стандартами передбачена система знаків безпеки, які повинні використовуватися не тільки в промисловості, але й в інших галузях народного господарства, а також передбачені знаки, які є загальними для багатьох виробництв і професій, але у разі необхідності вони можуть бути конкретизовані із використанням графічних зображень і надписів, що застосовуються в інших стандартах.

5.3. Особливості проведення рятувальних та інших невідкладних робіт при ліквідації наслідків великих виробничих аварій і катастроф

Великі виробничі аварії і катастрофи (далі — аварії) можуть призвести до загибелі людей і завдати відчутної шкоди народному господарству [57]. Тому забезпечення безаварійної роботи на підприємстві слід розглядати як важливу державну справу, що вимагає повсякденної уваги міністерств, відомств, керівників та інженерно-технічного персоналу ОГ. Аварії можуть відбутися на будь-яких промислових підприємствах і на транспорті, однак найбільшу небезпеку становлять об'єкти, які виробляють чи застосовують у технології СДОР, вибухо- і пожежонебезпечні матеріали й продукти. Небезпечними об'єктами є також склади, бази, залізничні станції і порти, де зберігаються чи знаходяться запаси цих матеріалів і продуктів.

Аварії можуть відбутися в результаті стихійних лих, допущених прорахунків у проектуванні, будівництві й устаткуванні підприємств;

Created by Universal Document Converter

введення в експлуатацію промислових об'єктів з великими недоробками і відступами від проектів; прийняття в експлуатацію вентиляційних систем без випробування їх на ефективність роботи; незабезпечення вибухо- і пожежонебезпечних виробництв необхідною промисловою вентиляцією і захистом від пилу; недоробок з техніки безпеки й охорони праці; незадовільного оснащення контрольно-вимірювальною, захисною, блокуючою апаратурою і недостатньої герметичності технологічного устаткування. Вони можуть бути також наслідком порушення технологічних процесів, несправності електропроводки і відсутності надійних систем пожежогасіння.

Основними заходами щодо ліквідації наслідків великих аварій є: оповіщення про небезпеку робітників та службовців, формувань ЦО і населення, що проживає поблизу об'єкта; комплексна розвідка об'єкта, на якому відбулася аварія; порятунок людей з-під завалів, зі зруйнваних і пошкоджених будинків та споруд, надання медичної допомоги постраждалим і евакуація їх у лікувальні установи; гасіння пожеж; локалізація аварій на комунально-енергетичних мережах, які перешкоджають веденню рятувальних робіт; улаштування проїздів і проходів до місць аварій; обвалування нестійких конструкцій, розбирання завалів, демонтаж збереженого устаткування, якому загрожує небезпека; організація комендантської служби.

Рятувальні роботи в місцях аварії, як правило, проводяться в умовах загазованості, а при пожежах — задимленості і високих температур; щоб забезпечити безперервність роботи з наростаючим темпом, сили ЦО поділяють на зміни і виділяють резерви.

У залежності від характеру і масштабу аварії керівництво ліквідацією наслідків здійснює або керівник даного підприємства, який є одночасно і начальником ЦО, або голова спеціально створюваної надзвичайної комісії. На кожну ділянку призначається керівник з числа відповідальних посадових

Created by Universal Document Converter

осіб об'єкта або керівників ЦО і фахівців служб ЦО. Він повинен поставити завдання формуванням, вказати терміни і способи їх виконання, визначити порядок матеріального, технічного й інших видів забезпечення, організувати роботи, своєчасну зміну, відпочинок і харчування особового складу.

Рятувальні роботи і допомога потерпілим організовуються негайно після виникнення аварії. Також відразу вживаються заходи до локалізації і гасіння пожеж, без цього неможливе виконання інших робіт. Ухваленню рішення на проведення РІНР передує ретельна розвідка. Основні її завдання — виявити обстановку, що склалася, визначити характер руйнувань і обсяг невідкладних робіт, умови, у яких потрібно вести ці роботи. У ході розвідки визначаються місцезнаходження постраждалих людей, намічаються способи їх порятунку і шляхи евакуації. Розвідку організовує керівник — начальник ЦО об'єкта (або голова надзвичайної комісії) за допомогою розвідувальних формувань і при обов'язковій участі провідних спеціалістів.

