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: **ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ КОНЦЕНТРАЦІЇ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СЕС**

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

| | | |
|---|---|---|
| | (підпис) | Мазуркевич О.П. (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

Тема дипломного проекту: «Підвищення енергоефективності систем концентрації сонячної енергії в СЕС». Пояснююча записка містить 112 сторінок формату А4, 48 рисунків, 4 таблиці та 35 посилань на літературні джерела.

**Предмет дослідження:** енергоустановки із нерухомими концентраторами потоку, засновані на використанні сонячної енергії .

**Об'єкт дослідження:** процеси розподілу у просторі сонячної енергії та перетворення її на електричну.

**Мета роботи**. Підвищення енегоефективності не слідкуючого сонячного концентратора за рахунок установки на його вхідний поверхні жалюзійного геліостату.

Виконано аналіз сучасного стану і перспектив використання концентрованого сонячного випромінювання в сонячних енергетичних установках з різними типами фотоприймачів. Запропоновано алгоритм управління лінійним жалюзійним геліостатом для підвищення ефективності параболоциліндричного концентратора. запропоновано алгоритм розрахунку потоку сонячного випромінювання на приймальній поверхні параболоциліндричного концентратора з жалюзійним геліостатом

*Ключові слова: СОНЯЧНА БАТАРЕЯ, КОНЦЕНТРАТОР, ГЕЛІОСТАТ, ВІДБИВАЧ, ВИПРОМІНЮВАННЯ*



Created by Universal Document Converter

**ЗМІСТ**

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ..... 10

1.1. Перспективи розвитку геліоенергетики ..... 10

1.2. Огляд сучасних геліостанцій ..... 12

1.3. Напівпровідникові перетворювачі сонячної енергії в електричну ..... 14

1.4. Системи координат характеризують видимий рух Сонця ..... 17

1.5. Конструкція механічної частини стежучих електроприводів геліоустановок ..... 22

1.6. Типи систем стеження геліоустановок ..... 28

1.7. Висновки до розділу ..... 29

РОЗДІЛ 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА ..... 31

2.1. Міжпластинчасті ефекти в сонячних концентраторах з жалюзійними геліостатами ..... 31

2.1.1. Затінення і блокування ..... 32

2.1.2. Проходження сонячного випромінювання попри пластини ..... 39

2.2. Алгоритм розрахунку потоку сонячного випромінювання на поверхні параболоциліндричного концентратора з жалюзійним геліостатом ..... 41

2.2.1. Системи координат і напрямні вектори сонячних променів ..... 41

2.2.2. Траєкторії сонячних променів після відбивання від пластин ..... 47



Created by Universal Document Converter

2.2.3. Пряме проходження сонячних променів до дзеркальної поверхні параболоциліндра ..... 51
2.3. Орієнтація не стежучого сонячного концентратора з жалюзійним геліостатом ..... 54
2.3.1. Визначення тривалості роботи сонячного модуля з параболоциліндричним концентратором та оптичною системою на базі жалюзійних геліостатів ..... 54
2.3.2. Розробка алгоритму управління жалюзійним геліостатом ..... 57
2.4. Розробка конструкції концентратора ..... 64
2.5. Фотоелектрічний приймач сонячного концентруючого модуля (PV - модуль) ..... 74
2.6. Привід системи жалюзійних геліостатів ..... 77
2.7. Висновки до розділу ..... 79
РОЗДІЛ 3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА ..... 81
3.1. Способи створення формул в Microsoft Excel, використані при проведенні обрахунків ..... 81
3.2. Використання формул масиву ..... 85
3.3. Використання функцій. Робота з майстром функцій ..... 86
РОЗДІЛ 4. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ..... 88
4.1. Вступ ..... 88
4.2. Розрахунок капітальних витрат ..... 88
4.3. Розрахунок експлуатаційних витрат ..... 90
4.4. Визначення річної економії ..... 93
4.5. Визначення т а аналіз показників економічної ефективності ..... 94
4.6. Висновки до розділу ..... 95
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ..... 96



Created by Universal Document Converter

5.1. Можливість виникнення статичної електрики та заходи боротьби з нею ..... 96
5.2. Фізичні основи електробезпеки ..... 98
5.3. Зонування територій за ступенем небезпеки ..... 99
РОЗДІЛ 6. ЕКОЛОГІЯ ..... 102
6.1. Традиційна енергетика і її вплив на навколишнє середовище ..... 102
6.2. Нетрадиційна енергетика і її вплив на навколишнє середовище ..... 105
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ..... 108
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ ..... 110



Created by Universal Document Converter

# ВСТУП

**Актуальність теми.** Застосування концентруючих систем - один з основних способів зниження вартості енергії, що виробляється сонячними модулями. Оскільки в багатьох областях з централізованим енергопостачанням гостро стоїть питання енергоефективності міської забудови, використання інтегрованих в будівлі концентраторних сонячних модулів дозволить знизити потребу в централізованому електро- і теплопостачанні. Інтегрованість традиційних концентруючих модулів на даху і фасади будівель значно ускладнена, так як їх робота вимагає постійної орієнтації на Сонце. Не слідкуючі концентратори більший інтерес для інтеграції, оскільки їх порівняно велика кутова апертура дозволяє працювати без стеження за Сонцем, але тривалість їх роботи в літній період знижується до 2-4 годин на добу, в інші періоди року сонячні промені можуть зовсім не потрапляти в межі кутової апертури концентратора. Розширити часовий інтервал, протягом якого надходять на вхідну поверхню концентратора сонячні промені та потрапляють на приймач випромінювання, можна за допомогою розташованого на вхідний поверхні концентратора жалюзійного геліостата. Пристрій являє собою паралельні ряди синхронно працюючих вузьких дзеркальних смуг - пластин, що встановлюються під таким кутом до поверхні входу, щоб сонячні промені, що вийшли в результаті добового або річного руху Сонця за межі кутової апертури, після відбиття від дзеркальних пластин знову потрапили в межі апертури сонячного концентратора .

Таким чином, використання жалюзійних геліостатів може значно підвищити ефективність не слідкуючих сонячних концентраторів, в тому числі модулів, встановлених на фасадах адміністративних і житлових будівель, що особливо актуально в південних регіонах з великою часткою



Created by Universal Document Converter

прямої сонячної радіації.

**Предмет дослідження:** енергоустановки із нерухомими концентраторами потоку, засновані на використанні сонячної енергії .

**Об'єкт дослідження:** процеси розподілу у просторі сонячної енергії та перетворення її на електричну.

**Мета роботи**. Підвищення енегоефективності не слідкуючого сонячного концентратора за рахунок установки на його вхідний поверхні жалюзійного геліостату.

Для досягнення мети були поставлені такі **задачі**:

1. Виконати аналіз сучасного стану і перспектив використання концентрованого сонячного випромінювання в сонячних енергетичних установках з різними типами фотоприймачів.

2. Розробити алгоритм управління лінійним жалюзійним геліостатом для підвищення ефективності параболоциліндричного концентратора.

3. Розробити алгоритм розрахунку потоку сонячного випромінювання на приймальній поверхні параболоциліндричного концентратора з жалюзійним геліостатом.

**Наукова новизна отриманих результатів**.

Запропоновано аналітичну залежність, яка пов'язує схилення Сонця, крок дзеркальних пластин геліостату і їх орієнтацію для забезпечення умови мінімальних втрат на блокування і затінення в геліостатах із концентраторами потоку та жалюзійним геліостатом.

**Практичне значення отриманих результатів**:

Розроблено оптичні схеми і конструкції чотирьох типів сонячних модулів з жалюзійними геліостатами і концентраторами, що мають близькі до нуля втрати на затінення і блокування сонячного випромінювання.

**Апробація результатів роботи.** Окремі результати роботи доповідались на VII Міжнародній науково-технічній конференції молодих



Created by Universal Document Converter

учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 27-28 листопада 2019 року. ТНТУ.

**Структура роботи.** Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 6 частин, висновків та переліку посилань. Об'єм роботи: розрахунково-пояснювальна записка – 112 арк. формату А4, графічна частина – аркушів презентації.



Created by Universal Document Converter

# РОЗДІЛ 1.
# ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

## 1.1. Перспективи розвитку геліоенергетики

На думку академіка Ж.І. Алфьорова: «якщо б на розвиток альтернативних джерел енергії було витрачено лише 15 % коштів, кинутих на розвиток атомної енергетики, то АЕС для виробництва електроенергії в СРСР взагалі б не знадобилися» [1].

За останні 100 років ККД, найбільш вживаних сонячних елементів виріс в 20 разів і продовжує зростати. При цьому за 30 років пройшли з початку їх використання ціна на фотоелементи впала в 10 разів і також продовжує падати. На даний момент їх собівартість становить уже приблизно 2-3 дол. / Вт [2].

І це, незважаючи на те, що застосовувана нині технологія виробництва сонячного кремнію залишається тією ж, що і в 50-х роках XX століття, і має наступні недоліки: висока енергоємність, низький вихід кремнію, нанесення шкоди екології [3].

Ще в 70-х роках XX століття в Алма-Атинському Інституті фізики високих матерій, при вивченні наноструктури різних матеріалів, був виявлений цікавий ефект: виявилося, що атоми водню сідають на обірвані зв'язки в кристалічній решітці кремнію і нейтралізують електричну активність дефектів. Після серії експериментів підтвердилася інформація про те, що водень покращує властивості кремнієвих структур. Тобто за допомогою водневої пасивації можна порівняно недорого отримати надчистий кремній, який застосовується в геліоенергетиці [4]. Продовжуючи подібні розробки, фірма «Сіменс» запропонувала нову

| | | | | | ДРМ 315.18.00.00.000 ПЗ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |
| Розробив | | Мазуркевич О.П. | | | РОЗДІЛ 1 | Літ. | Аркуш 10 / 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

технологію виробництва кремнію високої якості методом прямого відновлення з природно-чистих кварцитів, вартість кремнію при цьому доходить до 5-15 дол./кг. При застосуванні цієї технології в широких масштабах вартість сонячних елементів і модулів за деякими оцінками складе 0,7-1,4 дол./Вт [3], що в 2 рази менше ніж в даний час. Причому цей метод ще й екологічно чистіший.

Якщо прийняти ККД ТЕС, що працює на мазуті 33 %, то 1 кг кремнію по вироблюваної електроенергії еквівалентний приблизно 75 тоннам нафти [3], а при цінах на нафту, близько 100 дол за барель, це приблизно 55 тис. дол, що незрівнянно з максимум 30 дол за 1 кг кремнію.

Адже в цих цінах не враховується ту шкоду, яку сучасна енергетика завдає екології, що викликає необхідність величезних витрат на її відновлення. А шкода, що наноситься життю і здоров'ю людей, оцінці взагалі не піддається, хіба що можна враховувати витрати на медицину і втрати роботодавців від тимчасової непрацездатності працівників. Якщо врахувати всі ці приховані витрати в тарифах на енергію, то сонячна енергетика виявиться цілком конкурентноспроможної в порівнянні з сучасними ТЕС.

Так само не варто забувати, що при нинішніх темпах споживання викопних ресурсів, за рік в світі споживається стільки нафти, яка утворюється в природних умовах за 2 млн. років, а в майбутньому ціни на нафту будуть неухильно зростати і збільшаться в порівнянні з сьогоднішніми цінами у багато разів.

При цьому виробництво фотоелементів щороку стає все більше і більше масовіше: так, якщо до 1997 року приріст становив 15 % на рік, то після 1997 року це було вже 30 % на рік, до 2004 року приріст досяг 50 % в рік. На сьогоднішній день у всьому світі за рік виробляється фотоелементів на 1200 МВт встановленої енергії. [5]

, причому мережа купує електроенергію за вищою ціною, ніж продає.



Created by Universal Document Converter

Українська енергетика на сьогодні споживає в основному нафту і газ, а це, як відомо непоновлювані джерела енергії, які з часом закінчаться.

### 1.2. Огляд сучасних геліостанцій

На сьогоднішній день людство навчилося перетворювати сонячну енергію в теплову і електричну.

Перетворення сонячної енергії в теплову здійснюється тепловими геліоустановки [6] (рис. 1.1, 1.2). Широке застосування на сьогоднішній день отримали теплові геліоустановки наступної конструкції: металевий або пластиковий короб, пофарбований зсередини в чорний колір і закритий прозорим склом з боку надходження променевої енергії. Нагрівається в коробі робоче тіло (повітря або рідина) періодично або постійно відбираються в систему гарячого водопостачання або опалення за допомогою природної циркуляції, вентилятора або насоса.



Рис. 1.1. Сонячна електростанція баштового типу із дзеркалами-геліостатами, які постійно спрямовують сонячне проміння на вершину вежі



Created by Universal Document Converter



Рис. 1.2. Сонячна установка тарілкового типу із двигуном Стірлінга

Ще один спосіб перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну це застосування фотоелектричних перетворювачів. Цей спосіб на сьогоднішній день, мабуть, найбільш перспективний. Фотоелектричний перетворювач являє собою напівпровідниковий прилад в p-n переходом на якому виникає ЕРС при опроміненні його потоком променевої енергії [7]. На базі фотоелектричних перетворювачів може бути створена сонячна електростанція практично будь-якої потужності з незмінним ККД (близько 15-20 %), тому що до її складу може входити як один фотоелемент, так і кілька тисяч. При цьому фотоелементи досить прості в монтажі. А головною їх перевагою є те, що в фотоелементі відбувається безпосереднє перетворення енергії променевого потоку в електричну без проміжних перетворень в теплову, як в інших типах сонячних електростанцій.



Created by Universal Document Converter

### 1.3. Напівпровідникові перетворювачі сонячної енергії в електричну

Найпоширеніші на сьогоднішній день фотоелементи створюються на основі монокристалічного кремнію. Конструкція подібного об'єкта показана на рисунку 1.3. При освітленні фотоелемента в його p-шарі вивільняються електрони, які, виникають електричним полем, виносяться через p-n перехід в n-шар. А вивільнені в n-шарі дірки переносяться в p-шар. В результаті чого n-шар набуває негативний заряд, а p-шар - позитивний. На рисунку 1.4 показана вольтамперная характеристика фотоелемента на основі монокристалічного кремнію [8].

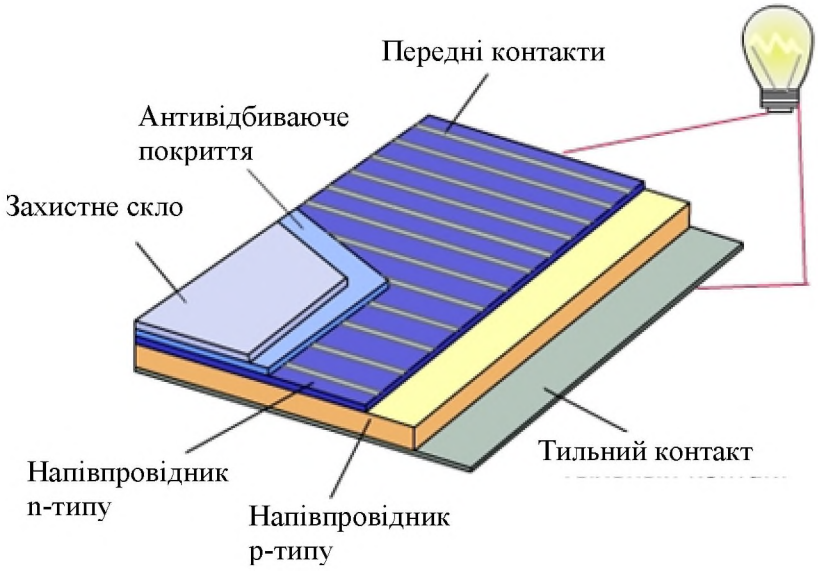



Рис. 1.3. Конструкція сонячного елемента

ККД монокристалічних кремнієвих сонячних фотоелементів досить малий і досягає всього 15-20 %, для масового виробництва ККД і того менше 10-15 %. [8].

Так само до недоліків сонячних фотоелементів на базі монокристалічного кремнію відносяться невисоке значення вихідної потужності до маси й висока вартість.



Created by Universal Document Converter

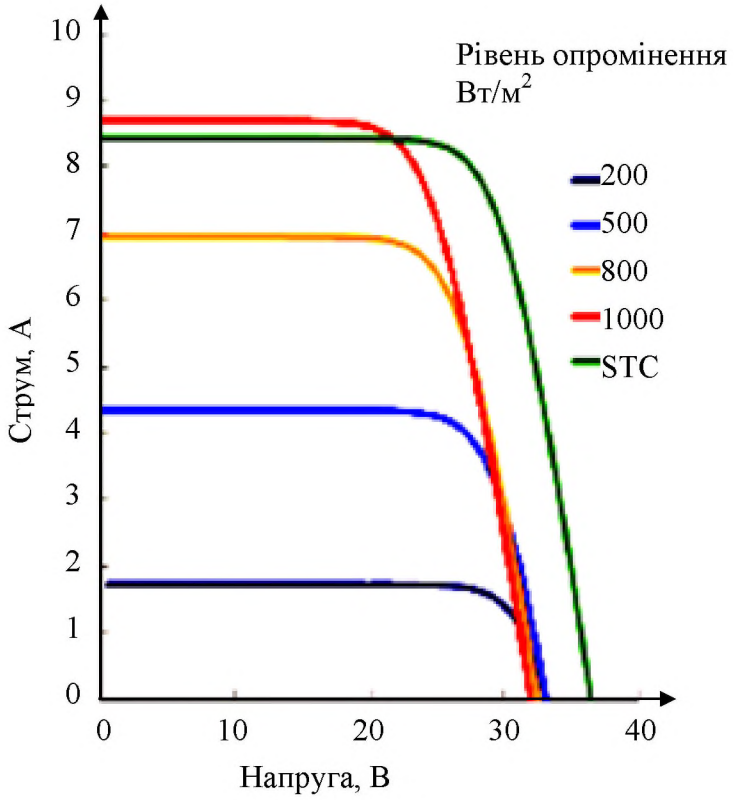



Рис. 1.4. Вольтамперная характеристика сонячного елементу RZMP-215-T потужністю 200 Вт

Існують і інші види сонячних фотоелементів. Наприклад, плівкові фотоелементи з сульфіду кадмію та телуриду кадмію мають значно більш високе відношенням вихідної потужності до маси і великим терміном служби в порівнянні з кремнієвими фотоелементами. Але при цьому їх ККД поступається кремнієвих фотоперетворювачам.

Також для створення фотоелементів використовуються полікристалічний і аморфний кремній, головною перевагою якого є низька вартість, однак, і ККД таких елементів значно нижче, ніж у елементів з монокристалічного кремнію. А для систем з концентрацією променевого потоку високий ККД є одним з основних вимог, тому не слід чекати застосування подібних елементів в системах з концентрацією променевого потоку [9], [10]. Також ККД таких елементів можна підвищити шляхом



Created by Universal Document Converter

введення до їх складу наночасток сульфіду кадмію - CdS або сульфіду свинцю - PbS, причому підвищення ККД може скласти до 3,5-5 %. [11]

Високоомні епітаксіальні структури кремнію, на дешевих низькоомних підкладках кремнію можуть стати основою для створення високоефективних і дешевих фотоперетворювачів [12].

На сьогоднішній день, також ведуться розробки фотоелементів на основі арсеніду галію (GaAs). Вони мають на порядок вищий діапазоном ступеня концентрації, в порівнянні з кремнієвими елементами, що пояснюється меншою величиною внутрішніх омічних втрат і кращою температурною стабільністю ККД. У концентруючих системах на основі подібних СЕ можливе застосування більш простих систем охолодження. Максимальне значення ККД, отримане в таких фотоелементах, перевищує 25 % при коефіцієнті концентрації 100-1000, при цьому зміна ККД в інтервалі робочих температур 20-100° С незначна [10]. У 1989р. фірмою «Boeing» був створений двошаровий фотоелемент, що складається з арсеніду галію і антимоніду галію. Причому в шарі арсеніду галію перетвориться видима частина спектру випромінювання, а в шарі антимоніду галію інфрачервона частина спектру, яка в інших фотоелементах не використовується, що дозволяє підвищити ККД майже в два рази. ККД подібного об'єкта дорівнює 37 %, що близько до ККД нинішніх теплових і атомних станцій. Але поки подібні елементи не отримали широкого розповсюдження через свою дорожнечу.

До цікавих розробок можна віднести роботу співробітників Массачусетського технологічного інституту, які виготовили експериментальний фотоелемент, що генерує електрику з допомогою рослинних білків. У листі зелених рослин такі протеїни сконцентровані в хлоропластах, спеціалізованих органелах, в яких і відбувається фотосинтез. Марк Балдо і його колеги виділили кілька подібних білків з хлоропластів звичайного шпинату. Потім учені з'єднали їх з біоконсервантом і покрили



Created by Universal Document Converter

цією сумішшю золоту пластику, що виконує функції електроду. Цей «бутерброд» був накритий тонкою напівпрозорою металевою смужкою і упакований в електропровідний полімер. В результаті вийшов фотоелемент з ККД 12 %. Експериментатори розраховують значно збільшити час життя свого пристрою (зараз воно може працювати не більше трьох тижнів), а також довести його ККД як мінімум до 20 %. Якщо цю дослідницьку програму вдасться здійснити, фотоелемент на шпинаті зможе цілком успішно конкурувати з твердотільними сонячними батареями [13].

### 1.4. Системи координат характеризують видимий рух Сонця

Для підвищення ККД геліоустановок застосовують системи спостереження за Сонцем, а геліоустановки з концентрацією променевого потоку енергії взагалі не можуть обійтися без подібних систем. Щоб вдосконалити ці системи, необхідно зрозуміти, в яких системах координат і як відбувається рух об'єкта спостереження, тобто Сонця.

Почати варто з визначення застосовується в астрономії термінології. Земна куля обертається навколо своєї осі, яка називається віссю світу (рис. 1.5), із заходу на схід, і, відповідно, щодо спостерігача із Землі відбувається обертання Сонця і небесної сфери з сходу на захід. Вісь світу проходить через центр сфери і перетинає її в північному полюсі світу (точка P) і південному полюсі світу (точка P'), як показано на рисунку 1.5. Вісь світу паралельна земної осі. Площина, перпендикулярна осі світу, проходить через центр сфери і перетинається з нею по великому колу (QWQ'E), який називається небесним екватором. Площина небесного екватора збігається з площиною земного екватора.