До місця виробничої аварії першими повинні прибувати протипожежні команди, підрозділи міліції, машини швидкої медичної допомоги.

Перша медична і лікарська допомога надається постраждалим, які знаходяться в стані шоку, а також звільненим з-під невеликих завалів і уламків. Витягування людей з-під великих завалів здійснюється з дотриманням заходів безпеки, їм надається невідкладна медична допомога з наступною евакуацією в лікувальні установи.

Будь-яке підприємство має свої особливості, які можуть бути невідомі рятувальникам, але повинні бути враховані. Тому перед початком робіт з кожним формуванням відповідними фахівцями підприємств і служб ЦО проводиться інструктаж, на якому вказуються способи дій при виконанні поставленого завдання і правила безпеки, дотримання яких обов'язково

Created by Universal Document Converter

РОЗДІЛ 6.
ЕКОЛОГІЯ

6.1. Класифікація забруднень довкілля

Приблизно до XIII століття (коли чисельність населення становила 300-350 млн. чоловік) природа активно переробляла всі надходження речовин у біосферу, тобто відбувалося самоочищення. Продукти діяльності людини були переважно органічного походження. Після перетворення їх редуцентами на неорганічні сполуки вони включалися в природний колообіг речовин. Знаряддя праці чи предмети вжитку, хоча й мали неорганічну природу, використовувались у відносно невеликій кількості, і це не становило загрози для навколишнього природного середовища. Проте в подальшому – із зростанням чисельності населення – значно збільшувалися його матеріальні та енергетичні потреби; для задоволення цих потреб людство почало використовувати багато нових речовин (порох, кислоти, солі, пізніше – різні хімічні препарати для боротьби з шкідниками сільського господарства тощо), які були не властиві природі, і, за умови їх зростаючої кількості вона не встигала до них адаптуватися. Ці речовини не включалися в природний процес колообігу речовин, що призвело до їх накопичення і стало завдавати значної шкоди екосистемам загалом і людині зокрема.

Забруднення – це внесення у навколишнє середовище або виникнення в ньому нових, зазвичай не характерних хімічних і біологічних речовин або внесення в надлишковій кількості будь-яких уже відомих речовин, які чинять шкідливий вплив на людину та природні екосистеми і яких природа не здатна позбутися самоочищенням. Забруднення бувають *природними,*

Created by Universal Document Converter

тобто спричиненими природними, зазвичай катастрофічними чинниками (повені, виверження вулканів) та *антропогеними (зумовлені діяльністю людини).* Речовини, які спричинюють забруднення, називають *забрудниками,* або *полютантами.*

Існують різні принципи класифікації забруднень навколишнього середовища – за типом походження, за часом взаємодії з довкіллям, за способом впливу тощо [58].

За просторовим поширенням (розміром територій, що охоплюють) розрізняють:

- *локальні забруднення* (;
- *регіональні забруднення*;
- *глобальні забруднення.*

За силою та характером дії на навколишнє середовище забруднення бувають:

- *фонові;*
- *імпактні* (від англ. impact – удар; синонім — залпові);
- *постійні* (перманентні);
- *катастрофічні.*

За джерелами виникнення забруднення поділяють на:

- *промислові*;
- *транспортні.*;
- *сільськогосподарські.*;
- *побутові.*

За типом походження розрізняють**:**

- *фізичне забруднення* – забруднення, спричинені впливом теплових, електричних, радіаційних та світлових полів у природному середовищі, а також шумом та вібраціями. Фізичне забруднення води полягає у зміні її фізичних властивостей: прозорості, вмісту зависей та інших нерозчинних домішок, температури і радіоактивності. Тверді завислі часточки зменшують

Created by Universal Document Converter

прозорість води, пригнічуючи таким чином процеси фотосинтезу водяних рослин, забивають зябра риб тощо. Особливу небезпеку для біосфери становлять радіоактивні домішки, що потрапляють у водойми з викидами АЕС та ТЕС;