Created by Universal Document Converter

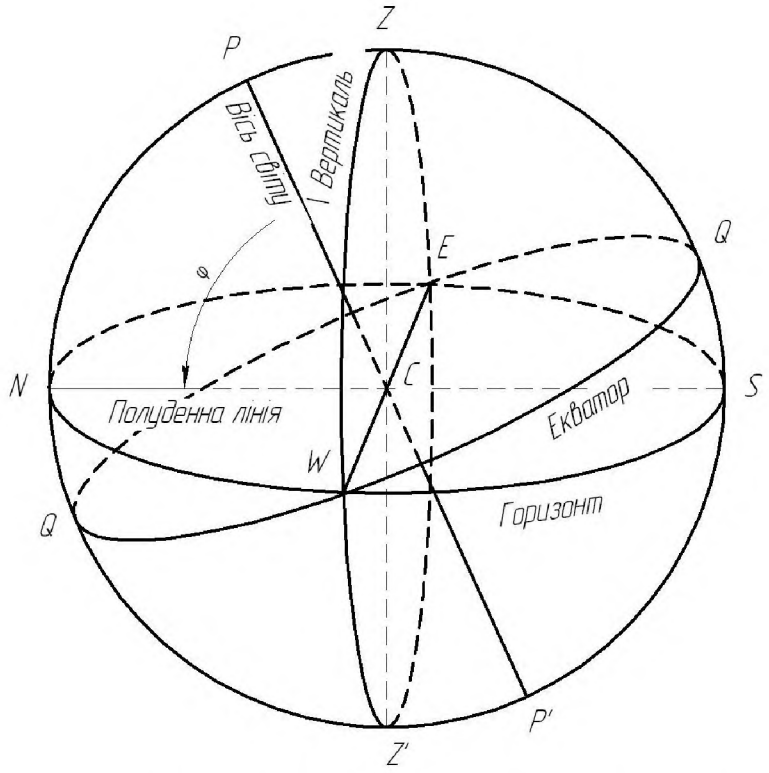



Рис. 1.5. Основні лінії і точки небесної сфери

Точки зеніту (Z) і надира (Z') знаходяться на вертикальній, по відношенню до спостерігача, лінії, спрямованої уздовж вектора сили тяжіння. Зеніт знаходиться над головою спостерігача. Площина, проведена перпендикулярно прямовисної лінії (ZZ') і проходить через центр сфери, називається математичним або істинним горизонтом. Площина, що містить прямовисну лінію і вісь світу, називається площиною небесного меридіана, яка в перерізі з небесною сферою утворює небесний меридіан (PZSP'Z'Q'N). Перетин горизонту з меридіаном відбувається в точках півдня (S) і півночі (N), а їх площини перетинаються по полуденної лінії (NS). Небесний екватор перетинається з істинним горизонтом в точках сходу (E) і заходу (W). Вертикальна площина, перпендикулярна до площини меридіана і горизонту, називається площиною першого вертикалу і перетинається з горизонтом в точках сходу (E) і заходу (W). Велике півколо небесної сфери, що проходить через зеніт, надир і точку, в якій в даний момент знаходитися світило, називається вертикалом або колом висоти. Велике коло небесної сфери, що



Created by Universal Document Converter

проходить через полюси світу і спостережуване світило, називається колом сходження. Кут нахилу осі світу до горизонту дорівнює географічній широті ($\varphi$) місця спостереження (тобто висота полюса світу $h_p$ над горизонтом дорівнює географічній широті $\varphi$ місця спостереження, $h_p = \varphi$).

Велике коло небесної сфери, по якому центр Сонця переміщається протягом року, як показано на рисунку 1.6, називається екліптикою. Екліптика перетинається з екватором під кутом $\varepsilon \sim 23°$, в точках весняного й осіннього рівнодення. При обертанні небесної сфери позиція екліптики відносно горизонту змінюється, на противагу всім іншим переліченим лініях небесної сфери. Положення Сонця на небесній сфері визначаються двома сферичними координатами, для опису яких використовуються дві системи координат: азимутально-зенітальна (рис. 1.7) і екваторіальна (рис. 1.8).

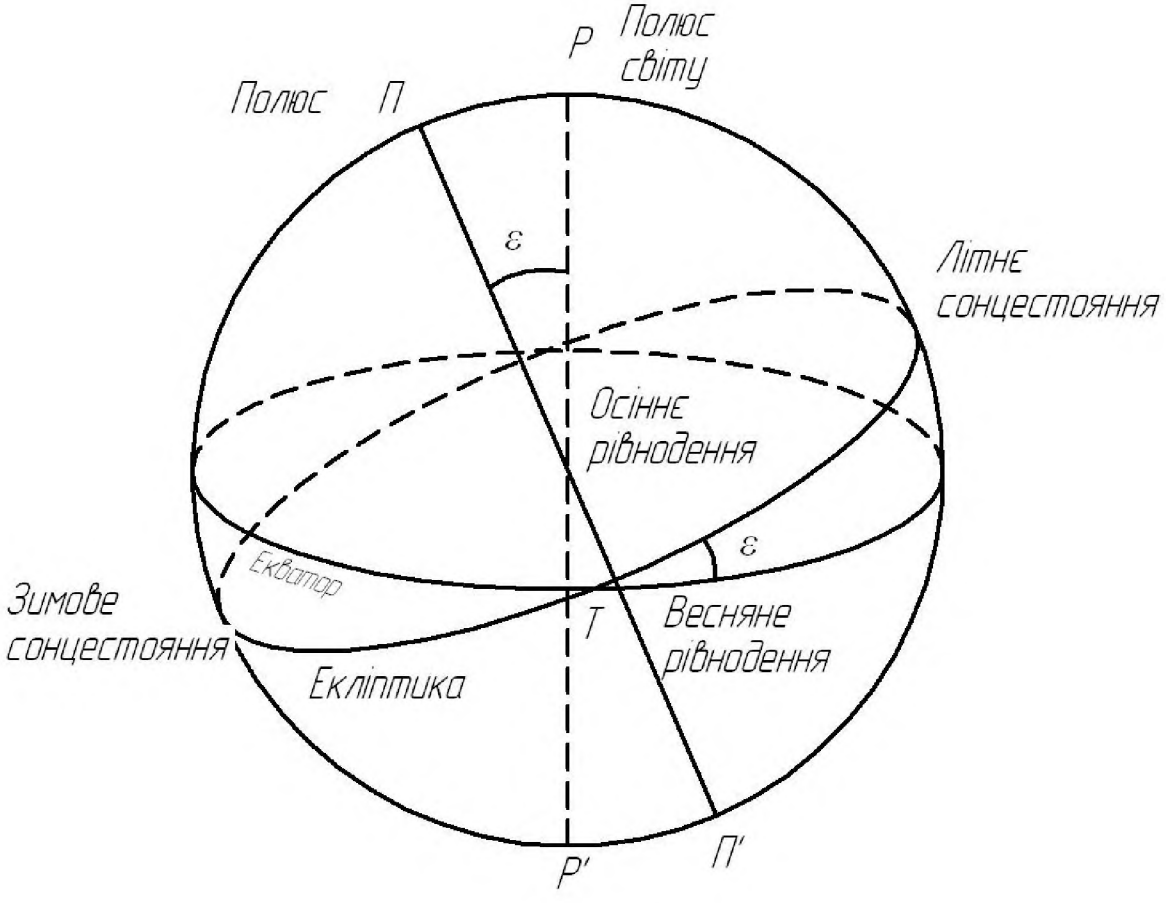



Рис. 1.6. Екватор і екліптика



Created by Universal Document Converter

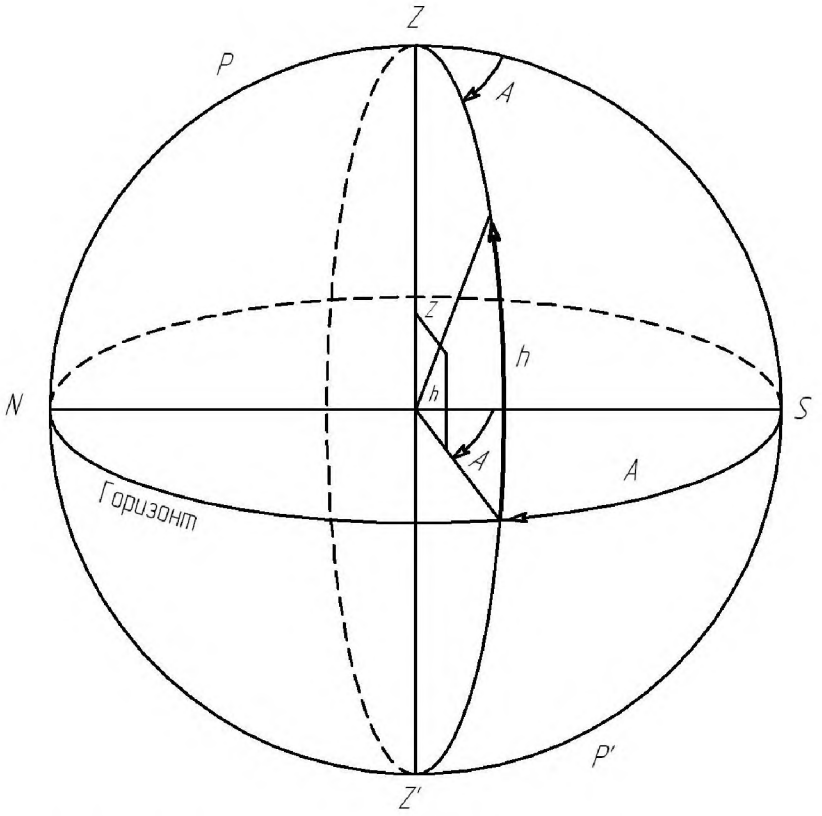



Рис. 1.7. Азімутально-зенітальна система координат

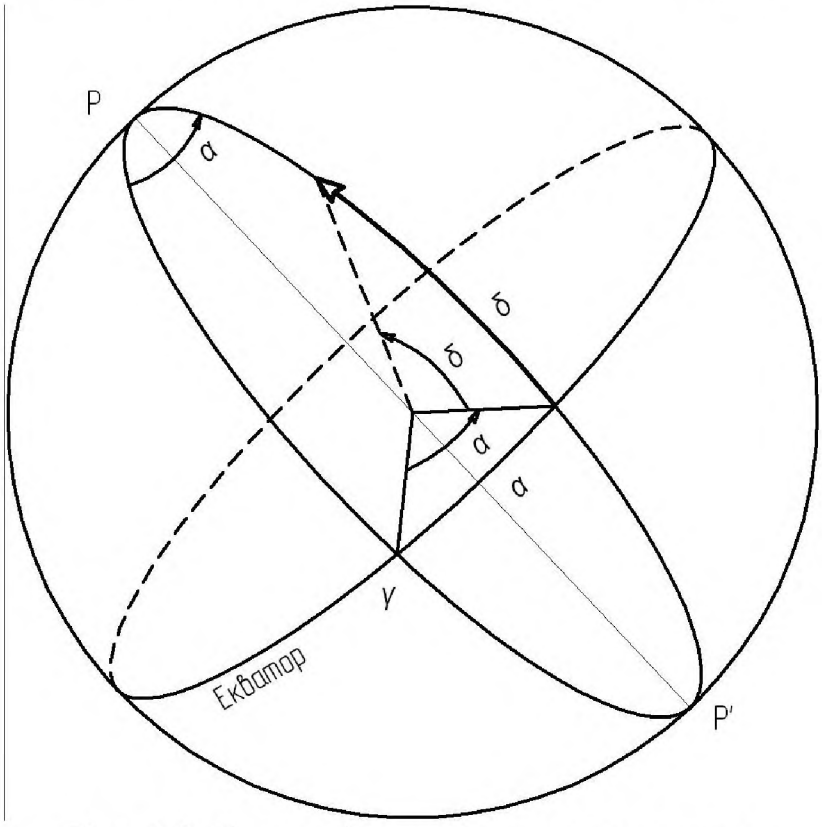



Рис. 1.8. Екваторіальна система координат



Created by Universal Document Converter

У азимутально-зенітальній системі координат положення Сонця визначається щодо зеніту і небесного меридіану за двома відповідним координатам зенітальних відстані ($z$) і азимуту ($A$). Зенітnf відстань - це дуга вертикального кола від зеніту до центру Сонця, або кут між зенітом і напрямком на Сонце. Замість зенітальної відстані ($z$) часто використовують поняття висоти (h), рівне 90°-h, тобто кутова відстань Сонця від горизонту. Азимут визначає меридіан, на якому знаходиться Сонце. Зенітна відстань або висота і азимут залежать від широти місця і від моменту спостереження. Вони вимірюються в межах: 0° <z <180°, -90° <h <+90°, 0° <A <360°.

В екваторіальній системі координат положення Сонця визначається схиленням ($\delta$) і годинниковим кутом ($\alpha$). Схиляння - це кут між площиною небесного екватора і напрямком на Сонце або дуга від небесного екватора до центру Сонця уздовж кола схилення, воно виражається в градусах, хвилинах та секундах. У північній півкулі схилення додатне, а в південному – від'ємне. Годинний кут ($\alpha$) відраховується від точки перетину екватора з меридіаном до перетину екватора з колом схилення, що проходить через центр Сонця. Годинний кут залежить від часу спостереження і виражається в годинній мірі, при цьому 24 год = 360 °: 1 год = 15°; 1 хв = 15', 1 сек= 15"..

Протягом року Сонце переміщається по небосхилу із заходу на схід по екліптиці, яку можна представити на площині у вигляді карти. Переміщення Сонця щодо кута відмінювання нерівномірно. Найбільша його швидкість досягається в перших числах січня, коли вона становить близько 1°7 ' на добу, а найменша в перших числах липня, близько 57' на добу. [14]

Головними датами річного руху Сонця є:

21 березня: день весняного рівнодення. Координати центра Сонця $\alpha = 0$ год, $\delta = 0°$. Сонце перетинає екватор, переходячи з південної півсфери в північну. Тривалість дня дорівнює довготі ночі на всій земній кулі.

22 червня: день літнього сонцестояння. Координати центра Сонця $\alpha = 6$ год, $\delta = \varepsilon = 23°,5$. Сонце на максимальному видаленні від небесного



Created by Universal Document Converter

екватора і знаходиться в зеніті опівдні на широті $\varphi = 23{,}5°$ пн.ш. У північній півкулі найдовший день і найкоротша ніч. У південній півкулі - навпаки. Полярний день і полярна ніч на широтах північної і південної широти відповідно.

23 вересня: день осіннього рівнодення. Координати центра Сонця: $\alpha = 12$ год, $\delta = 0°$. Сонце перетинає екватор, переходячи з північної півсфери в південну, і знаходиться в зеніті опівдні на екваторі. Тривалість дня дорівнює довготі ночі на всій земній кулі.

22 грудня: день зимового сонцестояння. Координати центра Сонця: $\alpha = 18$ год, $\delta = -\varepsilon = -23°,5$. Сонце на максимальному видаленні від небесного екватора і знаходиться в зеніті в зеніті на широті $\varphi = 23{,}5°$ пд.ш. У південній півкулі найдовший день і найкоротша ніч. В північній півкулі - навпаки. Полярний день і полярна ніч на широтах південної і північної широти відповідно.

### 1.5. Конструкція механіки електроприводів геліоустановок

Слідкування геліоустановки за Сонцем застосовують для підвищення ККД геліоустановок без концентрації променевого потоку. А для геліоустановки з концентрацією променевого потоку енергії стеження геліоустановки за Сонцем є обов'язковим.

Підвищення ККД геліоустановки, пов'язане із застосуванням системи спостереження за Сонцем, можна оцінити за залежністю вихідної потужності фотоелемента від кута падіння потоку променевої енергії. На рисунку 1.9 представлена експериментально отримана залежність фотоструму $I_ф$ від кута падіння потоку променевої енергії $a$ [15], тому вихідна напруга фотоелемента залишається постійною, а фотострум буде прямо пропорційний вихідній потужності. Так само слід зазначити, що отриману криву в наближенні можна описати функцією:



Created by Universal Document Converter

$$F = k \cdot \cos(\alpha), \qquad (1.1)$$

де $k$ – коефіцієнт пропорційності, індивідуальний для кожного конкретного фотоелемента.

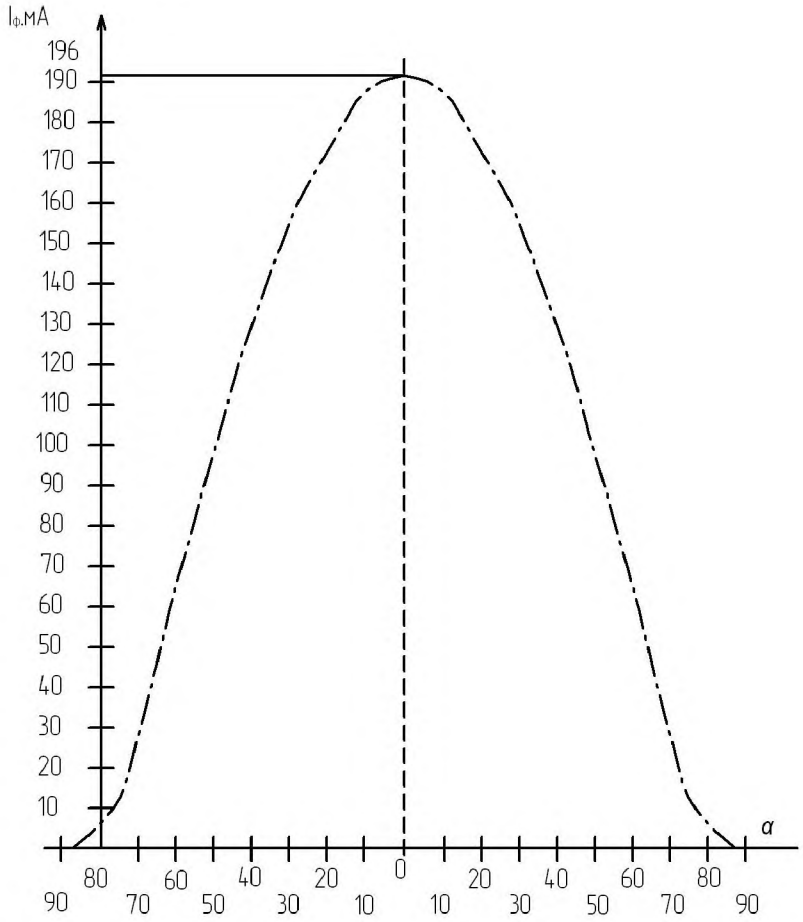



Рис. 1.9. Залежність сили струму фотоперетворювача від кута падіння випромінювання

Якщо фотоперетворювач не рухомий, то вироблена ним за добу енергія в кращому випадку дорівнює:

$$W = t \cdot \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} k \cdot \cos(\alpha) d\alpha = t \cdot k \cdot \left( \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) - \sin\left(-\frac{\pi}{2}\right) \right) = 2 \cdot k \cdot t, \qquad (1.2)$$

а при наявності стеження за сонцем ця величина складе:



Created by Universal Document Converter

$$W = t \cdot \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} k \cdot d\alpha = t \cdot k \cdot \left( \frac{\pi}{2} - \left( -\frac{\pi}{2} \right) \right) = \pi \cdot k \cdot t, \qquad (1.3)$$

де $t$ - час від світанку до заходу.

Тобто в цьому випадку енергія, а з нею і середнє значення потужності, більше в $\frac{\pi}{2}$ раз. Відповідно застосування системи стеження за Сонцем дозволяє збільшити ККД геліоустановки на 57 %.

Геліоустановки з концентрацією променевого потоку в принципі не можуть працювати без орієнтації на Сонце, тому що в цьому випадку велику частину часу вони не будуть направляти відбитий потік на фотоелемент.

Для наведення геліоустановок на Сонце використовуються електропривід, що використовує екваторіальну або азимутально-зенітальну системи координат, причому електропривід може застосовуватися як одно- так і двокоординатний.

Екваторіальна система координат застосовується для геліоустановок без концентрації потоку променевої енергії або з малим коефіцієнтом концентрації. Це викликано малою швидкістю зміни кута схилення Сонця, що дозволяє здійснювати стеження за ним вручну кілька разів на рік. На рис. 1.10 представлено опорно-поворотний привід геліоустановки з екваторіальної системою координат. На осі стеження за кутом схилення 1 розташована нахилена під прямим кутом до кута схилення вісь спостереження по годинному куту 2, верхній кінець якої кріпиться до опори 3. Вісь 1 і опора 3 знаходяться на основі 4. Обертання по осі 1 здійснюється вручну, обертання по осі 2 здійснюється з використанням стежучого електроприводу 5. На осі 2 встановлений фотоприймач 6.



Created by Universal Document Converter

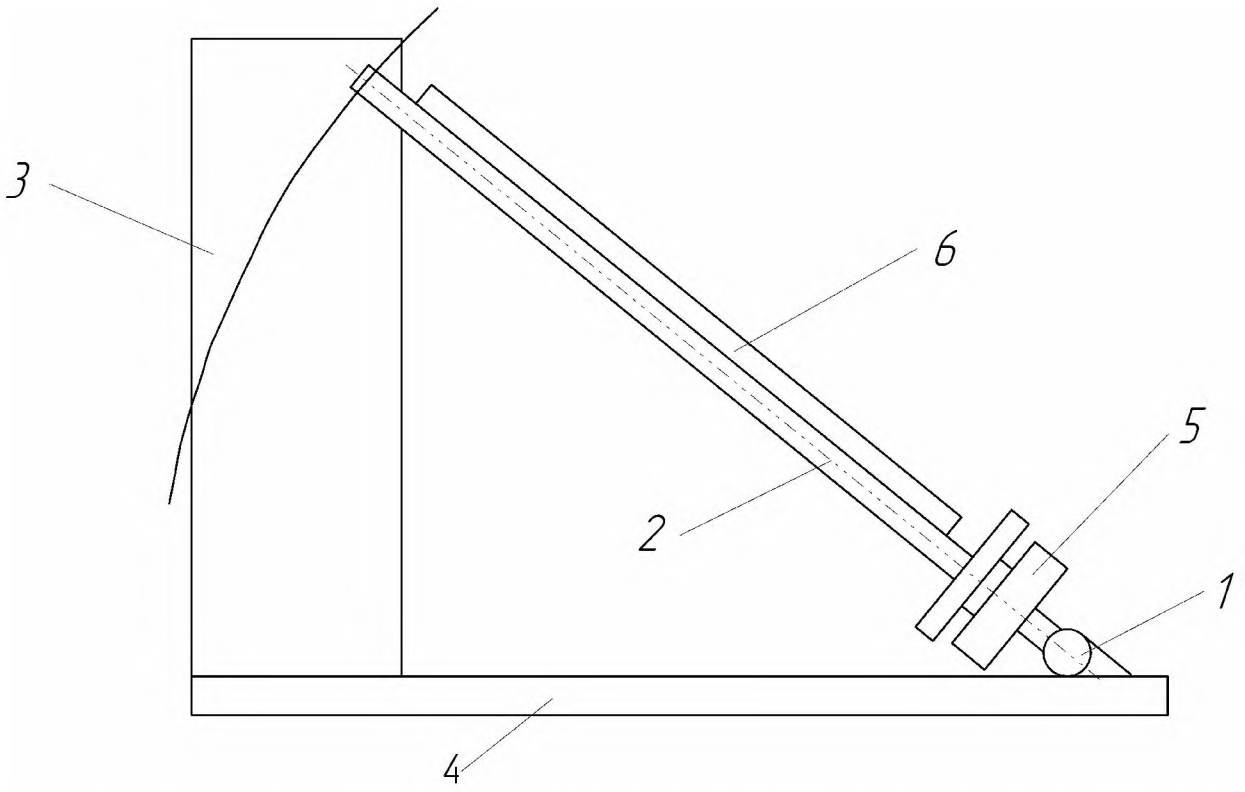



Рис. 1.10. Екваторіальний опорно-поворотний привід геліоустановки

У геліоустановках з високим ступенем концентрації, що потребують високої точності наведення на Сонце, електропривід встановлюється для стеження за обома координатами. У подібних геліоустановка екваторіальну систему координат використовують рідше, ніж азимутально-зенітальну, оскільки остання має більш функціональну конструкцію та швидкість зміни координат в ній ближче одна до одної, що спрощує експлуатацію електроприводу.