- *механічне забруднення* – забруднення твердими частинками та предметами (викинутими як непридатні, спрацьовані, вилучені з ужитку);
- *хімічне забруднення* – забруднення твердими, газоподібними та рідкими хімічними речовинами, які надходять у біосферу, порушуючи встановлені природою процеси кругообігу речовин і енергії. Залежно від виду виробництва відходи підприємств містять різні шкідливі сполуки неорганічної та органічної природи. Значну кількість органічних сполук, не властивих природі (ксенобіотиків), містять стічні води хімічних підприємств органічного синтезу, виробництва пластмас і мийних засобів (детергентів). Ці сполуки поглинаються фітопланктоном і передаються ланцюгами живлення більш високоорганізованим організмам. У результаті вміст шкідливих речовин у м'ясі хижої риби (щука, судак, окунь) може у десятки і сотні разів перевищувати їх вміст у воді.
- *біологічне (бактеріологічне) забруднення* – забруднення, спричинене патогенними мікроорганізмами (вірусами, бактеріями, грибками), деякі з яких з'явилися завдяки діяльності людини (бактеріологічна зброя, нові віруси, а також катастрофічне розмноження рослин чи тварин, переселених з одного середовища в інше людиною чи випадково. Найбільшими джерелами біологічного забруднення є підприємства шкірообробної промисловості, м'ясокомбінати та цукрові заводи, комунальне господарство.

6.2. Матеріальні та енергетичні забруднення

Згідно з іншою класифікацією, усі антропогенні забруднення біосфери поділяють на дві основні групи – матеріальні та енергетичні [58].

Created by Universal Document Converter

До матеріальних забруднень належать забруднення, зумовлені:

- *хімічно інертними* (нетоксичними) речовинами.;
- *хімічно активними* (токсичними) речовинами..

Енергетичні забруднення зумовлені шумом, вібраціями, тепловими викидами, ультразвуком, електромагнітними полями, світловим, лазерним, інфрачервоним, ультрафіолетовим та іонізуючим випромінюванням.

Теплове забруднення є наслідком теплових викидів переважної більшості промислових підприємств, устаткування і машин, що використовують процеси горіння, нагрівання, вибуху. Найбільшими джерелами теплового забруднення є ТЕС і АЕС.

Теплові агрегати мають невисокий тепловий ККД і викидають в атмосферу значну кількість теплоти. Теплове забруднення зумовлене і скиданням у водойми теплих вод з різних енергетичних установок.

Головними джерелами *електромагнітного випромінювання* є радіотелевізійні та радіолокаційні станції, засоби радіозв'язку, високовольтні лінії електропередачі (ЛЕП), електростанції й трансформаторні підстанції, а також лінії електротранспорту (особливо метрополітени). Величина електромагнітного поля поблизу потужних ЛЕП (понад 1000 кВ) перевищує норму в 20 разів. Мірою забруднення електромагнітними полями є напруженість електромагнітного поля, яка вимірюється у В/м^2. Нормою вважається напруженість електромагнітного поля, що дорівнює 2,5 Вт/ м^2.

Електричне поле завжди присутнє навколо будь-яких електричних приладів (навіть тих, що тимчасово не працюють, але приєдані до джерела живлення).

Особливо небезпечним забрудником природного середовища є *іонізаційне випромінювання*, зокрема радіація. Радіаційний фон Землі зумовлений:

1) космічним випромінюванням;

Created by Universal Document Converter

2) випромінюванням від радіоактивних ізотопів природного походження, які присутні в літосфері, гідросфері, атмосфері та біосфері. Це:

- довгоживучі радіоактивні елементи, які знаходяться посередині періодичної таблиці Д.І.Менделєєва і мають масові числа від 40 до 190 (^{40}K, ^{40}Ca, ^{87}Rb, ^{130}Te тощо);
- радіоактивні ізотопи, які входять до складу уран-радієвої (материнські радіонукліди ^{238}U і ^{226}Ra) та торієвої (материнський радіонуклід ^{232}Th) радіоактивних родин;

3) випромінюванням від штучних радіонуклідів, які утворилися при випробуваннях ядерного зброї (і випали на поверхню Землі у вигляді радіоактивних опадів), при роботі підприємств атомної промисловості та підприємств, які працюють з радіоактивними речовинами.

6.3. Висновки до розділу

1. В результаті виробництва, в тому числі і склопакетів, наноситься значна шкода навколишньому середовищу. Цю шкоду потрібно як в найбільшій міру мінімізувати.

2. Крім того необхідно проводити заходи по залученню коштів на відновлення екології нашої планети, за рахунок додаткового збору від вартості виробів на утилізацію.

Created by Universal Document Converter

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розроблено методику розрахунку теплотехнічних характеристик сонячних колекторів з вакуумними склопакетами, що включає розрахунково-експериментальний метод визначення тиску розрідженого газу в вакуумному зазорі.

2. Оцінено внесок вакуумного зазору в опір теплопередачі вакуумного склопакету. Без селективних покриттів на склі, внесок вакуумного шару в загальний опір теплопередачі становить 17 % при низькому вакуумі (10^{-1} мм рт. ст.), 36 % при вакуумі 10^{-2} мм рт. ст. та 40 % при більш високому вакуумі (10^{-3} - 10^{-5} мм рт. ст.).

3. Теплоперенесення шляхом випромінювання через вакуумований склопакет без селективних покриттів при вакуумі 10 мм рт. ст. складає близько 88 %, тому нанесення одного селективного покриття на внутрішню поверхню вакуумованого склопакету необхідно. Нанесення двох і більше селективних покриттів значно здорожує сонячний колектор.

4. Обґрунтовано параметри вакуумованих склопакетів, що забезпечують підвищення теплопродуктивності сонячних колекторів:

- тиск розрідженого газу в вакуумному зазорі має бути не вище 10^{-3} мм.рт.ст.,

- повинно бути нанесено одне селективне покриття на внутрішній поверхні вакуумованого склопакета з випромінювальною здатністю 0,1.

Опір теплопередачі сонячного колектора при цих характеристиках становить 0,77 м·К/Вт, що вище ніж опір теплопередачі сонячного колектора з одинарним склінням із селективним покриттям в 3 рази.

					ДРМ 308.18.00.00.000 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Грушицький О.В.			ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	Літ.	Аркуш 111 / Аркушів
Перевірив		Белякова І.В.					
Консульт.		Белякова І.В.					
Н. Контр.		Коваль В.П.				гр.ЕМм-61, ФПТ, ТНТУ	
Зав каф.		Тарасенко М.Г.					

Created by Universal Document Converter

5. Порівняння економічних ефектів використання сонячних колекторів з одинарним склінням, що мають селективне покриття, і сонячних колекторів з вакуумованими склопакетами для забезпечення гарячого водопостачання особистого підсобного господарства показало, що, за рахунок підвищення теплопродуктивності, економія витрат на електроенергію більша при використанні сонячних колекторів з вакуумованими склопакетами.

Created by Universal Document Converter

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Безруких П.П., Арбузов Ю.Д., Борисов Г. А., Виссарионов В. А., Евдокимов В. М., Малинин Н. К., Огородов Н. В., Пузаков В. Н., Сидоренко Г. И., Шпак А. А. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России. - СПб.: Наука, 2002. — 314 с.

2. Безруких П.П. Возобновляемые источники энергии и надежность электроснабжения // Энергетическая политика, 2008, № 3. С. 3 - 10.

3. Energia dal sole: le fonti rinnovabili. A cura di F.P. Vivoli, M. Zinzi. ENEA, 2006.

4. W. Weiss, I. Bergmann, G. Fantnger. Solar Heat Worldwide. Markets and Contribution to the Energy Supply 2006. Edition 2008. Solar Heating and Colling Programme, IEA. - http://www.ieashc.org/publications/downloads/IEASHC_Solar_Heat_Worldwide-2008.pdf.

5. Barbel Epp. Flat plate collectors: trends and technology // Sun & Wind Energy, 2008. P.7

6. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. - М.: Энергоатомиздат, 1991. - 208 с.

7. Безруких П.П. Возобновляемая энергетика: сегодня - реальность, завтра - необходимость. - М.: Лесная страна, 2007. - 120 с.

8. J.A. Duffie, W.A. Beckman. Solar Engineering of Thermal Processes. Second edition. - John Wiley & Sons, Inc., USA, 1991.

9. Валов М.И., Казанджан Б.И. Сиситемы солнечного теплоснабжения. – М.: Издательство МЭИ, 1991. – 140с.

10. Энергосбережение – важнейший фактор экологической и экономической безопасности Украины. // МТТ. – 2005. – №2. – с. 54-60.

Created by Universal Document Converter

11. Твайделл Д.У.А. Возобновляемые источники энергии./ пер. с англ. В.А. Коробкова. – Москва: Энергоатомиздат, 2000. – 390с.