Як приклад двохкоординатного приводу, на рисунку 1.11 представлено опорно-поворотну схему геліоустановки з концентратором потоку променевої енергії. Нерухома опора 1 встановлена на основі 2. На нерухомій опорі 1 розташований стежучий за азимутальною координатою електродвигун 3, вихідний вал якого тросовою передачею з'єднаний зі шківом 4. Шків приводить в обертання азимутальноу рухому опору 5. Стежучий за зенітальною координатою електродвигун 6 встановлено у верхній частині рухомої опори 5, а вихідний вал електродвигуна 6 тросової



Created by Universal Document Converter

передачею з'єднаний зі шківом 7, який безпосередньо з'єднаний з концентратором 8. У точці фокусування концентратора 8 знаходиться фотоелемент 9. Для врівноваження крутного моменту, створюваного на валу електродвигуна 6 концентратором 8 з фотоелементом 9, застосовано противагу 10. [16]

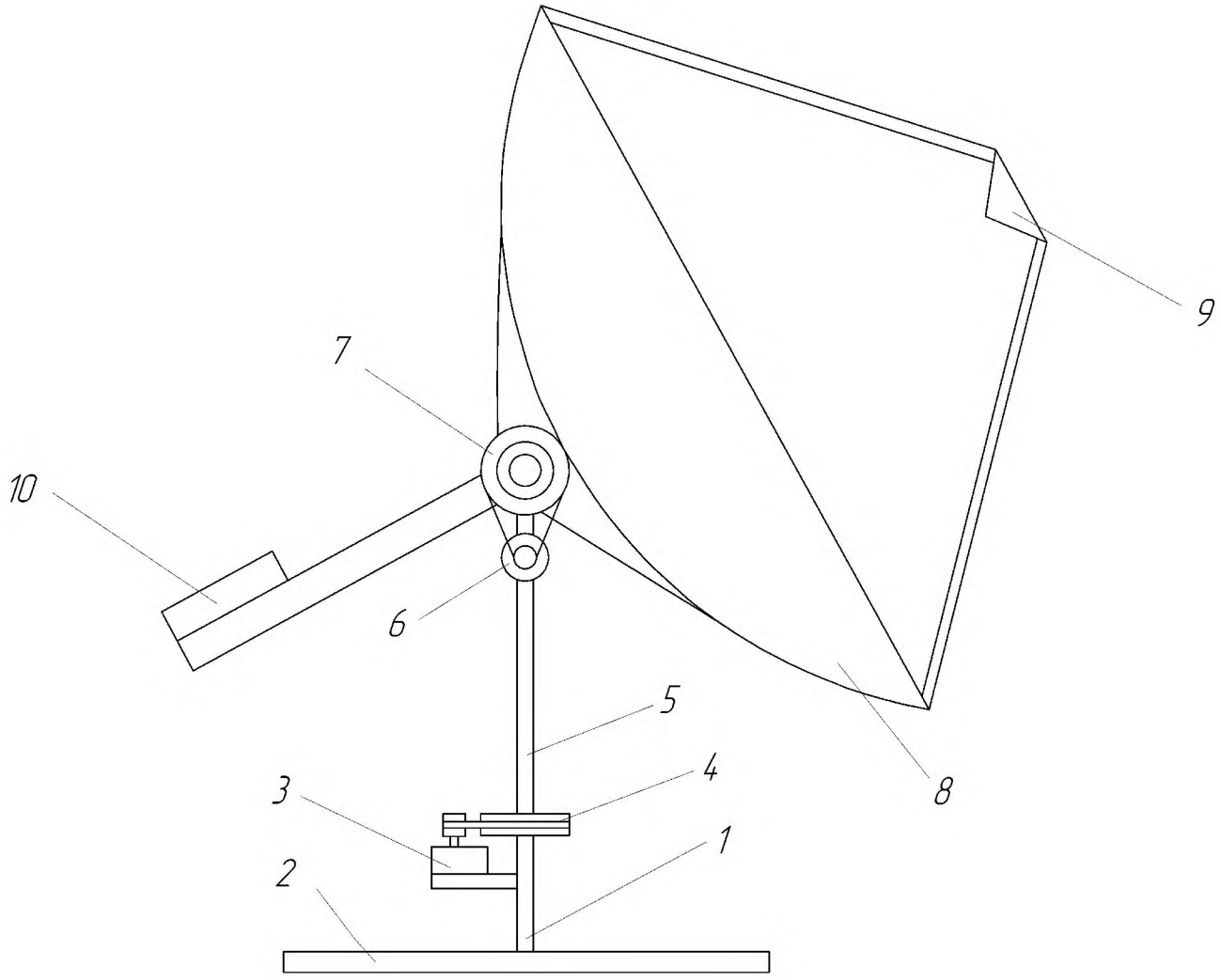



Рис. 1.11. Азимутально-зенітальна опорно-поворотна схема геліоустановки з винесеним електроприводом



Created by Universal Document Converter

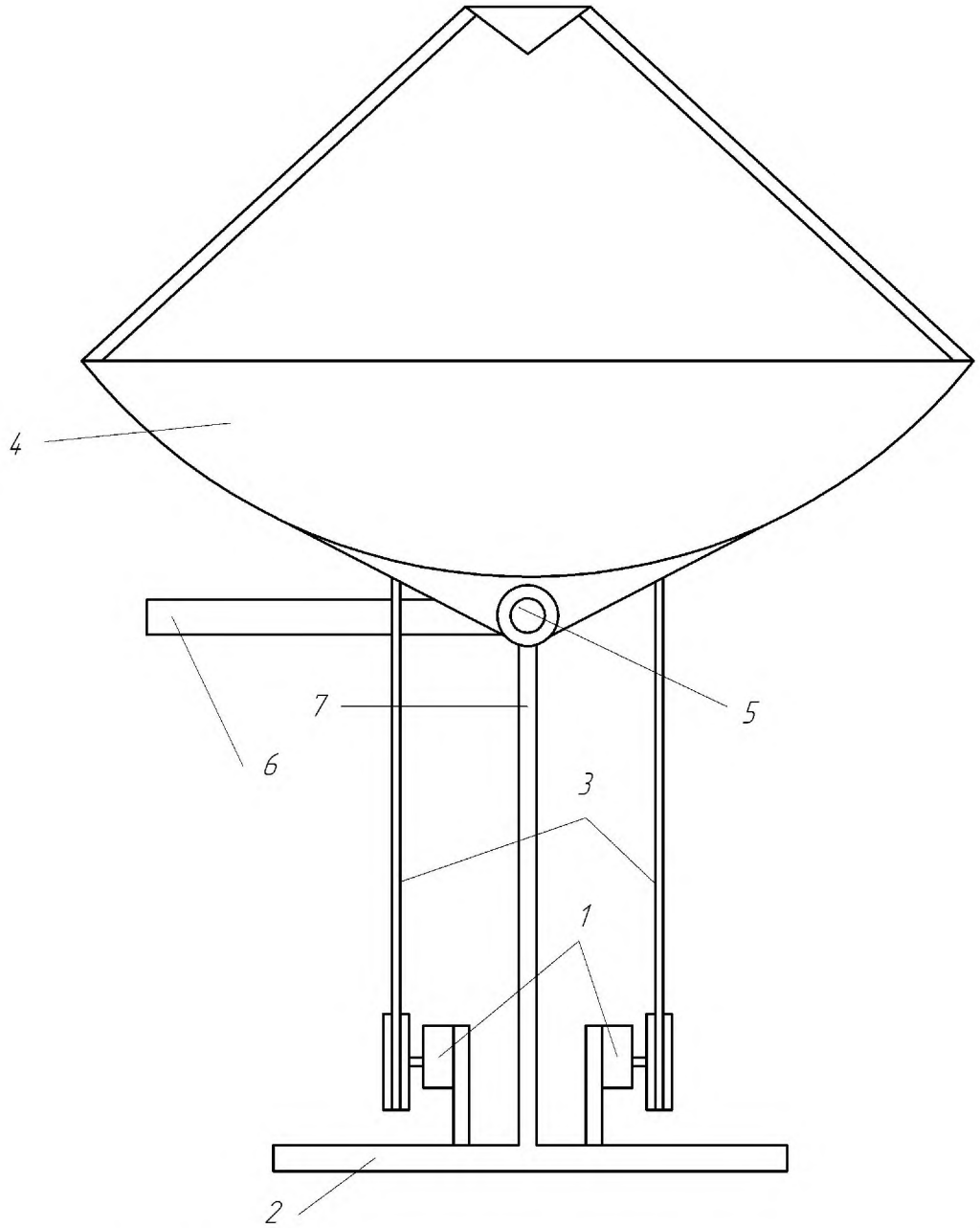



Рис. 1.12. Опорно-поворотний пристрій геліоустановки з взаємопов'язаним електроприводом

Існують також двухкоординатні опорно-поворотні пристрої, в яких кожен з двигунів не відповідає за спостереження за жодною з раніше описаних координат. Це опорно-поворотні пристрої з взаємопов'язаним електроприводом, приклад подібної установки зображений на рисунку 1.12. Два електродвигуна 1 розташовуються на основі 2. На вихідних валах редукторів розташовані котушки, на які намотані троси 3, з'єднані з



Created by Universal Document Converter

концентратором 4. Концентратор 4, через шарнір 5 кріпиться на пружині 6. При лінійному переміщенні тросів 3 концентартор 4 здійснює кутовий рух щодо осі пружини 6 при переміщенні відразу двох тросів, або відносно осі перпендикулярної нашому погляду при протилежному переміщенні тросів. Шарнір 5 і пружина 6 кріпляться на стійці 7.

### 1.6. Типи систем стеження геліоустановок

Для здійснення стеження необхідно визначати поточне положення Сонця, що можна зробити двома способами, або за рахунок програмного управління за заздалегідь відомим законам руху Сонця по небосхилу, або шляхом установки датчика неузгодженості, що визначає кут падіння потоку променевої енергії на фотоелемент. Програмне управління здійснюється як від ЕОМ, при необхідності високої точності наведення, так і за допомогою часового заведення для екваторіальних систем з не високою точністю наведення.

Незважаючи на широке розповсюдження програмного управління, в даний час більш обґрунтовано застосування управління від датчиків неузгодженості, що робить систему простішою в експлуатації і мобільною, тому що програмовані системи вимагають корекції програми при кожній зміні розташування геліоустановки.

До того ж датчики неузгодженості в даний час активно вдосконалюються, забезпечуючи все більше високу точність і надійність, про це можна судити по наступних робіт [16], [17], [18], [19], [20], [21] та [22].

Для орієнтації геліоустановок можуть використовуватися системи електроприводів на базі різних типів електродвигунів, це можуть бути і двигуни змінного струму, і кроковий електропривід, і двигуни постійного струму, причому як звичайні, так і безконтактні.



Created by Universal Document Converter

Двигуни змінного струму недоцільно застосовувати, тому що геліоустановки виробляють постійний струм. Хоча, коли геліоустановка виробляє електроенергію для живлення споживачів, яким необхідний змінний струм, в окремих випадках використання приводів змінного струму може бути виправдано. Але й тоді ККД приводу зменшується за рахунок додаткового перетворення споживаної інвертором енергії.

Крокoвий електропривід і електропривід на основі безконтактного двигуна постійного струму при своїй високій надійності на сьогоднішній день занадто складні і дорогі для серійних геліоустановок наземного базування, хоча вже сьогодні вони знаходять широке застосування в космосі З часом подібні установки знайдуть широке застосування і на Землі, тому що існує тенденція до скорочення різниці в ціні між даними типами двигунів і колекторними двигунами.

Найбільш поширені на геліоустановках наземного базування на сьогоднішній день електроприводи на базі двигунів постійного струму.

З цього можна зробити висновок, що оптимальним для стеження геліоустановок за Сонцем, є електропривід постійного струму з керуванням від датчика неузгодженості.

### 1.7. Висновки до розділу

1. Сонячна енергія вже сьогодні застосовується в якості альтернативного джерела енергії, а в майбутньому вона стане одним з основних джерел енергії. Так Європейський Союз планує, що до 2020 року поновлювана енергетика займе 20 % від всього ринку електроенергії.

2. Розглянуто різні типи геліоустановок перетворюють сонячну енергію в електричну і теплову. І зроблено висновок про перспективу широкого розповсюдження фотоелектричних перетворювачів.



Created by Universal Document Converter

3. В даний час розвиток фотоелементної бази йде швидкими темпами. ККД серійних фотоелементів досяг вже 15-20 %, а для кращих експериментальних зразків до 37 %, і в майбутньому він буде тільки збільшуватися при зменшенні ціни і підвищення довговічності. Що дає привід чекати бурхливого розвитку геліотехніки в найближчому майбутньому.

5. Розглянуто теоріюруху Сонця по небосхилу. І показані дві системи його координування: екваторіальна і азимутально-зенітальна.



Created by Universal Document Converter

# РОЗДІЛ 2.
# ОСНОВНА ЧАСТИНА

## 2.1. Міжпластинчасті ефекти в сонячних концентраторах з жалюзійними геліостатами

Нами розглянуто використання геліостатів спільно з не стежучими концентраторами (рис. 2.1). Специфіка не стежучих концентраторів - велика кутова апертура - дозволяє вільно змінювати напрямок відбитого від пластин сонячного проміння в заданих апертурою межах, що значно розширює можливості управління геометрією жалюзійних геліостатів.

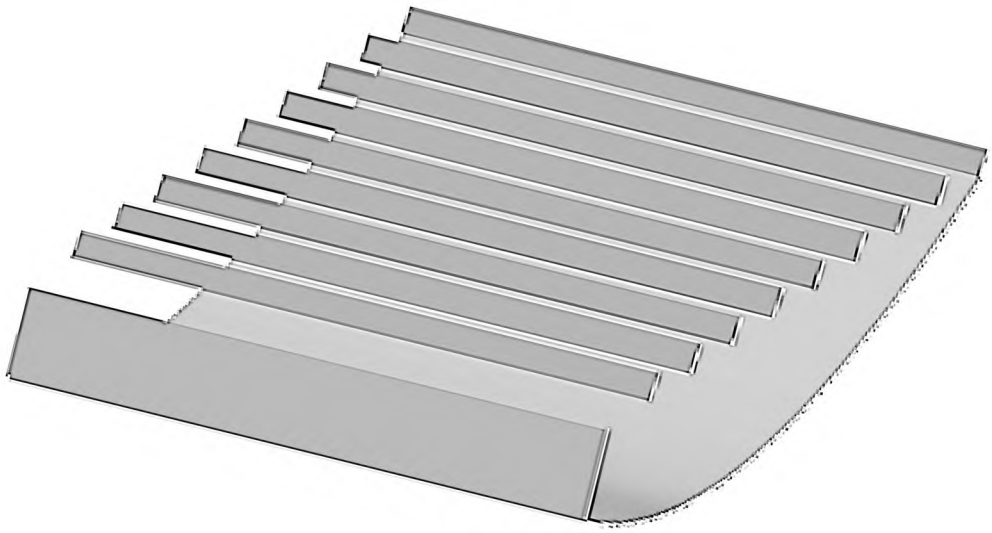


Рис. 2.1. Жалюзійний геліостат у концентраторі сонячної енергії

Система керування геліостатом повинна коригувати нахил і відстань між дзеркальними пластинами, слідкуючи за переміщенням Сонця по небу з метою максимального зниження затінення між пластинами, які ведуть до



Created by Universal Document Converter

втрат енергії.

На початковому етапі з чисто геометричних міркувань визначається теоретично необхідна конфігурація пластин в залежності від положення Сонця відносно площі поверхні вхідного отвору концентратора. Надалі на цій основі, але вже з урахуванням енергетичних характеристик інсоляції, проведена оцінка можливості практичної реалізації ефективно працюючого алгоритму управління жалюзійним геліостатом для сонячного концентратора.

### 2.1.1. Затінення і блокування

На рис. 2.2 представлений профіль циліндричного сонячного концентратора з кутовою апертурою 26°, геометричним коефіцієнтом концентрації 4,3 і жалюзійним геліостатом на вхідний поверхні. Всі наведені нижче числові результати, в тому числі графіки, отримані для цього сонячного концентратора.

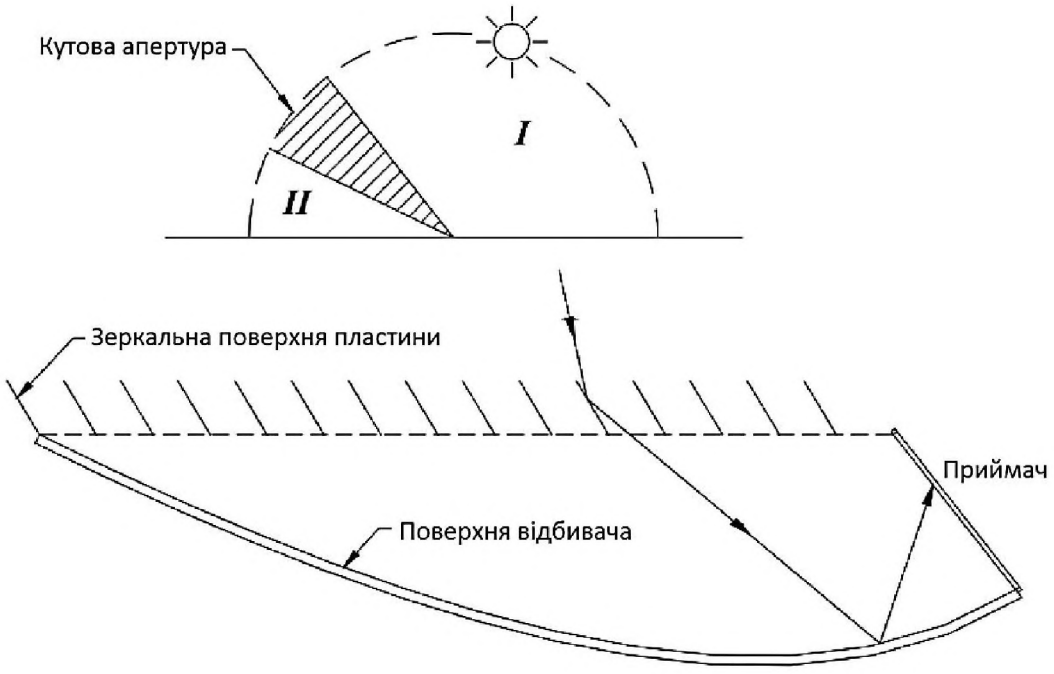



Рис. 2.2. Профіль сонячного концентратора з жалюзійним геліостатом



Created by Universal Document Converter

Потенційно сонячне проміння може надходити на вхід концентратора з будь-якої точки півсфери на його поверхні. Перетин цієї півсфери площиною симетрії концентратора наведено на рис. 2.2 поряд з перетином двохгранного кута, що визначає апертуру циліндричного сонячного концентратора. При похилій установці концентратора частина потенційних напрямків руху буде відсічена площиною горизонту.

Коригування напрямку за допомогою дзеркальних пластин потрібно для сонячних променів, проекції яких лежать в зонах I і II, тобто поза межами апертури концентратора. Сонячні промені із зони I надходять на поверхню концентратора під меншими кутами падіння. Тому густина потоку сонячного випромінювання на вхідний поверхні концентратора за цими напрямами вища і, отже, сонячний концентратор може використовуватися більш ефективно. Робота жалюзійного геліостат розглянута відносно напрямків сонячних променів із зони I; геліостат при цьому орієнтований так, що дзеркальні поверхні пластин спрямовані в бік приймача випромінювання.

Використання жалюзійних геліостатів пов'язано з можливим проявом ряду небажаних між пластинчастих ефектів, основні з яких блокування, затінення і «пропускання» сонячного випромінювання.

Ефект блокування полягає в тому, що частина відбитих променів потрапляє на тильну сторону сусідньої пластини (рис. 2.3). Для запобігання цього ефекту необхідно, щоб крок між сусідніми пластинами був не менше $t_b$ (рис. 2.4, а).

За теоремою синусів:

$$\frac{b}{\sin\gamma} = \frac{t_b}{\sin\varepsilon}, \qquad (2.1)$$

де $b$ - ширина пластини, м;

$t_b$ - крок між пластинами, що запобігає блокуванню, м;



Created by Universal Document Converter

$\gamma$ - кут зниження відбитого потоку відносно базової площини $OO'$ (рис. 2.4 а), град.

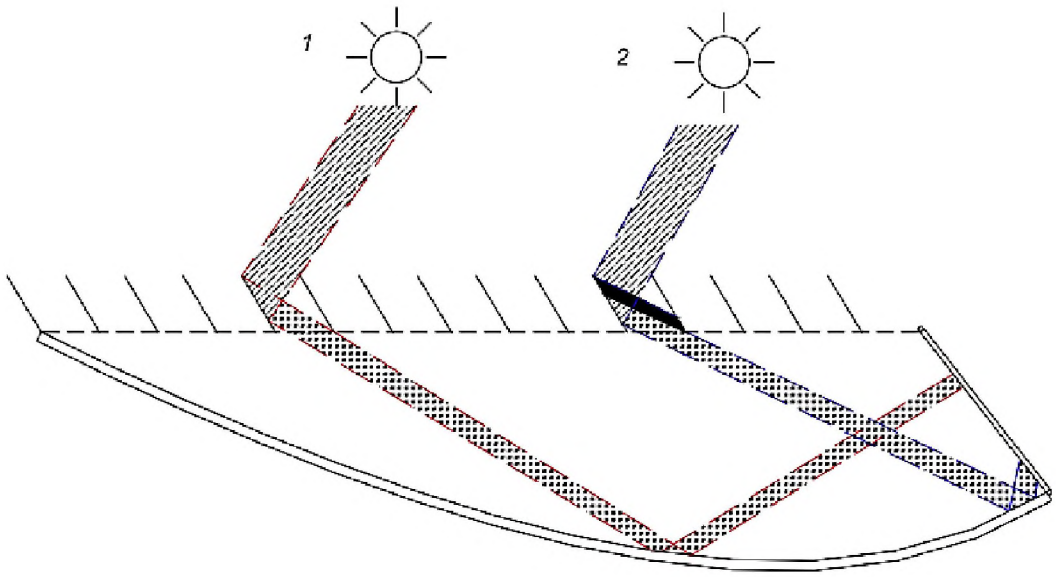
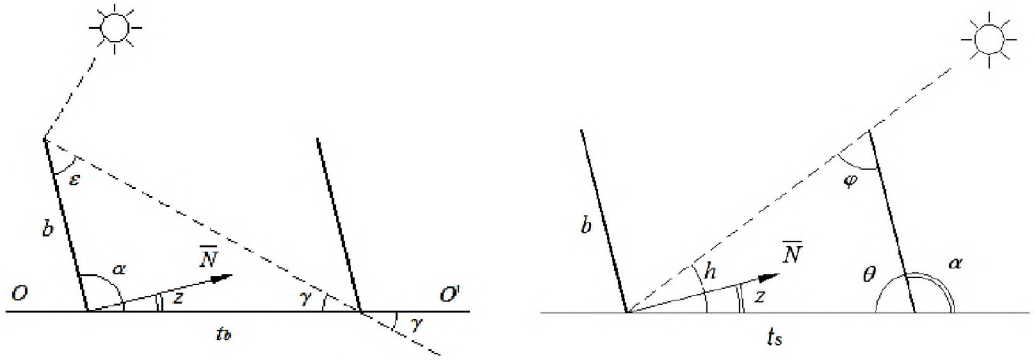



Рис. 2.3. Схема проходження променів в сонячному концентраторі з жалюзійним геліостатом при затіненні (1) і блокуванні (2) дзеркальних пластин




а) б)

Рис. 2.4. Мінімально допустимий крок пластин для запобігання ефекту блокування (а) і затінення (б)

У свою чергу, кут $\varepsilon$ можна представити таким чином:

$$\varepsilon = 180 - \alpha - \gamma, \qquad (2.2)$$

або



Created by Universal Document Converter

$$\varepsilon = 90 - z - \gamma, \tag{2.3}$$

де α - кут між дзеркальною поверхнею пластини і базовою площиною, град.;

z - кут піднесення нормалі до дзеркальної поверхні пластини щодо базової площини, град.

Тоді

$$\frac{t_b}{b} = \frac{\cos(z+\gamma)}{\sin\gamma}, \tag{2.4}$$

Ефект затінення пластин проявляється в тому, що кожна пластина затінює собою частину дзеркальної поверхні сусідньої пластини. Мінімальна відстань між пластинами $t_s$ (рис. 2.4, б), що дозволяє уникнути затінення, визначається наступним чином.

Аналогічно до попереднього:

$$\frac{b}{\sin h} = \frac{t_s}{\sin\varphi}, \tag{2.5}$$

де h - проекція на площину симетрії геліостат кута між напрямком на Сонце і базовою площиною, при цьому 0 <$h$ <180 °.

Виразимо кут $\varphi$ через кути $h$ і $z$

$$\varphi = 180 - h - \theta, \tag{2.6}$$

або

$$\varphi = 90 - z - h, \tag{2.7}$$

тоді

$$\frac{t_s}{b} = \frac{\cos(z-h)}{\sin h}, \tag{2.8}$$

З рис. 2.4 а слідує, що

$$h = 2z + \gamma, \tag{2.9}$$

Значення $z$ беруться з урахуванням знаку.



Created by Universal Document Converter

Тоді мінімальна відстань між пластинами для запобігання затінення дзеркальних поверхонь

$$t_s = b\frac{\cos(z-h)}{\sin h}, \tag{2.10}$$

а для запобігання блокування

$$t_b = b\frac{\cos(z+\gamma)}{\sin \gamma}, \tag{2.11}$$

Функціональні залежності мінімально необхідних відносних кроків пластин $t / b = f(h, z)$ для запобігання блокування або затінення представлені на рис. 2.5 з урахуванням допустимого діапазону кута $\gamma$. В даному випадку, для профілю на рис. 2.2, кут зниження променів $\gamma$, відбитих від дзеркальних пластин, повинен бути в межах 26...52° щодо вхідної поверхні концентратора. Сонячні промені з цих напрямків після відбивання на основній дзеркальній поверхні концентратора потрапляють на приймач.

Аналітичний вид залежності $h = f(z)$, що зв'язують висоту Сонця $h$ і кут нахилу пластин $z$ для одночасного запобігання ефектів блокування і затінення:

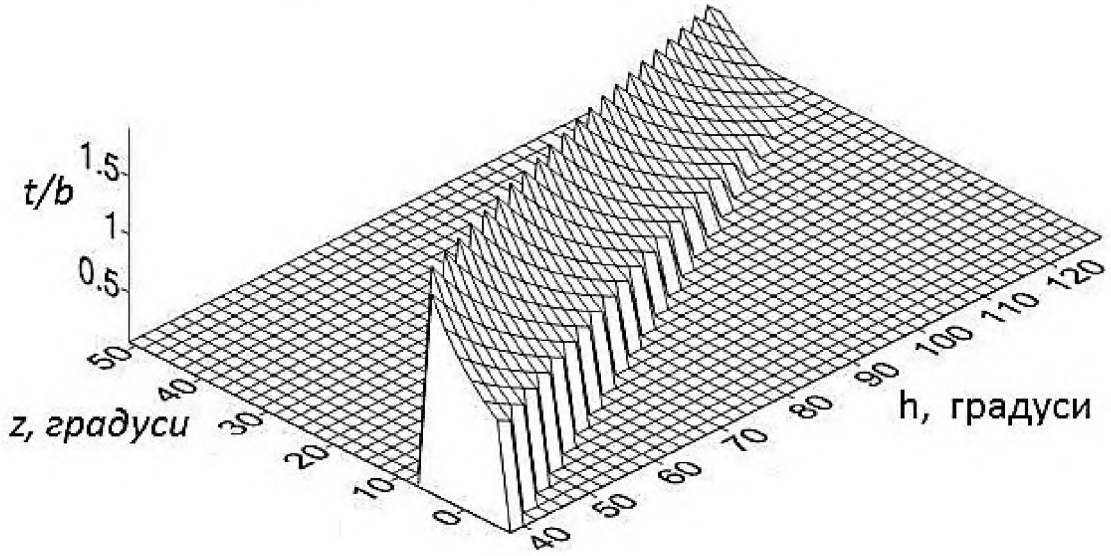
$$h = 2z + arctg\left(\frac{\cos z}{t_b/b + \sin z}\right). \tag{2.12}$$

Очевидно, що для одночасного запобігання блокування і затінення реальний крок пластин на кожній з безлічі точок $(h, z)$ має дорівнювати найбільшому з відповідних значень $t_b$ і $t_s$. В даному випадку, тільки при від'ємних кутах $z$ крок пластин, що запобігає затінення $t_s$, більше кроку $t_b$, необхідного для запобігання блокування. Об'єднаний графік відносного кроку пластин - контурний для зручності аналізу - приведений на рис. 2.6. З розгляду рис. 2.6 випливає, що ізолінія 0,5 перекриває діапазон кутів $h$, що

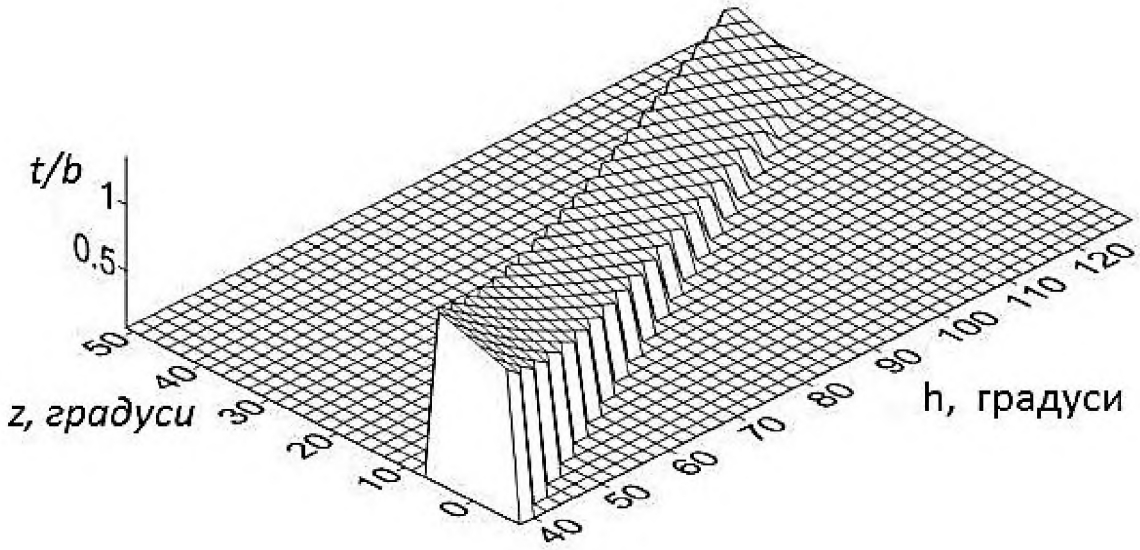


Created by Universal Document Converter

характеризують положення Сонця щодо концентратора, від 84° до 128°. Це означає, що в зазначеному діапазоні для запобігання блокування і затінення немає необхідності міняти крок пластин, досить коригувати тільки їх кут нахилу при постійному відносному кроці пластин $t/b = 0{,}5$.




а)

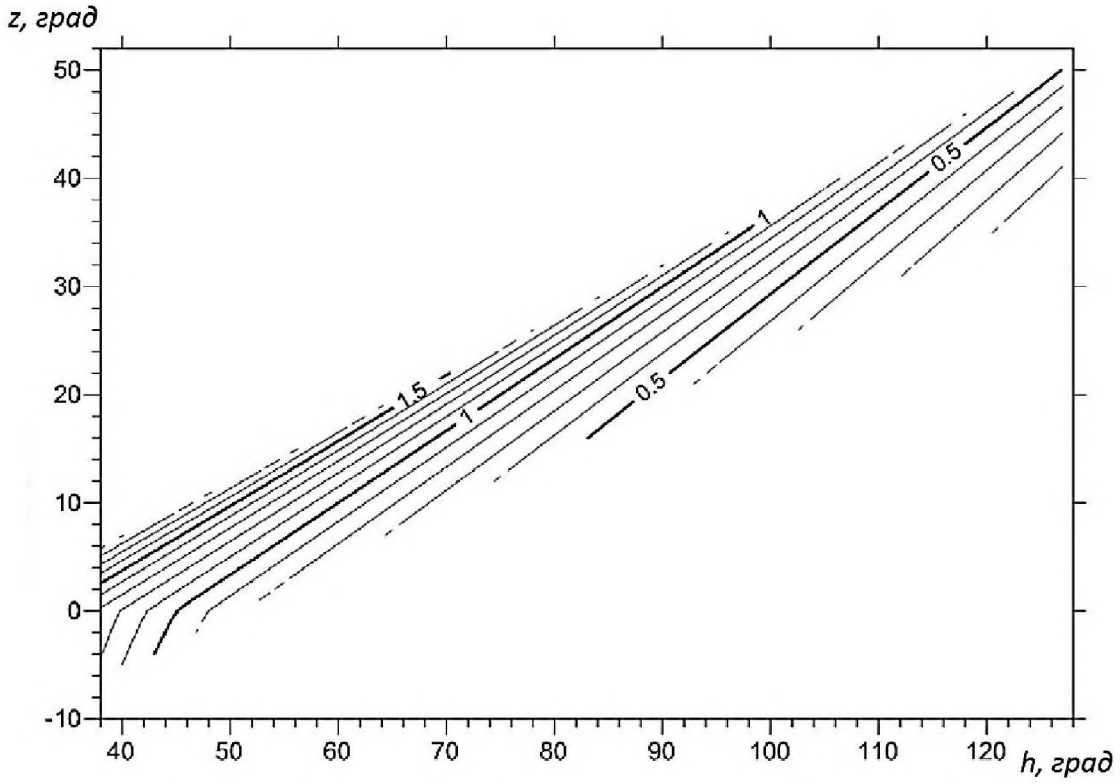



б)

Рис. 2.5. Відносний крок пластин для запобігання блокування (а) і затінення (b): $t / b$ - відносний крок пластин, $z$ - кут піднесення нормалі до дзеркальної поверхні пластини щодо базової площини, $h$ - проекція кута між напрямком на Сонце і базовою площиною



Created by Universal Document Converter




*Кут h - проекція на площину симетрії кута між напрямком на Сонце і базовою площиною*

*Кут z між нолмаллю до зеркальної поверхні пластини і базовою площиною*

Рис. 2.6. Відносний крок пластин для одночасного запобігання ефектів затінення і блокування

Кут 128° має в даному випадку особливе значення - це межа зони I (рис. 2.2) на стику з двохгранним кутом апертури концентратора. В діапазоні 128°<h<154° сонячні промені прямо потрапляють в межі кутової апертури. Завдання геліостату в цьому випадку не перешкоджати проходженню світла до поверхні входу концентратора, для чого пластини повинні бути орієнтовані паралельно сонячним променям, тобто $z = h - 90$.

Таким чином, використання жалюзійного геліостату з постійним кроком пластин і з порівняно простим алгоритмом управління рівноцінно збільшенню кутової апертури концентратора з 26° до 70°.

При необхідності ще більше розширити час активної роботи концентратора слід використовувати геліостат зі змінним кроком



Created by Universal Document Converter

дзеркальних пластин. Для запобігання блокування і затінення при кутах $h$ менших 84° необхідно збільшувати крок пластин. Наприклад, перейти на ізолінію 1,0 (рис. 2.6), що перекриває інтервал 44°<h<98°.

### 2.1.2. Проходження сонячного випромінювання попри пластини

Очевидно, що проходження сонячного випромінювання повз пластини жалюзійного геліостату (смуга АВ на рис. 2.7) може бути тільки при відсутності затінення пластин, тобто при кроці пластин $t > t_s$.

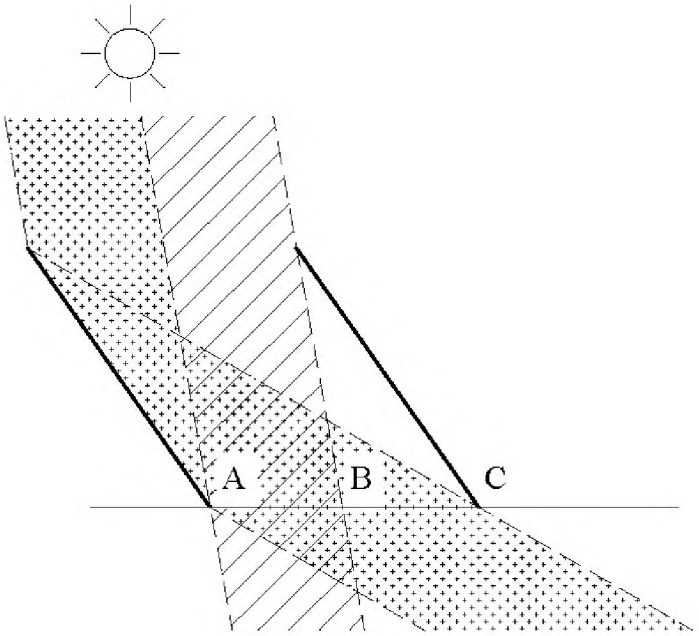



Рис. 2.7. Ефект «пропускання» сонячного випромінювання повз пластин жалюзійного геліостату

До подібного результату приводить прагнення до одночасного запобігання блокування і затінення пластин при $t_b > t_s$. Як показує аналіз, в практично важливих випадках для виконання цієї нерівності досить умови z > 0. Якщо ж z <0, то $t_s > t_b$ і тоді немає затінення, блокування і «пропускання» випромінювання, але з'являються неосвітлені смуги ВС на поверхні входу концентратора (рис. 2.8). Поява неосвітлених смуг може викликати



Created by Universal Document Converter

зниження вихідної потужності модуля в результаті більшої нерівномірності сонячного випромінювання на поверхні приймача.

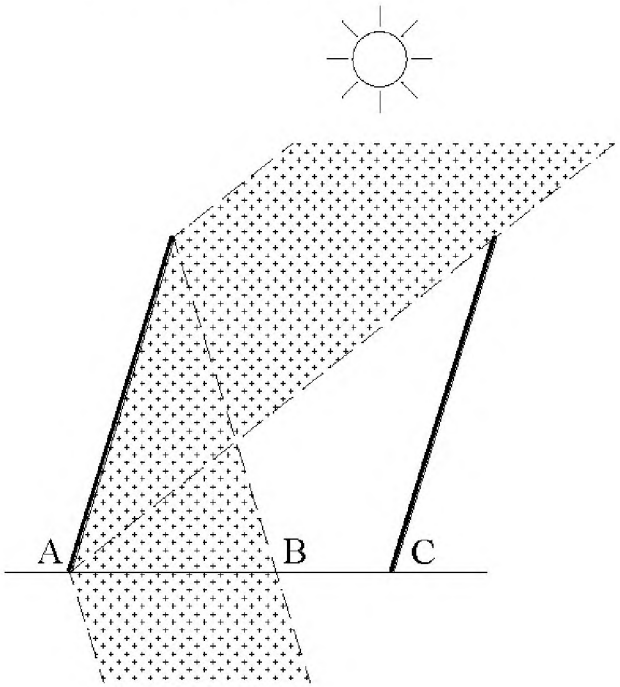



Рис. 2.8. Неосвітлені смуги на вхідний поверхні сонячного концентратора з жалюзійним геліостатом

Одночасна відсутність усіх міжпластинчастих явищ: затінення, блокування, «пропускання» і наявність неосвітлених смуг може бути, тільки якщо $t_s = t_b$ і, отже, при $z = 0$, тобто при розвороті пластин по нормалі до поверхні входу концентратора.

Сонячні промені, що проходять через смугу АВ (рис. 2.7) не змінюють свого первісного напрямку і в результаті розсіюються дзеркальною системою концентратора, не потрапляючи на приймач.

Мінімальна, при відсутності інших міжпластинчастих ефектів, ширина смуги «пропускання» сонячного випромінювання на поверхні входу Δ = А В (рис. 2.7) дорівнює:

$$\Delta = t_b - t_s = b \cdot \cos(h - z)\left(\frac{1}{\sin\gamma} - \frac{1}{\sin h}\right). \qquad (2.13)$$



Created by Universal Document Converter

Очевидно, що втрати енергії внаслідок ефекту «пропускання» сонячного випромінювання пропорційні Δ і залежать від положення Сонця і відносного кроку пластин. Результати розрахунку наведені на рис. 2.9.

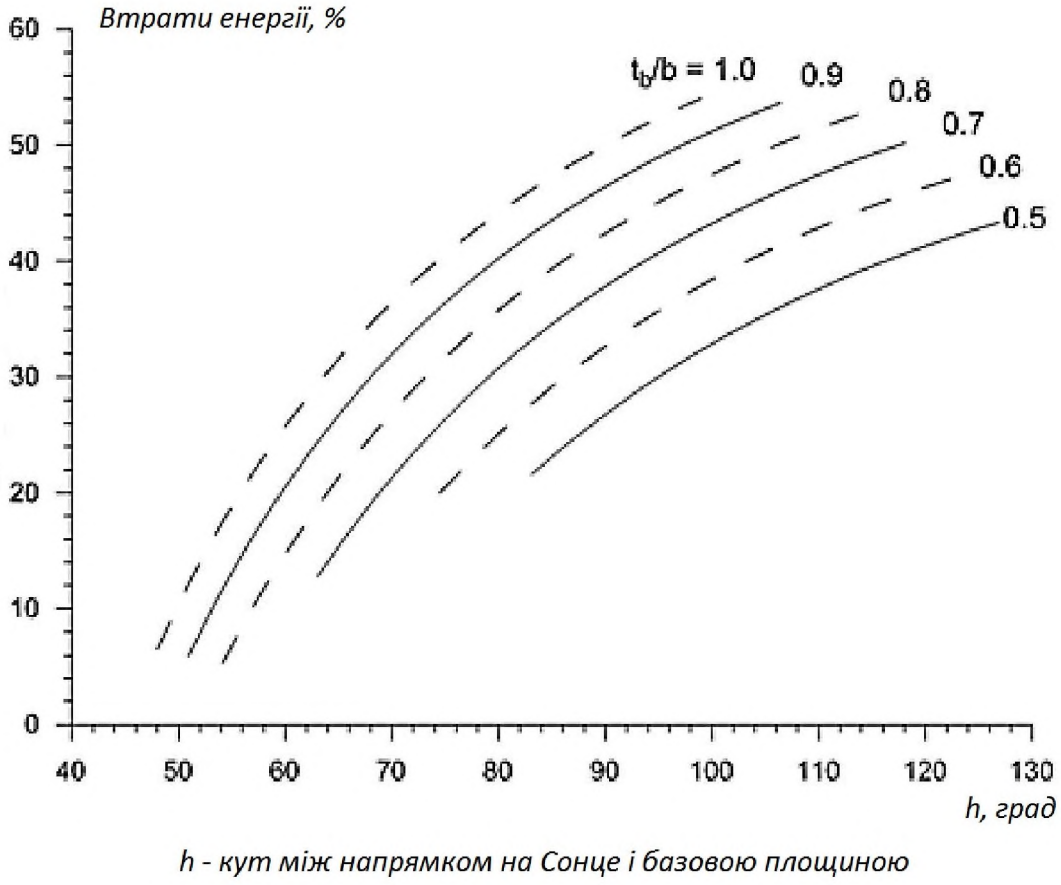



Рис. 2.9. Втрати енергії внаслідок ефекту «пропускання» сонячного випромінювання

Можливі втрати енергії дуже значні, особливо при збільшенні значень кута *h*.

## 2.2. Алгоритм розрахунку потоку сонячного випромінювання на поверхні параболо-циліндричного концентратора з жалюзійним геліостатом

### 2.2.1. Системи координат і напрямляючі вектори сонячних променів

На основі розгляду практично важливої тривимірної задачі розроблено алгоритм розрахунку потоку сонячного випромінювання на приймальні



Created by Universal Document Converter

поверхні не стежучого параболо-циліндричного сонячного концентратора з жалюзійним геліостатом.

Якщо площина $XOY$ системи координат збігається з площиною небесного екватора, а вісь $OY$ спрямована на південь (рис. 2.10), то координати одиничного вектора $L$, що задає напрямок сонячних променів, рівні:

$$X = -\cos\delta \sin\omega;\ Y = -\cos\delta \cos\omega;\ Z = -\sin\delta\,. \tag{2.14}$$

де $\delta$ - схилення Сонця, град.;

$\omega$ - годинний кут, град.

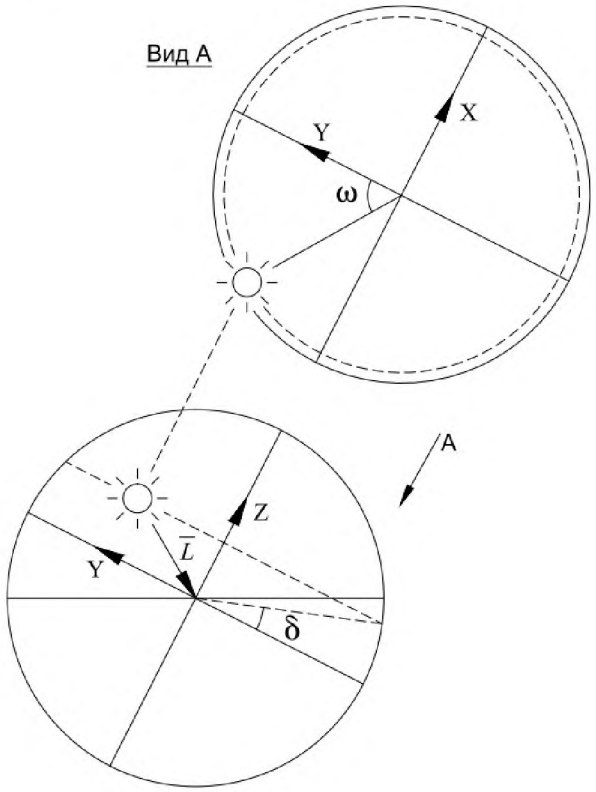



Рис. 2.10. Екваторіальні координати Сонця і направляючий вектор сонячних променів

В свою чергу,

$$\omega = 15\left(t_{sh} - 12\right), \tag{2.15}$$

де $t_{sh}$ - істинна сонячна година, год.



Created by Universal Document Converter

Визначимо зв'язок між векторами, які задають напрямки падаючих і дзеркально відбитих сонячних променів.

На рис. 2.11 представлена окружність одиничного радіуса, що знаходиться в одній площині з векторами $\overline{L}$ (падаючий сонячний промінь) і $\overline{N}$ (нормаль до дзеркальної поверхні).