12. Ткаченко С.Й., Чепурний М.М. Перспективні технології малої енергетики // Екологічний вісник. – 2003. – № 5/6. – с.15-18.

13. Денисова А.Е., Мазуренко А.С. Комбинированные системы теплоснабжения на базе солнечных установок // Эко-технологии и ресурсосбережение – 2002. – №6. – С.14-19

14. Забарний Г.М., Шурчков А.В. Енергетичний потенціал нетрадиційних джерел енергії України / Національна академія наук України. Інститут технічної теплофізики. – К., 2002. – 211с.

15. Рабинович М., Толстих І. Сонячна енергетика України. Концепція розвитку до 2030 року.// Зелена енергетика. – 2003. – №1. – с.6-7.

16. Мхитарян Н.М. Гелиотехника. Системы, технологии, применение / Н.М.Мхитарян. – К.: Наукова думка, 2002. – 313с.

17. Авезов Р.Р., Орлов А.Ю. Солнечные системы отопления и горячего водоснабжения. - Ташкент: Фан, 1988. - 288 с.

18. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент. Справочник. Под общ. ред. чл.-корр. РАН Клименко А.В. и проф. Зорина В.М. - М.: МЭИ, 2001. - 564 с.

19. Зоколей С. Солнечная энергия и строительство: Пер. с англ. / Под ред. Ю.Н. Малевского. - М.: Стройиздат, 1979. - 208 с. - Перевод. Изд.: Solar Energy and Building / S.V. Szokolay.

20. Коломиец Ю.Г., Попель О.С., Фрид С.Е. Солнечные водонагревательные установки на основе плоских и вакуумированных солнечных коллекторов: сравнительный анализ. Тезисы докладов IV Международной конференции «Возобновляемая и малая энергетика — 2007». - М.: МЦДК «Дельконт». С. 100 - 102.

21. Winston R. Principles of solar concentrators of a novel design // Solar Energy, 1974, Vol. 18. P. 89 - 96.

Created by Universal Document Converter

22. Goetzberger A., Rommel M., et al. A new transparently insulated, bifacially irradiated solar flat-plate collector // Solar Energy, 1992, Vol. 49, ¹ 5. P. 403-411.

23. Julius M., Wolfgang S., et al. Optimized reflectors for non-tracking solar collectors with tubular absorbers // Solar Energy, 2000, Vol. 68, ¹ 2. P. 151-159.

24. Winston R., Hinterberger H. Principles of cylindrical concentrators for solar energy // Solar Energy, 1975, Vol. 17. P. 225 - 258.

25. Rabl A. Solar concentrators with maximum concentration for cylindrical absorbers // Applied Optics, 1976, Vol. 15, ¹ 7. P 1871 – 1873

26. ГОСТ Р 51596-2000. Нетрадиционная энергетика. Солнечная энергетика. Коллекторы солнечные. Методы испытаний. — http://www.elec.ru/library/gosts_e52/ gost_r_51596-2000.doc .

27. http://www.mirsteklo.ru/?page=rub-marks

28. ГОСТ 111-2001. Стекло листовое. Технические условия. - http://www.glassbox.ru/doc/gost.doc.

29. Борулько В.И., Гомозова В.Г., Маричев А.В. Международный опыт использования стекла в стеклопакетах. - http://www.bau.ua/artic/m_686

30. ГОСТ 30733-2000. Стекло с низкоэмисионным твердым покрытием. Технические условия. - http://best-stroy.ru/gost/rl 10/1826.

31. I.L. Wong, P.C. Eames, R.S. Perera. A review of transparent insulation systems and the evaluation of payback period for building applications // Solar Energy, 2007, Vol. 81, №9. P. 1058- 1071.

32. Казанджан Б.И., Солодов А.П., Такаев Б.В. Воздушный солнечный коллектор с прозрачной тепловой изоляцией капиллярного типа // Вестник МЭИ, 2002, № 3. С. 49 - 55.

33. R.E. Collins and Ò.Ì. Simko. Current Status of the Science and Technology of Vacuum Glazing // Solar Energy, 1998, Vol. 62, ¹ 3, P. 189 - 213.