З аналізу рис. 2.11 випливає, що вектор відбитого променя $\overline{L}_r$ дорівнює:

$$\overline{L}_r = \overline{L} + \overline{D}. \tag{2.16}$$

В свою чергу

$$\overline{D} = 2\sin(\vartheta - 90)\overline{N}. \tag{2.17}$$

Звідси

$$\overline{L}_r = \overline{L} + 2\overline{N}\cos\vartheta. \tag{2.18}$$

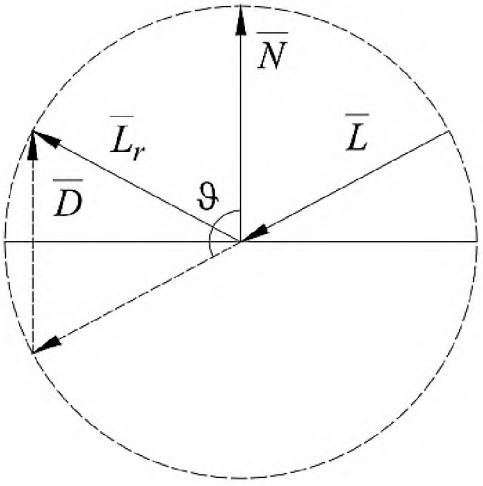



Рис. 2.11. Визначення напрямку дзеркально відбитого сонячного променя

Косинус кута між одиночними векторами $\overline{L}$ і $\overline{N}$ чисельно рівний

$$\cos\vartheta = X_L X_N + Y_L Y_N + Z_L Z_N. \tag{2.19}$$

де $X_L, X_N, Y_L, Y_N, Z_L, Z_N$ - відповідно координати одиничних векторів $\overline{L}$ і $\overline{N}$.



Created by Universal Document Converter

Поверхня з нормаллю $\bar{N}$ висвітлюється сонячними променями з напрямком $\bar{L}$, якщо $\cos\vartheta < 0$.

Розглянемо хід променів, відбитих від дзеркальної поверхні параболо-циліндричного концентратора (рис. 2.12).

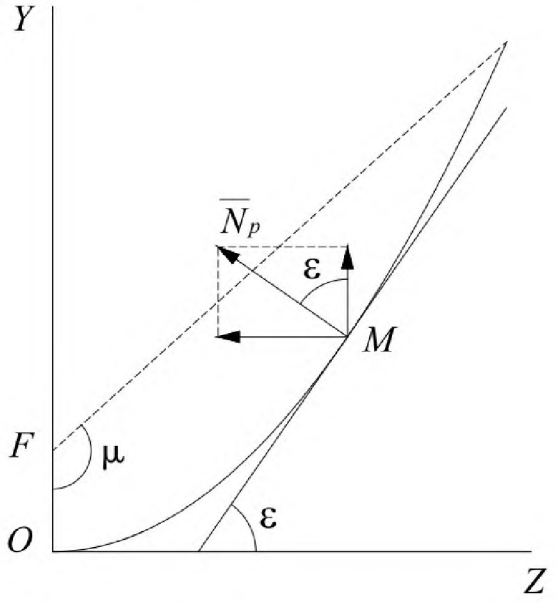



Рис. 2.12. Профіль параболо-циліндричного відбивача

У представленій на рис. 2.12 системі координат рівняння параболи з фокальним параметром $p$ має наступний вигляд:

$$z^2 = 2py . \qquad (2.20)$$

Тоді, диференціюючи вираз (2.20), отримаємо:

$$y' = z / p . \qquad (2.21)$$

Координати одиничного вектора нормалі до відбиваючої поверхні концентратора:



Created by Universal Document Converter

$$X_{N_p} = 0;\ Y_{N_p} = \cos\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{1+tg^2\varepsilon}};$$
$$Z_{N_p} = -\sin\varepsilon = -\frac{tg\varepsilon}{\sqrt{1+tg^2\varepsilon}} \quad (2.22)$$

де $X_{N_p}, Y_{N_p}, Z_{N_p}$ - координати одиничного вектора $N_p$.

Так як $tg\varepsilon = y'$, остаточно маємо:

$$X_{N_p} = 0;\ \ Y_{N_p} = \frac{p}{\sqrt{p^2+z^2}};\ \ Z_{N_p} = -\frac{z}{\sqrt{p^2+z^2}}. \quad (2.23)$$

Системи координат, для яких отримано вирази (2.14) і (2.23) в загальному випадку не збігаються. Найчастіше вони розгорнуті один щодо одного навколо осі OX на кут ξ (рис. 2.13). На рис. 2.13 позначені: $\beta$ - кут нахилу поверхні входу концентратора до горизонту, град., $\varphi$ - широта місцевості, град., $\mu$ - крайовий кут параболо-циліндричного концентратора, град., $OY_kZ_k$ - система координат, пов'язана з параболо-циліндричним концентратором.

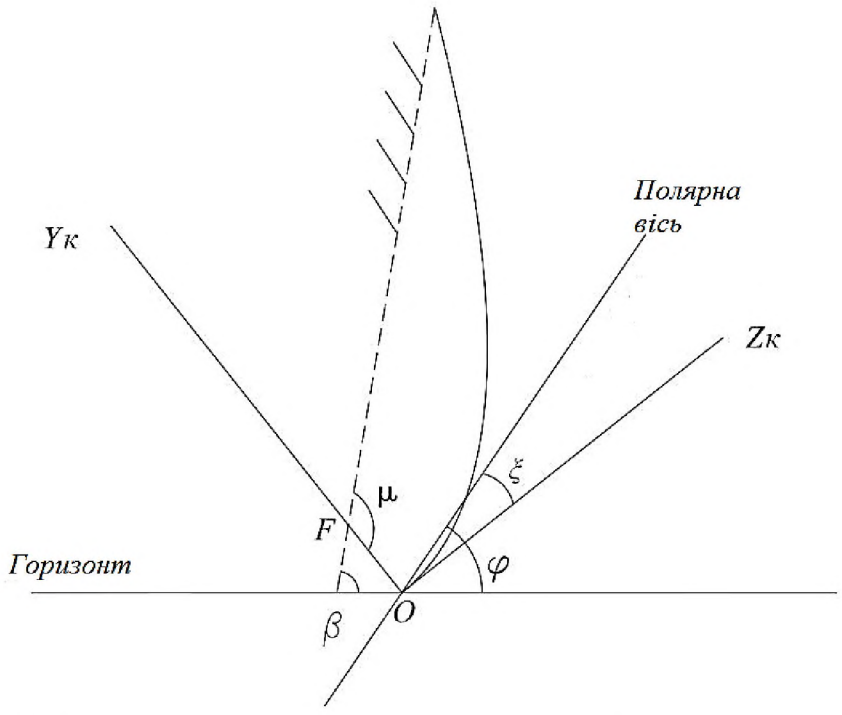



Рис. 2.13. Визначення кута розвороту системи координат, пов'язаної з параболо-циліндричним концентратором



Created by Universal Document Converter

Перетворення координат при повороті осей можна уявити за допомогою наступного матричного запису [23]:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} i\tilde{i} & i\tilde{j} & i\tilde{k} \\ j\tilde{i} & j\tilde{j} & j\tilde{k} \\ k\tilde{i} & k & k\tilde{k} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tilde{x} \\ \tilde{y} \\ \tilde{z} \end{pmatrix}. \tag{2.24}$$

де дев'ять скалярних добутків виражають косинуси кутів між осями координат. Якщо системи координат розгорнуті на кут $\xi$ щодо загальної осі $OX$, то матрицю косинусів можна зобразити таким чином:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\xi & \sin\xi \\ 0 & -\sin\xi & \cos\xi \end{pmatrix}. \tag{2.25}$$

Тоді координати вектора сонячного променя в системі координат, пов'язаної з параболо-циліндричним концентратором, дорівнюватимуть

$$\begin{cases} X_L = -\cos\delta\sin\omega \\ Y_L = -\cos\delta\cos\omega\cos\xi - \sin\delta\sin\xi \\ Z_L = \cos\delta\cos\omega\sin\xi - \sin\delta\cos\xi \end{cases}. \tag{2.26}$$

Відповідно до виразу (2.19) для косинуса кута між векторами $\bar{L}$ і $\bar{N}$:

$$\cos\vartheta_p = \frac{pY_L - zZ_L}{\sqrt{p^2 + z^2}}. \tag{2.28}$$



Created by Universal Document Converter

Координати направляючого вектора відбитого сонячного променя $\overline{L}_r$, в такому випадку, будуть рівні (вираз 2.18):

$$\begin{cases} X_{rp} = X_L \\ Y_{rp} = Y_L - \dfrac{2p}{\sqrt{p^2 + z^2}} \cos\vartheta_p \\ Z_{rp} = Z_L + \dfrac{2z}{\sqrt{p^2 + z^2}} \cos\vartheta_p \end{cases} . \qquad (2.28)$$

### 2.2.2. Траєкторії сонячних променів після відбивання від пластин

Розглянемо роботу жалюзійного геліостату, що представляє собою систему плоских дзеркал - пластин розміром $l \times b$ (довжина × ширина), встановлених з кроком t на вхідній поверхні концентратора під кутом $a$ до останньої (рис. 2.14).

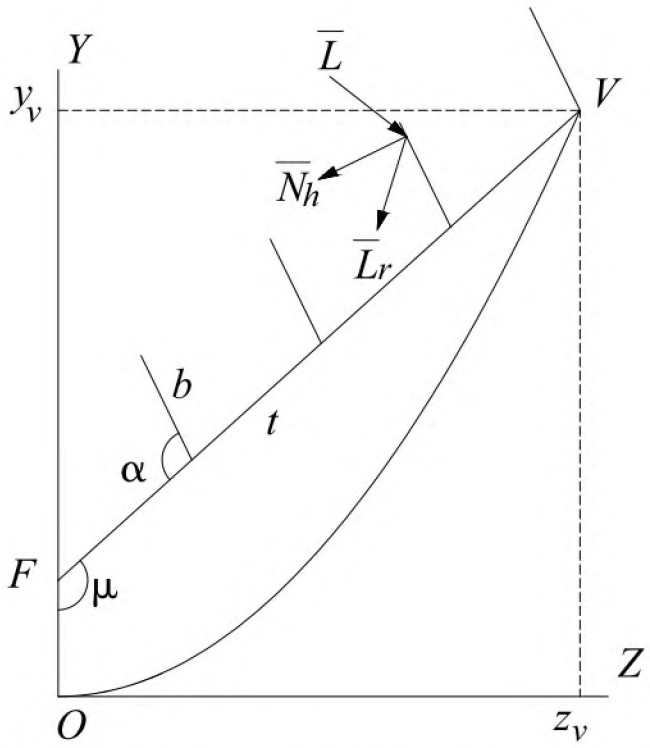



Рис. 2.14. Жалюзійний геліостат на вхідній поверхні концентратора



Created by Universal Document Converter

Координати вектора нормалі до дзеркальної поверхні пластини (геліостат) рівні

$$X_{Nh} = 0;\ \ Y_{Nh} = -\sin(\mu - \alpha);\ \ Z_{Nh} = -\cos(\mu - \alpha). \qquad (2.29)$$

де $\mu$ - крайовий кут параболо-циліндричного концентратора, град. (рис. 2.14).

Тоді, відповідно до виразу (2.19) для косинуса кута між вектором нормалі до поверхні геліостат $\bar{N}_h$ і сонячного променя $\bar{L}$ можемо записати:

$$X_{Nh} = 0;\ \ Y_{Nh} = -\sin(\mu - \alpha);\ \ Z_{Nh} = -\cos(\mu - \alpha). \qquad (2.30)$$

Отже, координати сонячного променя, відбитого від пластини, рівні:

$$\begin{cases} X_{rh} = X_L \\ Y_{rh} = Y_L - 2\cos\vartheta_h \sin(\mu - \alpha) \\ Z_{rh} = Z_L + 2\cos\vartheta_h \cos(\mu - \alpha) \end{cases}. \qquad (2.31)$$

де $X_{rh}\, Y_{rh}\, Z_{rh}$ - координати одиничного вектора $\bar{N}_h$.

Рівняння прямої, що проходить через будь-яку точку D в напрямку відбитого променя $\bar{L}_r$ [24]:

$$\frac{x - x_D}{X_{rp}} = \frac{y - y_D}{Y_{rp}} = \frac{z - z_D}{Z_{rp}} = k. \qquad (2.32)$$

У точці перетину прямої (2.32) з параболо-циліндром (2.20) параметр $k$ дорівнює:

$$k = \frac{p}{Z_{rp}}\left[\frac{Y_{rp}}{Z_{rp}} \pm \sqrt{\left(\frac{Y_{rp}}{Z_{rp}}\right)^2 - \frac{2}{p}\left(z_D \frac{Y_{rp}}{Z_{rp}} - y_D\right)}\right] - \frac{z_D}{Z_{rp}}. \qquad (2.33)$$



Created by Universal Document Converter

Якщо точка $D$ знаходиться на поверхні параболоциліндра, то з урахуванням співвідношення між координатами $y_D$ і $z_D$, маємо $k = 2\left(\frac{pY_{rp}}{Z_{rp}} - z_D\right) / Z_{rp}$, якщо ж точка $D$ на поверхні пластини, то знак у виразі (2.33) визначається з умови, що координата точки перетину променя з параболо-циліндром $z < z_D$.

При перетині цієї прямої з фокальною площиною параболо-циліндричного концентратора ($z = 0$) вираз істотно спрощується:

$$k = -\frac{z_D}{Z_{rp}}. \qquad (2.34)$$

У заданій системі координат форма траєкторії сонячного променя, що проходить по дзеркальній поверхні параболо-циліндричного концентратора, інваріантна щодо координати X початкової точки траєкторії сонячного променя. Така геометрія дозволяє підвищити розрахункову ефективність методу розрахунку потоку сонячного випромінювання на приймальній поверхні параболо-циліндричного концентратора з жалюзійним геліостатом, розглядаючи проходження світла по концентраторі цілими полосами, паралельними твірній параболо-циліндра. Якщо припустити, що і бічні (вузькі) сторони смуги - це також відрізки прямих, то становище і форма освітленої смуги на поверхні приймача повністю визначаються координатами двох вершин на одній з її бічних сторін. У свою чергу, координати цих вершин визначаються траєкторіями двох сонячних променів від їх першого відбивання на освітленій кромці дзеркальної поверхні (кромка x = 0 або x = l в залежності від положення Сонця) і до поверхні приймача. Вибір відстані між початковими точками цих траєкторій довільний і визначається необхідною точністю розрахунку.



Created by Universal Document Converter

Координати точок перетину відбитих променів з поверхнями концентратора для траєкторій 1 і 2 визначаються за допомогою наступних рекурентних співвідношень ($i \geq 0$):

$$\begin{cases} {}^1x_{i+1} = {}^1k\left({}^1X_r\right)_i + {}^1x_i; \\ {}^1y_{i+1} = {}^1k\left({}^1Y_r\right)_i + {}^1y_i; \\ {}^1z_{i+1} = {}^1k\left({}^1Z_r\right)_i + {}^1z_i. \end{cases} \qquad \begin{cases} {}^2x_{i+1} = {}^2k\left({}^2X_r\right)_i + {}^2x_i; \\ {}^2y_{i+1} = {}^2k\left({}^2Y_r\right)_i + {}^2y_i; \\ {}^2z_{i+1} = {}^2k\left({}^2Z_r\right)_i + {}^2z_i. \end{cases} \quad . \tag{2.35}$$

Розрахунок ведеться послідовно, починаючи з далекої від приймача пластини.

Розрахунок по рекурентним формулах (2.35) ведеться до тих пір, поки обидва променя не досягнуть поверхні приймача. Якщо на якомусь етапі розрахунку світлова смуга одночасно освітлює приймач і відбивач, то необхідно за допомогою інтерполяції знайти початкову точку такої траєкторії, яка приводить на цьому кроці до точки з координатами, і далі розглядати дві незалежні смуги світла.

Якщо після *i*-того відбивання смуга світла потрапляє на площину Z = 0, то в цей момент її площа (неорієнтований чотирикутник) дорівнює [24]:

$$S_b = \frac{1}{2}\left\| \begin{vmatrix} {}^1x_i & {}^1y_i \\ {}^2x_i & {}^2y_i \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} {}^2x_i & {}^2y_i \\ {}^2x_i + l & {}^2y_i \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} {}^2x_i + l & {}^2y_i \\ {}^1x_i + l & {}^1y_i \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} {}^1x_i + l & {}^1y_i \\ {}^1x_i & {}^1y_i \end{vmatrix} \right\|. \tag{2.36}$$

Велику частину часу Сонце поза площиною концентратора, в результаті чого смуга світла зміщується по осі *OX* і частина світлового потоку проходить повз приймач. Площа освітленої смуги на поверхні приймача

$$S_t = \frac{1}{2}\left\| \begin{vmatrix} {}^1x_i & {}^1y_i \\ {}^2x_i & {}^2y_i \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} {}^2x_i & {}^2y_i \\ l & {}^2y_i \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} l & {}^2y_i \\ l & {}^1y_i \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} l & {}^1y_i \\ {}^1x_i & {}^1y_i \end{vmatrix} \right\|. \tag{2.37}$$



Created by Universal Document Converter

Потік сонячного випромінювання, що приходить на кожну смугу пластини, дорівнює

$$w_h = -El\left(b / m_h\right)\cos\vartheta_h, \tag{2.38}$$

де $E$ - густина потоку сонячного випромінювання через перпендикулярну променю поверхню, Вт / м$^2$;

$m_h$ - кількість початкових смуг, що укладаються по ширині дзеркальної пластини.

Тоді потік сонячного випромінювання на поверхні приймача:

$$w_t = w_h \frac{S_t}{S_b}\rho^i, \tag{2.39}$$

де $\rho$ - коефіцієнт відбивання від дзеркальної поверхні, в.о.

У деяких випадках смуга світла може перетворюватися в трикутник або повністю зміщуватися за межі приймальні поверхні модуля.

Очевидно, що повний потік сонячної енергії на поверхні приймача дорівнює сумі потоків від освітлених смуг на всіх пластинах.

На рис. 2.15 представлена блок-схема алгоритму розрахунку потоку сонячного випромінювання на приймальні поверхні концентратора.

### 2.2.3. Пряме проходження сонячних променів до дзеркальної поверхні параболо-циліндра

Якщо сонячні промені прямо потрапляють в межі кутової апертури, завдання геліостату не перешкоджати проходженню світла до поверхні входу концентратора, для чого пластини повинні бути орієнтовані паралельно сонячному промінню. В такому випадку перше відбивання сонячний промінь здійснює на дзеркальній поверхні параболо-циліндра.



Created by Universal Document Converter

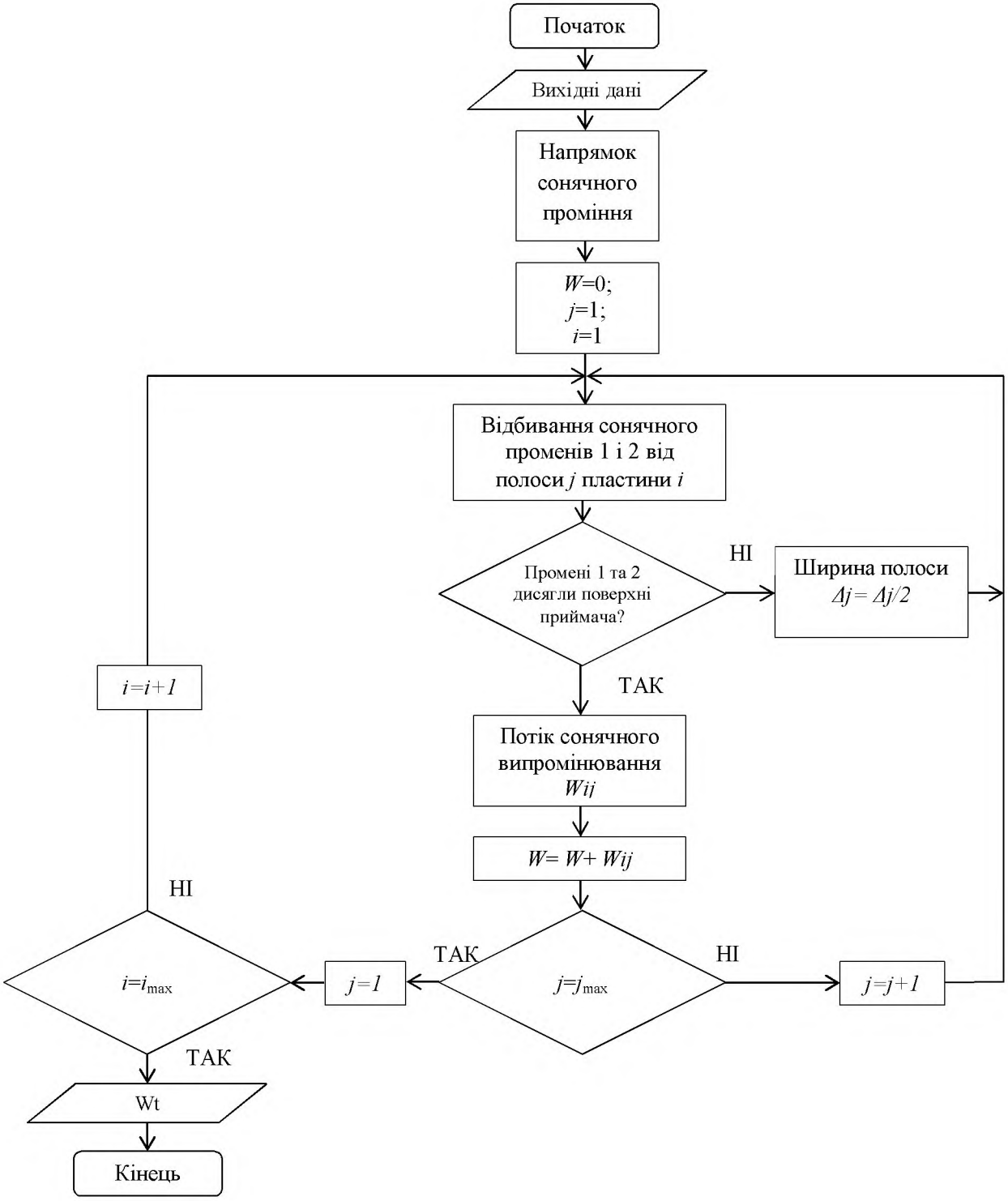



Рис. 2.15. Блок-схема алгоритму розрахунку потоку сонячного випромінювання на приймальній поверхні концентратора



Created by Universal Document Converter

Довжина твірної параболо-циліндра виражається звичайним визначеним інтегралом [23]

$$S = \int_0^{z_\nu} \sqrt{1 + (y')^2}\, dz = \frac{1}{p} \int_0^{z_\nu} \sqrt{p^2 + z^2}\, dz = \frac{z_\nu}{2p} \sqrt{p^2 + z_\nu{}^2} + \frac{p}{2} \ln\left( \frac{z_\nu + \sqrt{p^2 + z_\nu{}^2}}{p} \right), \quad (2.40)$$

Якщо розбити направляючу параболо-циліндра на $m_p$ рівних дуг довжиною $\Delta s = S / m_p$ і почати з $\left({}^1 z_{m=1}\right)_0 = 0$, то межі смуг, вони ж початкові точки траєкторій, визначаються з наступного рівняння:

$$\left({}^2 z_m\right)_0 \sqrt{p^2 + \left({}^2 z_m\right)_0^2} + p^2 \ln\left[ \left({}^2 z_m\right)_0 + \sqrt{p^2 + \left({}^2 z_m\right)_0^2} \right] = C,, \quad (2.41)$$

де

$$C = 2p\Delta s + \left({}^1 z_m\right)_0 \sqrt{p^2 + \left({}^1 z_m\right)_0^2} + p^2 \ln\left[ \left({}^1 z_m\right)_0 + \sqrt{p^2 + \left({}^1 z_m\right)_0^2} \right], \quad (2.42)$$

Координати $X$ початкових точок траєкторій відбитих сонячних променів дорівнюють нулю або ширині параболо-циліндра $l$ залежно від положення Сонця, а координати Y визначаються за рівнянням параболи (2.20).

Потік сонячного випромінювання, що приходить на поверхню параболо-циліндра:

$$w_p = -El \int_{(\Gamma)} \cos \vartheta_p ds, \quad (2.43)$$



Created by Universal Document Converter

Підставивши значення $\cos\vartheta_p$ з (2.27) в вираз (2.43), після елементарних перетворень для смуги $m$ на поверхні параболо-циліндра маємо

$$\begin{aligned}\left(w_p\right)_m &= -\frac{El}{p}\int_{\left({}^1z_m\right)_0}^{\left({}^2z_m\right)_0}\left(pY_L - zZ_L\right)dz = \ldots \\ &= El\left(\frac{Z_L}{2p}\left[\left({}^2z_m\right)_0^2 - \left({}^1z_m\right)_0^2\right] - Y_L\left[\left({}^2z_m\right)_0 - \left({}^1z_m\right)_0\right]\right)\end{aligned}, \qquad (2.44)$$

У всьому іншому порядок розрахунку проходження смуги світла по дзеркальній поверхні сонячного концентратора збігається з наведеними в попередніх розділах для світла, відбитого від пластин геліостату.

Крім того, в описаних умовах частина сонячних променів може безпосередньо, без додаткових відбивань, потрапити на приймальну поверхню модуля, створюючи на ній потік випромінювання:

$$w_{td} = -El\frac{p}{2}Z_L, \qquad (2.45)$$

## 2.3. Орієнтація не стежучого сонячного концентратора з жалюзійним геліостатом

### 2.3.1. Визначення тривалості роботи сонячного модуля з параболо-циліндричним концентратором та оптичною системою на базі жалюзійних геліостатів

В роботі [25] визначено тривалість щоденної роботи не стежучого параболо-циліндричного сонячного концентратора з кутовими параметрами 48x24, встановленого таким чином, що кут нахилу поверхні входу дорівнює широті місця установки. Без коригування положення концентратора тривалість його роботи в літній період складе 2-4 години, що явно



Created by Universal Document Converter

недостатньо. Також в роботі [25] показано, що для забезпечення тривалості роботи концентратора в літній період до 8-10 годин і 4-6 годин в зимовий необхідне коригування кута нахилу поверхні входу відносно горизонту в літній і зимовий сезон.

Визначимо тривалість щоденної роботи не стежучого концентратора з жалюзійним геліостатом з кутовою апертурою 26°, геометричним коефіцієнтом концентрації 4,3. На рис. 2.16 представлено перетин небесної сфери і добовий хід Сонця при певному відхилення.

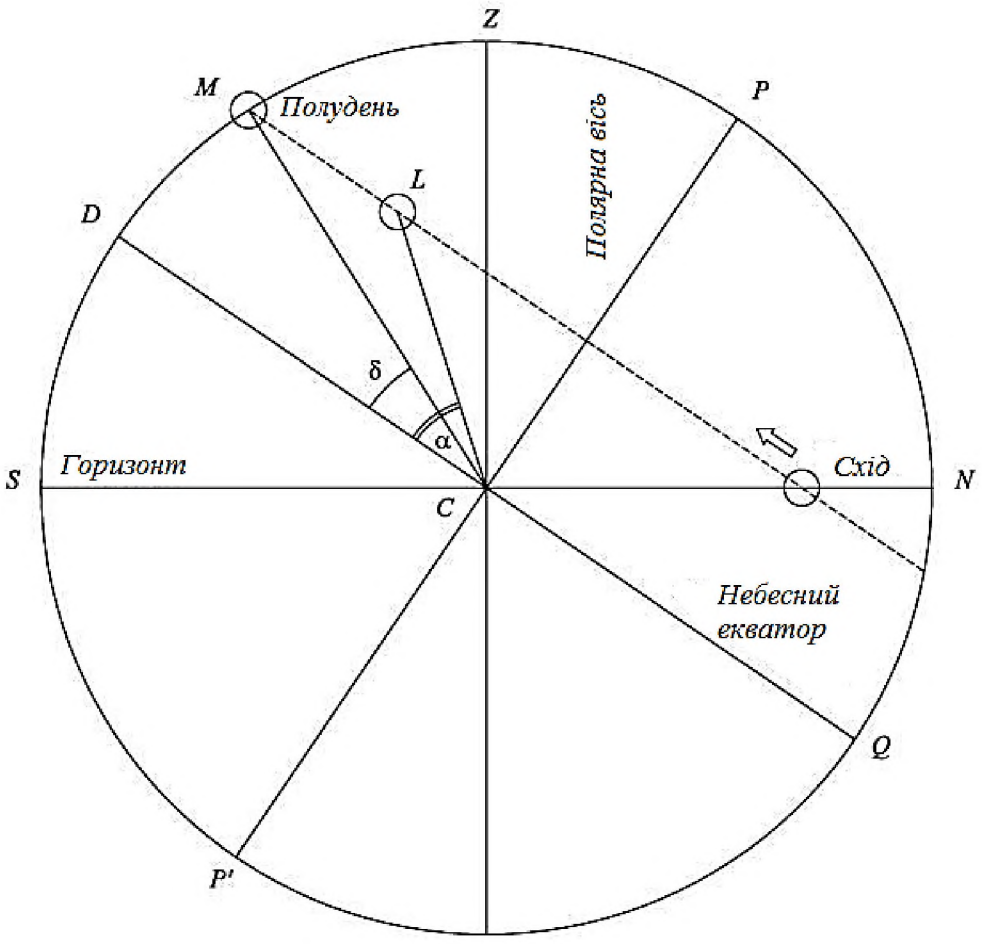



Рис. 2.16. Переріз небесної сфери і добовий шлях Сонця [25]

Чи потрапить сонячний промінь на приймач визначається проекцією вектора - $\vec{CL}$ (рис. 2.16), що задає напрямок сонячних променів, на поперечну



Created by Universal Document Converter

площину концентратора. При південній орієнтації поперечна площина концентратора збігається з площиною небесного меридіана.

Є таке співвідношення:

$$tg\delta = tg\alpha \cos\vartheta, \tag{2.46}$$

де $\vartheta$ - кут між колом схилення Сонця і небесним меридіаном, град .;

$a$ - кут між шуканою проекцією вектора $\vec{CL}$ і небесним екватором, град .; $\delta$ - схилення, град.

$$\vartheta = 15 \cdot (12 - t), \tag{2.47}$$

де $t$ - справжній сонячний час, год.

Схиляння може бути знайдено з рівняння Купера:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + n}{365}\right), \tag{2.48}$$

де $n$ - порядковий номер дня року.

На рис. 2.17 а на площину небесного меридіана нанесено апертурний кут не стежучого сонячного концентратора з жалюзійним геліостатом. Концентратор встановлений під кутом рівним місцевій широті – площина приймача збігається з площиною небесного екватора (літнє положення).

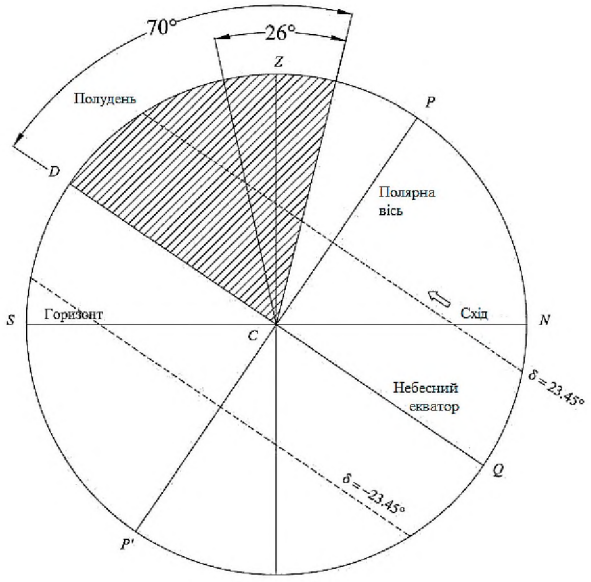
Для того щоб сонячне світло концентрувалось на приймачі, проекція вектора, що задає напрямок на Сонце, повинна потрапити в затінений сектор (апертурний кут концентратора). У відповідності з виразом (2.46) в день літнього сонцестояння (δ = 23,45 °, $a$ = 24 °) сонячні промені будуть попадати на приймач починаючи з 6 год 37 хв до 17 год 22 хв (справжній сонячний час). Таким чином, максимальна добова тривалість роботи сонячного концентратора з жалюзійним геліостатом 22 червня складе 10 ч 46 хв.

У період з 22 березня по 18 вересня (δ > 0°) тривалість роботи концентратора не менше 10 год./добу. З 19 вересня по 21 березня (δ ≤ 0 °)

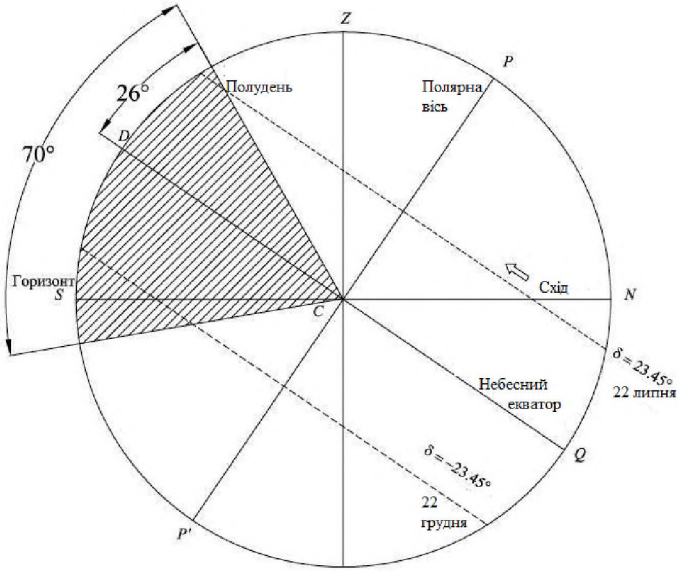


Created by Universal Document Converter

для забезпечення тривалості роботи концентратора не менше 10 год./добу необхідне коригування кута нахилу поверхні входу. На рис. 2.17 б) показано рух Сонця щодо концентратора для зимового положення.




а) літнє положення




б) зимове положення

Рис. 2.17. Небесний меридіан і апертурний кут сонячного концентратора з жалюзійним геліостатом



Created by Universal Document Converter

### 2.3.2. Розробка алгоритму управління жалюзійним геліостатом

Раніше було показано, що тривалість роботи не стежучого сонячного концентратора з жалюзійним геліостатом, встановленим на поверхні входу, при сезонному коригуванні кута нахилу поверхні входу концентратора до горизонту $\beta$ складе не менше 10 год./добу. Визначимо залежність кута нахилу пластин жалюзійного геліостату від кута нахилу поверхні входу концентратора.

Нагадаємо, що через $h$ позначена проекція кута на площину симетрії геліостату між напрямком на Сонце і базовою площиною (рис. 2.3). На рис 2.18 показана схема проходження сонячних променів для трьох можливих напрямків вектора $L$.

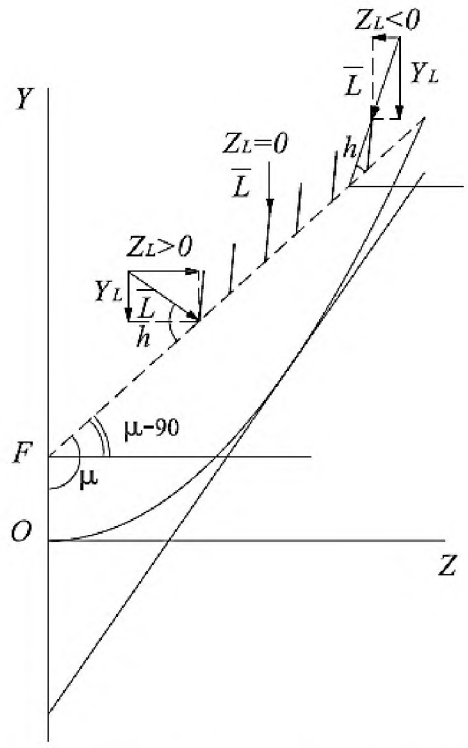



Рис. 2.18. Схема проходження променів через жалюзійний геліостат

Виходячи з рис. 2.18, кут $h$:

$$h = \mu + arctg\left(\frac{Z_L}{Y_L}\right), \qquad (2.49)$$

де μ - крайовий кут параболо-циліндричного концентратора, град.



Created by Universal Document Converter

Як було показано на рис. 2.13, кут розвороту системи координат, пов'язаної з параболо-циліндричним концентратором, може бути знайдений в такий спосіб:

$$\xi = \mu - \beta - 90^{\circ} + \varphi, \qquad (2.50)$$

де $\beta$ - кут нахилу поверхні входу концентратора до горизонту, град .;

$\varphi$ - широта місцевості, град.

Знаючи кут $h$, за отриманими раніше залежностями (п.2.1) відносного кроку пластин для одночасного запобігання ефектів затінення і блокування, можна визначити кут нахилу дзеркальних пластин для певного часу дня. Для розробки алгоритму управління системою жалюзійних геліостатів в середовищі електронних таблиць ***MS Excel*** реалізована програма розрахунку координат сонячного променя і відповідно кута нахилу пластин в залежності від дня року, часу доби, широти/довготи місцевості, крайового кута і кута нахилу поверхні входу концентратора, що представляє собою робочу книгу, що складається з окремих взаємопов'язаних листів. Далі наведемо алгоритм цієї програми.

1. Задаємося широтою, довготою місцевості ($\phi$, $\lambda$), часовою зоною $N^h$, кутом нахилу поверхні входу параболо-циліндричного концентратора щодо горизонту $\beta$.

2. Розраховується кут розвороту системи координат, пов'язаної з параболо-циліндричним концентратором за формулою (2.50).

2. Розраховуються координати вектора сонячного променя в системі координат, пов'язаної з параболо-циліндричним концентратором, за формулами (2.27).

Перехід від істинного сонячного часу до поясного проводиться за загальновідомими формулами [26].



Created by Universal Document Converter

На рис. 2.19 представлена блок-схема програми розрахунку графіків регулювання кута нахилу пластин геліостату для запобігання блокування і затінення.

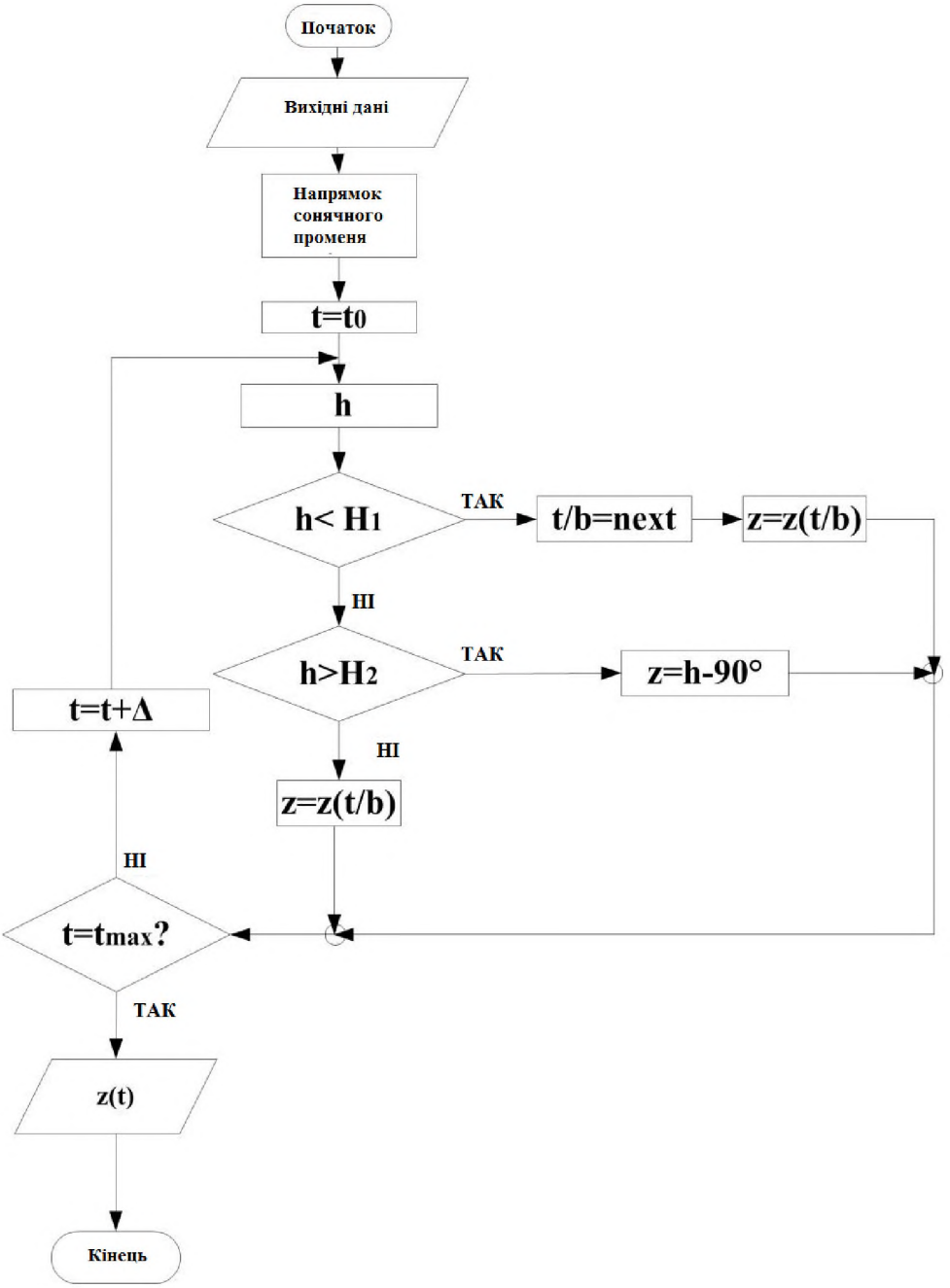



Рис. 2.19. Блок-схема програми розрахунку графіків регулювання кута нахилу пластин геліостату

Для ілюстрації роботи програми на рис. 2.20-2.23 представлені розраховані графіки для параболо-циліндричного концентратора з кутовою апертурою 18 ° і 26 °, встановленого під кутом 90 ° до горизонту.



Created by Universal Document Converter

Представлені залежності кута нахилу дзеркальних пластин від часу доби розраховані з урахуванням добового ходу інсоляції для даної широти для характерних днів в році [27], зазначених в таблиці 2.1. Відносний крок дзеркальних пластин 0,5.

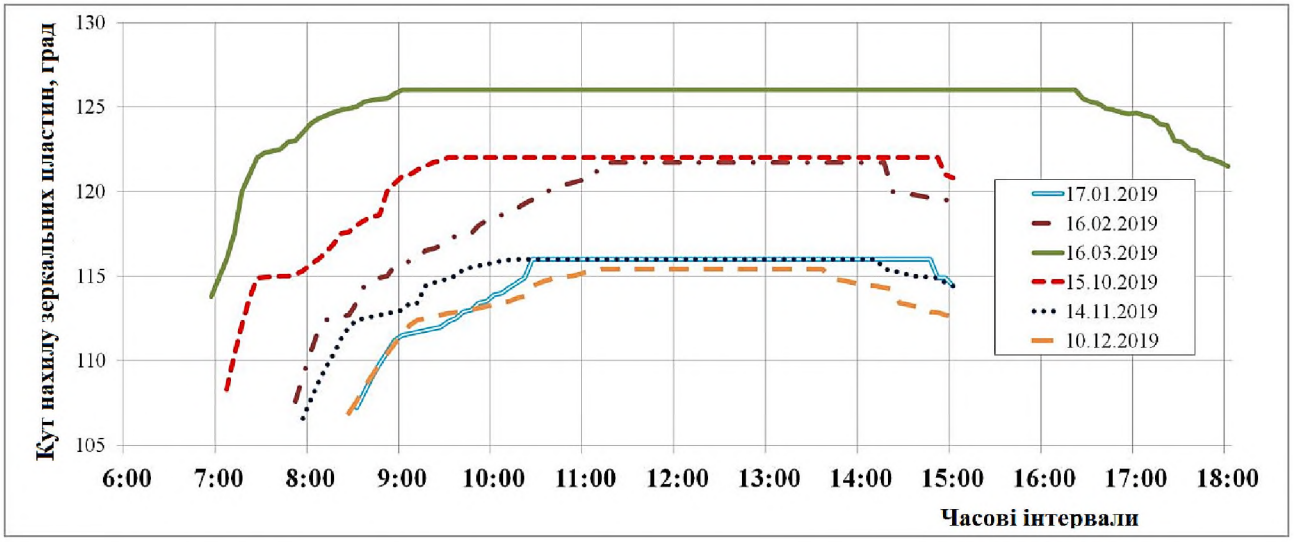



Рис. 2.20. Залежність кута нахилу дзеркальних пластин жалюзійного геліостату від часу доби для параболо-циліндричного концентратора з кутовою апертурою 26 ° (дані для періодів жовтень-березень)

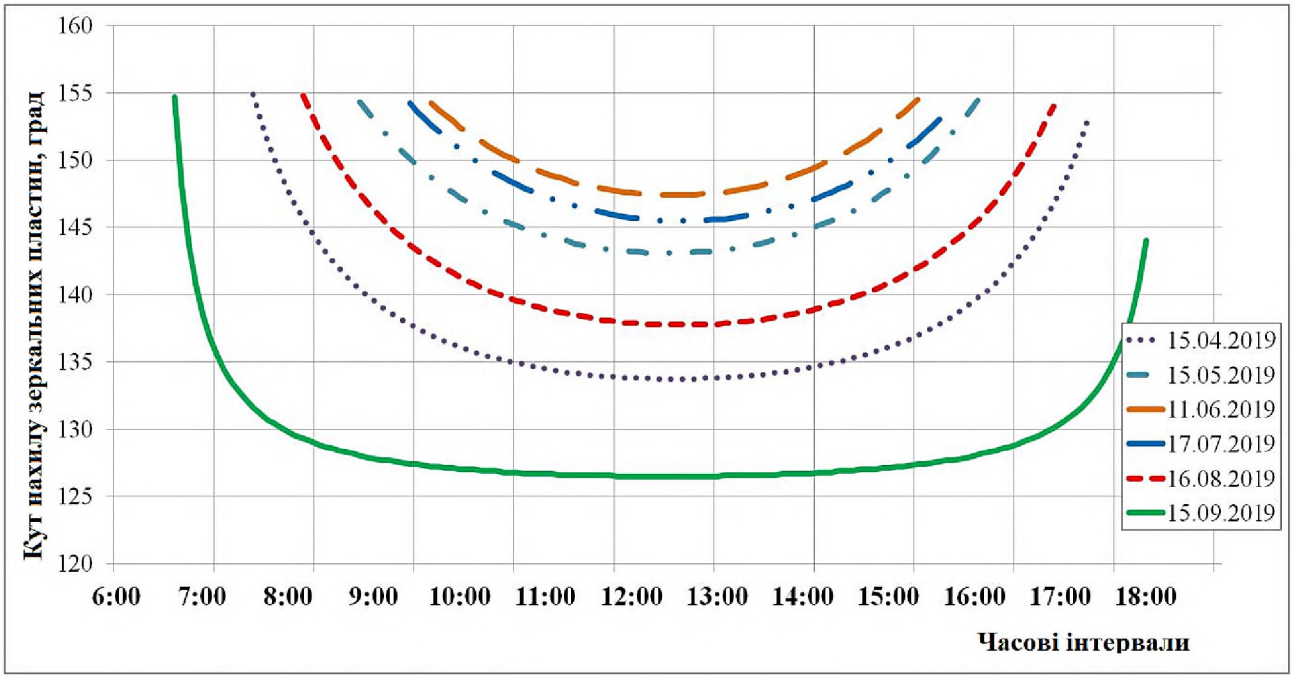



Рис. 2.21. Залежність кута нахилу дзеркальних пластин жалюзійного геліостату від часу доби для параболо-циліндричного концентратора з кутовою апертурою 26 ° (дані для періодів квітень-вересень)