Created by Universal Document Converter

34. Yueping Fang, Philip C. Eames, Brian Norton. Effect of glass thickness on the thermal performance of evacuated glazing // Solar Energy, 2007, Vol. 81, ¹3, P. 395-404.

35. ASTM E1423-06. Standard Practice for Determining the Steady State Thermal Transmittance of Fenestration Systems. - http://www.astm.org/ Standards/El 423 .htm.

36. ASTM E1423-06. Standard Practice for Determining the Steady State Thermal Transmittance of Fenestration Systems. - http://www.astm.org/ Standards/El 423 .htm.

37. Трушевский С.Н., Митина И.В., Иванчевская Э.С. Сравнительные испытания макета солнечного коллектора с вакуумированным стеклопакетом и двойным остеклением // Труды 5-й Международной научно-технической конференции. Часть 4-я. Возобновляемые источники энергии. Местные энергоресурсы. Экология. — М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. С. 176 - 182.

38. Трушевский С.Н., Митина И.В. Вакуумированные стеклопакеты и солнечные коллекторы // Гелиотехника, 2008, № 3. С. 31 - 37.

39. J.A. Duffle, W.A. Beckman. Solar Engineering of Thermal Processes. Second edition. - John Wiley & Sons, Inc., USA, 1991.

40. Авезов Р.Р., Орлов А.Ю. Солнечные системы отопления и горячего водоснабжения. - Ташкент: Фан, 1988. - 288 с.

41. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. Учебник для вузов, изд. 3-е, перераб. и доп. - М.: Энергия, 1975. - 488 с.

42. Кучеренко Е.Т. Справочник по физическим основам вакуумной техники. - Киев: Вища школа, 1981. - 264 с.

43. Розанов Л.И. Вакуумная техника. - М.: Высшая школа, 1990.

44. Королев Б.И. Основы вакуумной техники. М. - Л.: Энергия, 1964. -464 с.

Created by Universal Document Converter

45. Дэшман С. Научные основы вакуумной техники. Перевод с англ. — М.: Мир, 1964.

46. Трушевский С.Н. Метаморфозы теплопроводности в узких зазорах на примере вакуумированных стеклопакетов // Гелиотехника, 2007, № 3. С. 31-42.

47. Грошковский Я. Техника высокого вакуума. Перевод с польского. — М.: Мир, 1975.

48. Патент РФ № 2191329. Солнечный модуль с концентратором / Безруких П.П., Беленов А.Т., Поляков В.И., Стребков Д.С., Тверьянович Э.В. // БИ. 2002, № 29.

49. J. Nilsson et al. Biaxial model of the incidence angle dependence of the optical efficiency of photovoltaic systems with asymmetric reflectors // Solar Energy, 2006, Vol. 80, № 9. P. 1199 - 1212.

50. Трушевский С.Н., Митина И.В. Методика расчета коэффициента концентрации по балансу лучистых потоков // Гелиотехника. 2007, №2. С. 36-41.

51. Д.С. Стребков, Э.В. Тверьянович. Концентраторы солнечного излучения / Под ред. Академика РАСХН Д.С. Стребкова. - М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. -316с.

52. В.М. Бродянский, В. Фратшер, К. Михалек. Эксергетический метод и его приложения. Под ред. В.М. Бродянского. — М.: Энергоатомиздат, 1998.-288 с.

53. Шаргут Я., Петель Р. Эксергия. - М.: Энергия, 1968.

54. Пасько В. Самоучитель работы на персональном компьютере. – СПб.: Питер; Киев: BHV, 2013. – 560 с.

55. Оськин, С. В. Технико-экономическая оценка эффективности эксплуатации электрооборудования [Текст] / С. В. Оськин, Г. М. Оськина // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2006.– № 1.– С. 2–3

Created by Universal Document Converter

56. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Підручник/ В.Ц.Жидецький, В.С Джигирей, О.В.Мельников. – Вид. 5-те, доповнене. – Львів: Афіша, 2000. – 350 с.

57. Стеблюк М.І. Цивільна оборона та цивільний захист: Підручник. – 2-ге вид., перероб. Затверджено МОН / М.І. Стеблюк.– К., 2010. – 487 с.

58. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища: Навч. посібник. - К.: Т-во "Знання", 2002. - 203 с.

Created by Universal Document Converter