Created by Universal Document Converter

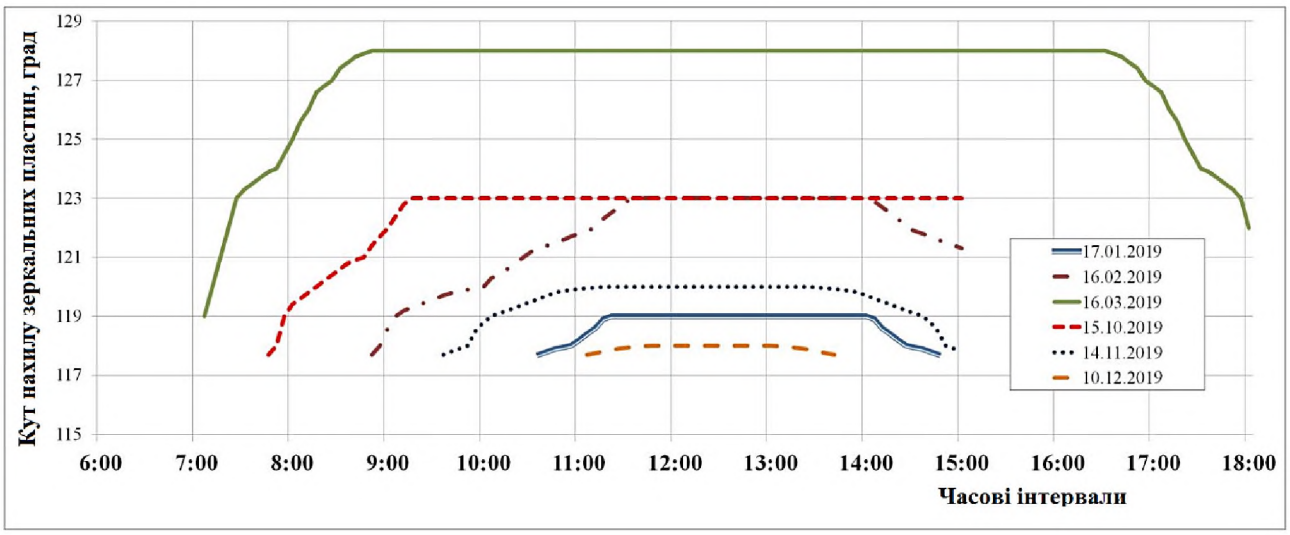



Рис. 2.22. Залежність кута нахилу дзеркальних пластин жалюзійного геліостату від часу доби для параболоциліндричного концентратора з кутовою апертурою 18 ° (дані для періодів жовтень-березень)

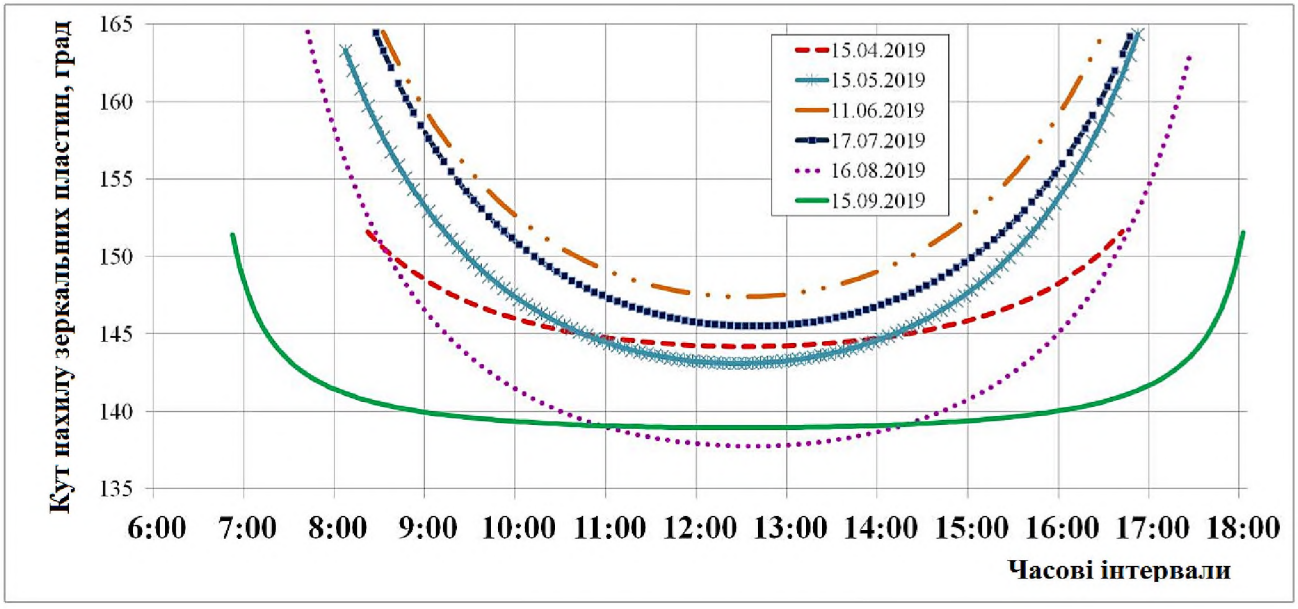



Рис. 2.23. Залежність кута нахилу дзеркальних пластин жалюзійного геліостату від часу доби для параболоциліндричного концентратора з кутовою апертурою 18 ° (дані для періодів квітень-вересень)



Created by Universal Document Converter

Слід зазначити, що в будинках, що проектуються для будівництва в районах із середньомісячною температурою липня 21 ° і вище, в приміщеннях з постійним перебуванням людей і приміщеннях, де за технологічними і гігієнічними вимогами не допускається проникнення сонячних променів чи перегрівання, світлові прорізи при орієнтації в межах 130-315 ° повинні бути обладнані сонцезахистом. Для захисту віконних прорізів, орієнтованих на південний сектор горизонту, від надмірної інсоляції рекомендується влаштовувати зовнішні горизонтальні жалюзі, навіси, тенти, козирки та інші сонцезахисні елементи [27]. Для розробленої конструкції концентруючого модуля є можливість установки на фасад будівлі під кутом 90° ( «вертикальна стінка»), що дозволить більш гармонійно вписати концентратор в архітектурну концепцію будівлі, не погіршуючи його зовнішній вигляд [28].

Таблиця 2.1

Характерні дні для визначення алгоритму управління жалюзійним геліостатом

| № п/п | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Дата | 17.01 | 16.02 | 16.03 | 15.04 | 15.05 | 11.06 | 17.07 | 16.08 | 15.09 | 15.10 | 14.11 | 10.12 |
| Схилення δ,° | -20,9 | -13,0 | -2,4 | 9,4 | 18,8 | 23,1 | 21,2 | 13,5 | 2,2 | -9,6 | -18,9 | -23,0 |

Слід зазначити, що представлені залежності кута нахилу дзеркальних пластин від часу доби розраховані з урахуванням добового ходу інсоляції для даної широти.

На рис. 2.24 представлені пояснення до розрахунку залежності кута нахилу дзеркальних пластин від часу доби на прикладі концентратора з кутовою апертурою 26° (березень). Як видно з рис. 2.24, регулювання кута нахилу дзеркальних пластин 16 березня потрібно в період з 7:00 до 18:00, графік регулювання перекриває інтервал часу дня, коли сонячна радіація



Created by Universal Document Converter

надходить на вхідну поверхню концентратора, в інші періоди дня регулювання не потрібно.

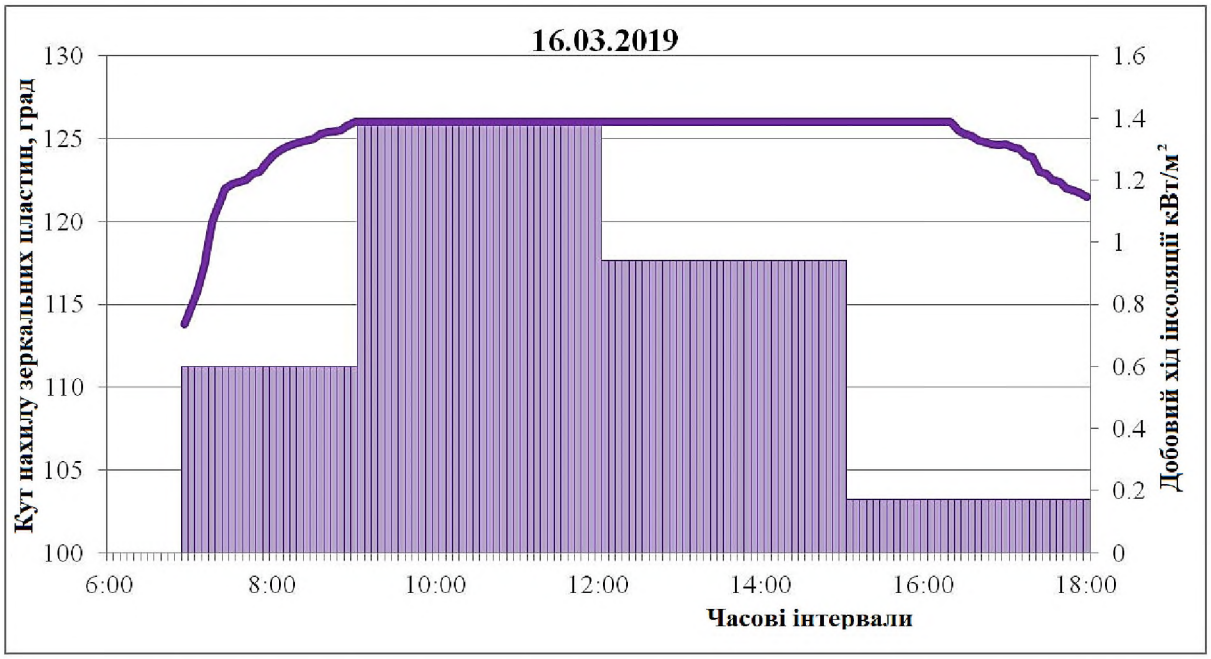



Рис. 2.24. Залежність кута нахилу дзеркальних пластин жалюзійного геліостату від часу доби для параболо-циліндричного концентратора з кутовою апертурою 26° і добовий хід інсоляції на вертикальну поверхню

## 2.4. Розробка конструкції концентратора

На рис. 2.25-2.27 представлено параболо-циліндричний фацетний концентратор з кутовою апертурою 26°, концентрацією 4,3. Ширина дзеркальних фацет становить 50 мм, кількість - 12 штук.

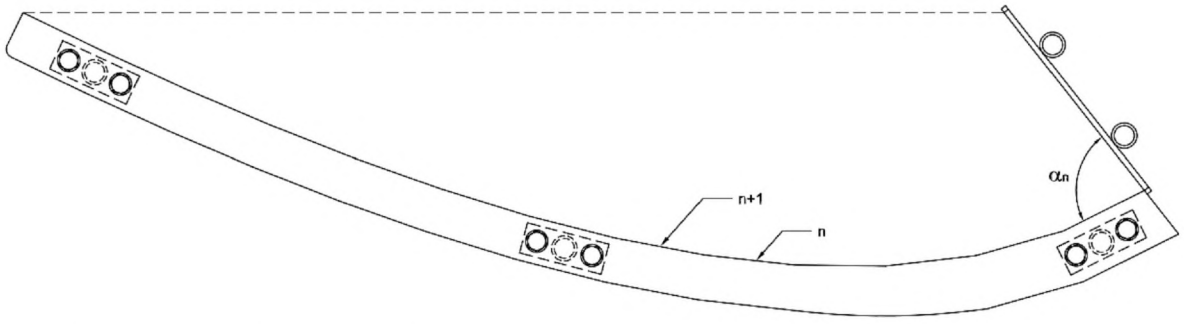



Рис. 2.25. Каркас циліндричного фацетного концентратора (кутова апертура 26 °). Шпангоут концентратора. *n* - номер дзеркальної фацет



Created by Universal Document Converter

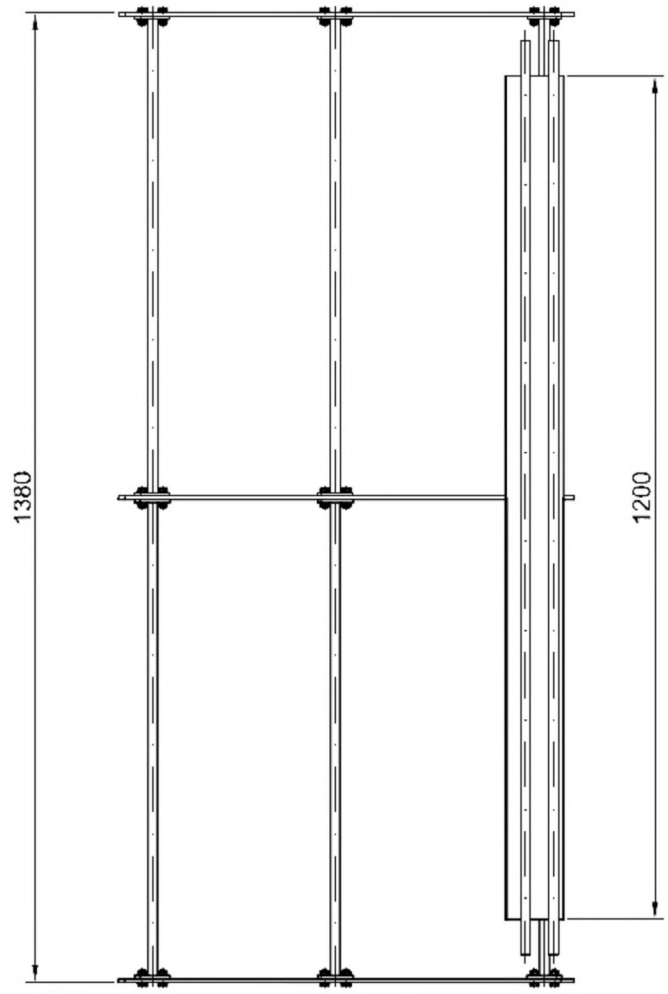



Рис. 2.26. Каркас циліндричного фацетного концентратора (кутова апертура 26°). Загальний вигляд

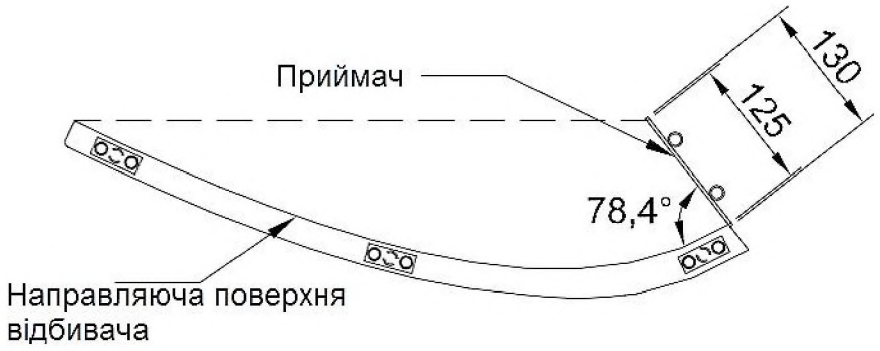



Рис. 2.27. Каркас циліндричного фацетного концентратора (кутова апертура 26°)



Created by Universal Document Converter

Запропоновано варіанти конструкцій сонячних модулів з різними типами концентраторів і відхиляючими оптичними системами, представлених на рис. 2.28-2.34.

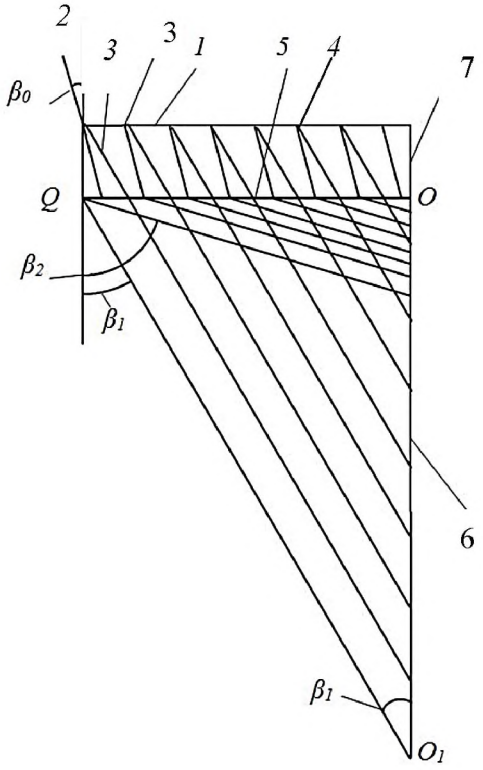



Рис. 2.28. Сонячний модуль з концентратором і одностороннім приймачем

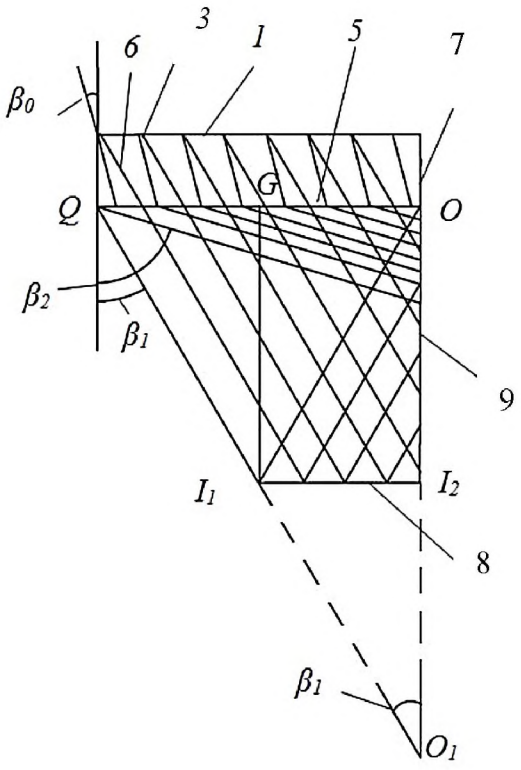



Рис. 2.29. Сонячний модуль з концентратором, що містить плоский дзеркальний відбивач, паралельний робочій поверхні модуля

Сонячний модуль з концентратором на рис. 2.28 містить робочу поверхню 1, на яку падає випромінювання 2, оптичну систему 3 з поверхнею входу 4 і виходу променів 5, що складається з основних дзеркальних відбивачів 6. Відхиляюча оптична система 3 шириною $B = QO$ створює на поверхні виходу 5 потік паралельних променів з кутами $\beta_1$ і $\beta_2$, які надходять на приймач 6 шириною $A = OO_1$, встановлений по ходу променів на площині $OO_1$, перпендикулярній до робочої поверхні $l$ і проходить через бічну грань 7 відхиляючої оптичної системи 3.

З трикутника $QOO_1$ маємо:



Created by Universal Document Converter

$$A = OO_1 = QO \cdot ctg\beta_1 = B \cdot ctg\beta_1 .$$

Коефіцієнт концентрації для оптичної системи 3 $QOO_1$ з урахуванням косинусних втрат при $\beta_0 \neq 0$ буде рівний:

$$k_1 = \frac{QO\cos\beta_0}{OO_1} = \frac{B\cos\beta_0}{A} = tg\beta \cdot \cos\beta_0 . \qquad (2.51)$$

На рис. 2.29 плоский дзеркальний відбивач 8 встановлений по середній лінії $I_1I_2$ $\Delta QO_1O$ паралельно поверхні виходу променів 5 $QO$ таким чином, що промінь $QI_1$ після відбиття від дзеркального відбивача 8 потрапить в точку $O$. Односторонній приймач 9 розміром $A = OI_2$ встановлений в площині $OI_2$. Коефіцієнт концентрації сонячного модуля на рис. 2.26 з урахуванням косинусних втрат дорівнює:

$$k_2 = \frac{QO \cdot \cos\beta_0}{OI_1}, \qquad (2.52)$$

$$A = OI_1 = IG = QG \cdot ctg\beta_1;$$
$$QO = 2QG.$$

$$k_2 = \frac{2QG \cdot \cos\beta_0}{QG \cdot ctg\beta_1} = 2 \cdot tg\beta_1 \cdot \cos\beta_0 . \qquad (2.53)$$

На рис. 2.30 один дзеркальний відбивач 10 встановлений по лінії $Y_1Y_2$, а другий дзеркальний відбивач 11 встановлений в площині виходу променів 5 $QO$ таким чином, що промінь $QY_1$ після відбиття від дзеркального відбивача 24 надходив в точку $X_2$ дзеркального відбивача 11 і після відбиття від дзеркального відбивача 11 потрапляє в в точку $Y_2$. Точки $X_1$ і $X_2$ вибираємо з умови:

$$QX_1 = X_1X_2 = X_2O;$$
$$QO = QX_1 + X_1X_2 + X_2O = 3 \cdot X_2O.$$



Created by Universal Document Converter

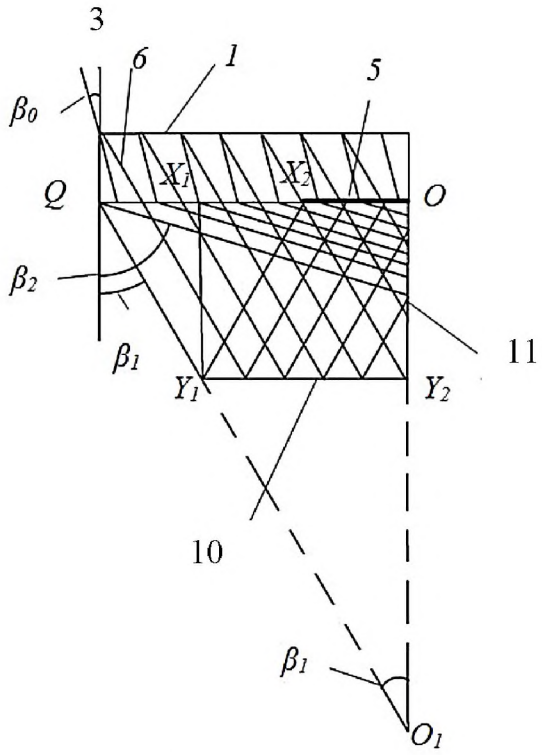



Рис. 2.30. Сонячний модуль з концентратором, що містить плоский дзеркальний відбивач, паралельний площині миделя, а також додатковий плоский дзеркальний відбивач, встановлений на поверхні виходу

Приймач 11 встановлений в площині $OY_2$. Ширина приймача дорівнює:

$$OY_2 = X_1Y_1 = QX_1 \cdot ctg\beta_1 = X_2O \cdot ctg\beta_1.$$

Коефіцієнт концентрації з урахуванням косинусних втрат:

$$k_3 = \frac{(QO - X_2O) \cdot \cos\beta_0}{OY_2} = 2 \cdot tg\beta_1 \cdot \cos\beta_0. \qquad (2.54)$$

Коефіцієнт концентрації для сонячного модуля із двома відхиляючими оптичними системами та двостороннім приймачем:

$$k_4 = 4 \cdot tg\beta_1. \qquad (2.55)$$



Created by Universal Document Converter

На рис. 2.31 сонячний модуль з концентратором має циліндричний дзеркальний відбивач 12 радіусом $R = OS = OO_5 = B\ cos\ \beta_1$ з віссю, розташованою в точці $O$ дотикання поверхні виходу відхиляючої оптичної системи 3 і приймача 13 з шириною приймача $OO_5$

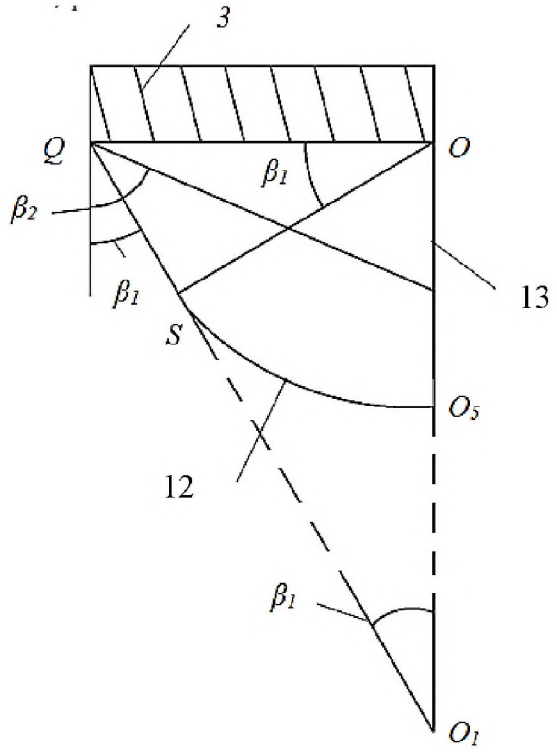



Рис. 2.31. Сонячний модуль з концентратором, що містить дзеркальний циліндричний відбивач

Ширина приймача 13:

$$A = R = QO \cdot \cos\beta_1 .$$

Коефіцієнт концентрації з урахуванням косинусних втрат:

$$k_5 = \frac{QO \cdot \cos\beta_0}{OO_5} = \frac{\cos\beta_0}{\cos\beta_1} . \qquad (2.56)$$

На рис. 2.32 дзеркальний відбивач 14 з кутом $\Psi$ до нормалі до поверхні виходу 5 з'єднаний в точці $Z_1$ з дзеркальним відбивачем 15 $Z_1O_7$, паралельним площині виходу 5 $QO$ променів $\beta_1$ і $\beta_2$ . Точка $Z_1$ вибирається з умови, що



Created by Universal Document Converter

промінь з кутом $\beta_1$ після відбивання від відбивача 15 $Z_1O_7$ потрапляє в точку $O$ приймача 16.

Ширина дзеркального відбивача 15:

$$Z_1O_7 = OO_7 \cdot tg\beta_1 = A \cdot tg\beta_1$$

Ширина дзеркального відбивача 14:

$$QZ_2 = OO_7 \cdot tg\psi$$

Ширина поверхні виходу 5:

$$B = QO = QZ_2 + OZ_2 = OO_7 \cdot \left(tg\psi + tg\beta_1\right)$$

Ширина приймача 16:

$$A = OO_7 = \frac{QO}{tg\psi + tg\beta_1} = \frac{B}{tg\psi + tg\beta_1}$$

Коефіцієнт концентрації з урахуванням косинусних втрат:

$$k_6 = \frac{QO \cdot \cos\beta_0}{OO_7} = \left(tg\psi + tg\beta_1\right) \cdot \cos\beta_0 . \qquad (2.57)$$

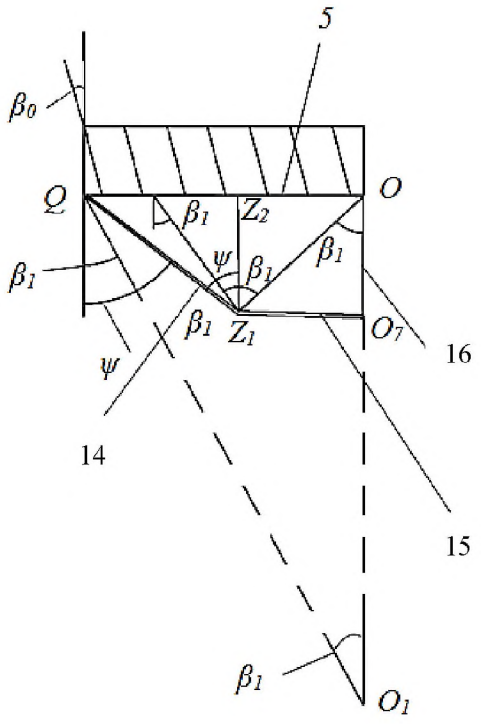



Рис. 2.32. Сонячний модуль з концентратором, що містить плоский дзеркальний відбивач з кутом $\Psi$ від нормалі до площини виходу променів, з'єднаний з іншим дзеркальним відбивачем, паралельним площині виходу променів



Created by Universal Document Converter

На відміну від сонячних модулів з концентраторами і на основі лінз Френеля запропоновані модулі з концентратором використовують паралельний пучок променів, який потрапляє на приймачі, що забезпечує відсутність оптичних втрат, властивих призмовим концентраторам і лінзам Френеля. Сонячний модуль з відхиляючою оптичною системою на основі жалюзійних геліостатів може бути використаний для передачі паралельного потоку сонячної енергії на приймачі випромінювання в теплицях, будівлях і в підземних спорудах.

У сонячному модулі, що зображений на рис. 2.33 параболоциліндричний концентратор 4 з параметричним кутом $\delta$, фокальною віссю $F$ і вершиною $O$. Приймач 6 встановлений між фокальною віссю $F$ і вершиною $O$ параболоциліндричного концентратора 4. Оптична система 3 шириною B = $QO_1$ створює на поверхні параболоциліндричного концентратора 4 потік паралельних променів з кутами $\beta_1$ і $\beta_2$.

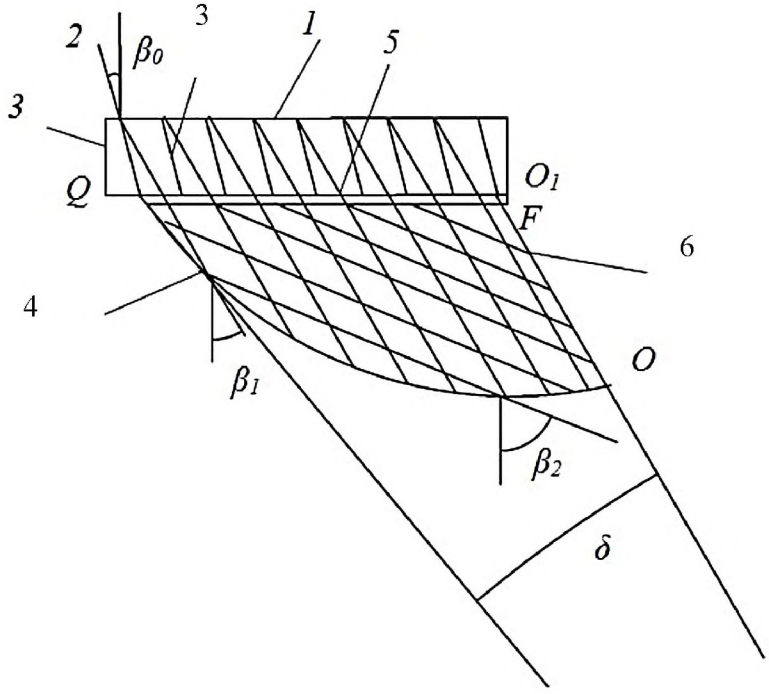



Рис. 2.33. Сонячний модуль з параболо-циліндричною оптичною системою



Created by Universal Document Converter

Коефіцієнт концентрації сонячного модуля з концентратором з урахуванням косинусного втрат дорівнює:

$$k_7 = \frac{QO_1 \cdot \cos\beta_0}{OF} = \frac{2 \cdot \cos\beta_0}{1 - \cos(2\delta)}. \qquad (2.58)$$

На рис. 2.34 сонячний модуль з концентратором має дві відхиляючі зустрічно промені оптичні системи, у яких кут між основними дзеркальними відбивачами 7 і 8 двох відхиляючих оптичних систем становить $Q_1 = 2\varphi_0 - 2\beta_0$, а кут між поверхнями входу 9 і 10 дорівнює $Q_1 = 2\varphi_0 - 2\beta_0$. Сонячний модуль має два параболо-циліндричні концентратори 11 і 12 із загальною фокальною віссю $F$, спільним двостороннім приймачем 13, у яких поверхні входу 14 і 15 утворюють кут $Q_3 = Q_2 = 180° - 2\beta_0$. Лінії 16 і 17, які є дотичними до поверхні параболо-циліндричних концентраторів 11 і 12, біля поверхонь входу 14 і 15 і зовнішніми межами апертурних кутів утворюють між собою кут $Q_4 = 180° - 2(\delta + \beta_0)$. Коефіцієнт концентрації сонячного модуля з концентратором на рис. 2.34 дорівнює :

$$k_8 = \frac{4 \cdot \cos\beta_0}{1 - \cos(2\delta)}. \qquad (2.59)$$

У розглянутих варіантах конструкцій сонячних модулів з системою жалюзійних геліостатів концентратор може бути виконаний у вигляді призми повного внутрішнього відбивання.

У порівнянні з розглянутим сонячним модулем [29], розроблені сонячні модулі з концентратором мають нульові втрати на блокування і затінення. Приймач сонячного випромінювання може бути виконаний з пристроєм відведення тепла для отримання електроенергії та гарячої води.



Created by Universal Document Converter

В якості приймача випромінювання в концентраторних сонячних модулях з низьким коефіцієнтом концентрації можуть використовуватися фотоелектричні, тепло-фотоелектричні і теплові приймачі.

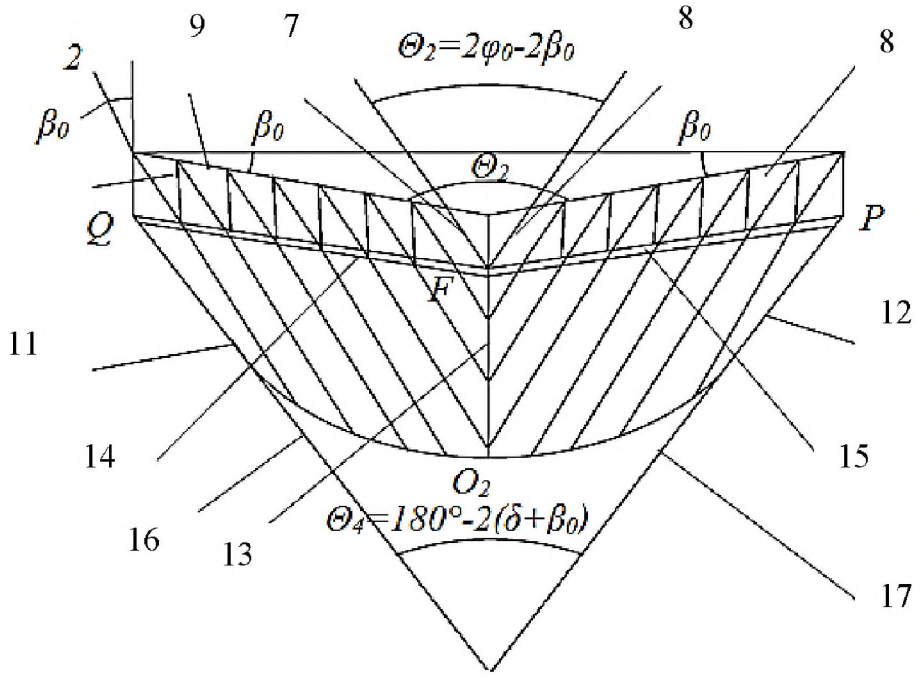



Рис. 2.34. Сонячний модуль з концентратором, що складається з двох відхиляючих оптичних систем і двох параболо-циліндричних концентраторів

Застосування кожного з перерахованих варіантів має свої особливості. У першому випадку параметрами, котрі характеризують ефективність роботи модуля, є температура фотоприймачів, інтенсивність сонячного випромінювання, вироблення електроенергії. У другому варіанті до контрольованих параметрів додається температура теплоносія, теплова та електрична потужність, генерована модулем; в третьому - температура теплоносія, теплова потужність.



Created by Universal Document Converter

## 2.5. Фотоелектричний приймач сонячного концентруючого модуля (PV - модуль)

На рис. 2.35 представлена структура типового фотоелектричного PV - модуля.

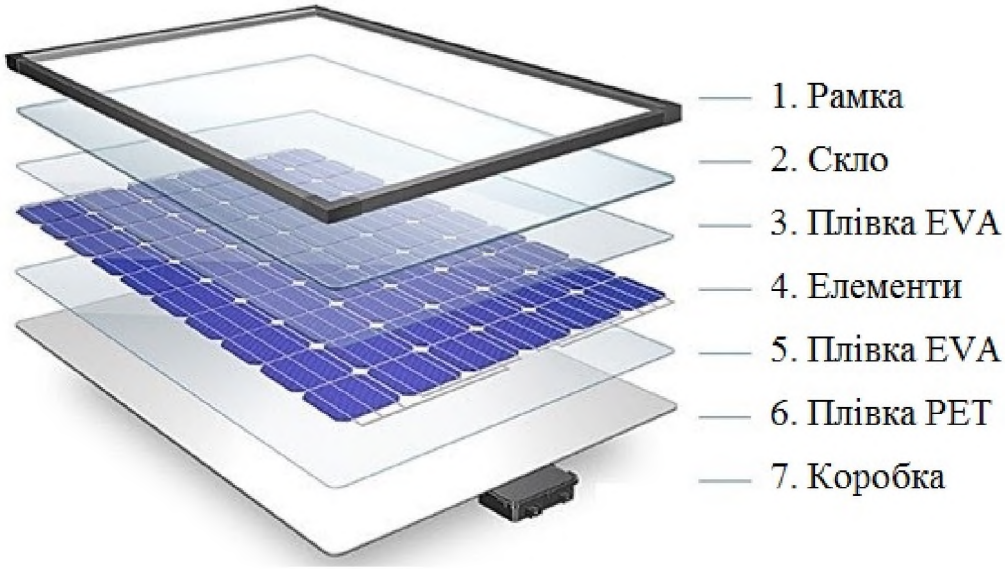



Рис. 2.35. Структура типового фотоелектричного модуля

Енергія світлового потоку, що надходить на поверхню фотоприймача, перетворюється в поверхневому шарі в електричну енергію (ККД фотоприймача 15 %) і тепло (85 %).

Визначимо питому теплову потужність на поверхні фотоперетворювача в припущенні, що коефіцієнт концентрації оптичної системи 5,5 (кутова апертура 18°), оптичний ККД 75 %, інсоляція на поверхні входу концентратора 1000 Вт/м$^2$ при 80 % прямої складової у поступаючому випромінюванні.

В цьому випадку $q_ф = 1000 \cdot 5,5 \cdot 0,8 \cdot 0,75 \cdot 0,85 = 2085 Вт / м^2$

У першому наближенні припустимо, що тепловий потік поширюється симетрично, тобто $q_ф = 1402,5 Вт / м^2$.



Created by Universal Document Converter

На рис. 2.36 представлена схема поперечного перерізу фотоелектричного модуля.

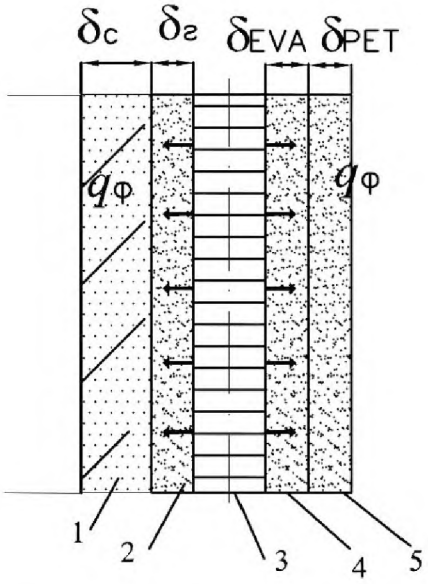



Рис. 2.36. Схема поперечного перерізу фотоелектричного модуля:
1 - скло; 2 - шар полісилоксанового гелю; 3 - фотоприймачі; 4 - плівка EVA; 5 - плівка PET

Складемо рівняння балансу тепла по одну сторону від фотоприймача.

З боку фотоприймача через плівку EVA модуля проходить тепловий потік $q_ф$, рівний:

$$q_ф = \frac{t_ф - t_n}{\frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{\delta_{n2}}{\lambda_{n2}}}. \qquad (2.60)$$

де $t_ф, t_n$ - температури фотоприймача і плівки в даному перетині, С;

$\lambda_n$ - коефіцієнт теплопровідності плівки EVA , Вт/м°С;

$\lambda_{n2}$ - коефіцієнт теплопровідності плівки PET , Вт/м°С ;

Така ж кількість тепла передається у навколишнє повітря з поверхні полісилоксанової плівки:

$$q_ф = k\left(t_n - t_{пов}\right). \qquad (2.61)$$



Created by Universal Document Converter

де $t_{пов}$ - температура навколишнього повітря, °С; $k$ - коефіцієнт теплопередачі

$$k = \frac{1}{\frac{1}{h_к} + \frac{1}{h_{вип}}}. \qquad (2.62)$$

де $h_к$ - коефіцієнт теплопередачі конвекції в навколишнє середовище, Вт/(м$^2$·°С);

$h_{вип}$ - коефіцієнт теплопередачі випромінюванням в навколишнє середовище, Вт/(м$^2$·°С).

Аналогічно складаємо рівняння теплового балансу з боку фотоприймача через скло.

$$q_ф = \frac{t_ф - t_c}{\frac{\delta_п}{\lambda_п} + \frac{\delta_c}{\lambda_c}}, \qquad (2.63)$$

де $t_c$ - температура скла в даному перетині, ° С; $\lambda_c$ - коефіцієнт теплопровідності скла, Вт/(м$^2$·°С).

Така ж кількість тепла передається до навколишнього повітря від поверхні скла:

$$q_ф = k_1 (t_c - t_{пов}). \qquad (2.64)$$

Де $t_{пов}$ - температура навколишнього повітря, ° С;

$k_1$ - коефіцієнт теплопередачі.

Коефіцієнт теплопередачі визначається аналогічно формулам 2.62 - 2.64. Далі методом послідовних наближень знаходимо температуру фотоприймача і коригуємо потокорозподіл. Розрахунки зручніше проводити в середовищі Mathcad . Розрахунок проведено для температури навколишнього повітря 25 °С, коефіцієнт теплопровідності плівки EVA 0,35



Created by Universal Document Converter

Вт/м°С [30], PET - плівка 0,24 Вт/м°С , скла 0,76 Вт/м°С. За результатами розрахунку температура фотоприймача при заданих умовах не перевищує 80 °С, що в ходить в діапазон робочих температур стандартного PV - модуля (від -40 ° С до + 85 ° С) [31].

### 2.6. Привід системи жалюзійних геліостатів

Завданням системи управління поворотом жалюзійних геліостатів є здійснення спостереження за Сонцем по зенітальному (кут схилення h ) параметру впродовж світлового дня з використанням одного електродвигуна.

Запропонована система управління поворотом жалюзійних геліостатів в якості основних компонентів містить сервопривід, мікроконтролер (МК) ATmega 328- PU від фірми Atmel , модуль годин реального часу RTC з вбудованим резервним джерелом живлення, а також давач освітленості.

Програмний код для даної системи може бути розроблений на платформі Arduino - електронному конструкторі зі зручною платформою швидкої розробки електронних пристроїв. Бібліотека функцій Servo допоможе здійснити програмне керування сервоприводами за допомогою МК. Розглянемо детальніше принцип роботи системи управління поворотом жалюзійних геліостатів. На початку циклу МК зчитує дані з модуля годин реального часу RTC (дата, час), далі, якщо час нічний (наприклад, з 22:00 до 5:00 - задається заздалегідь в програмному коді в залежності від широти місцевості, час сходу і заходу Сонця), МК переходить у сплячий режим, а вбудований таймер (Watch dog) виведе МК із сплячого режиму, наприклад, в 5:01 (час сходу сонця). У денний час при попаданні променів Сонця на елементи давача освітленості, розташованого на вхідній поверхні концентратора, сигнали від нього надходять на блок автоматичного управління: якщо рівень СІ знаходиться в межах, що дозволяють почати роботу концентруючого модуля, знову зчитуються дані з RTC і відповідно до



Created by Universal Document Converter

інформації бази даних графіків регулювання кута нахилу пластин (також задається в пам'яті МК) здійснюється поворот серводвигуна на необхідний кут. Далі цикл повторюється. Найважливішими характеристиками сервоприводу є крутний момент і швидкість повороту [32].

Для порівняння в таблиці 2.2 представлені питомі вагові та вартісні показники скляного дзеркала і дзеркального алюмінію (Alanod), що використовується в якості матеріалу дзеркальних пластин геліостату, а також показано і зміна даних параметрів в залежності від ширини пластин для концентратора з апертурним кутом 26° і геометричними параметрами 1500 х 540 мм, відносний крок пластин 0,5. Як видно з таблиці 2.2, маса жалюзійного геліостату (алюміній) не перевищує 2 кг. Для забезпечення повороту системи жалюзійних геліостатів досить сервоприводу потужністю не менше 0,4 кВт з крутним моментом не менше 2 Нм .

Таблиця 2.2

Питомі вагові та вартісні показники дзеркального алюмінію Alanod і скляного дзеркала

| Матеріал | Питомі показники | | b = 30 мм | | | | b = 40 мм | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | маса, кг/м$^2$ | вартість, грн./м$^2$ | N, шт | S, м$^2$ | маса, кг | вартість, грн | N, шт | S, м$^2$ | маса, кг | вартість, грн |
| Дзеркальний алюміній (товщина 0,4 мм) | 1,27 | 960 | 35 | 1,578 | 2,0 | 1515 | 26 | 1,588 | 2,017 | 1524 |
| Дзеркало (товщина 4 мм) | 11 | 1150 | 28 | 1,279 | 14,068 | 1471 | 23 | 1,35 | 14,85 | 1553 |
| матеріал | Питомі показники | | b = 50 мм | | | | b = 100 мм | | | |
| | маса, кг/м$^2$ | вартість, грн./м$^2$ | N, шт | S, м$^2$ | маса, кг | вартість, грн | N, шт | S, м$^2$ | маса, кг | вартість, грн |
| Дзеркальний алюміній (товщина 0,4 мм) | 1,27 | 960 | 21 | 1,594 | 2,025 | 1530 | 11 | 1,607 | 2,041 | 1543 |
| Дзеркало (товщина 4 мм) | 11 | 1150 | 19 | 1,397 | 15,362 | 1607 | 10 | 1,5 | 16,5 | 1725 |



Created by Universal Document Converter

На рис. 2.37 для наочності показано, що за ваговими і вартісними характеристиками (при незначній розбіжності коефіцієнта відображення матеріалів - не більше 3%) дзеркальний анодований алюміній Alanod значно випереджає дзеркало: для розглянутого концентратора при ширині пластин $b$ = 100 мм маса системи жалюзійних геліостатів з дзеркала в 8,1 разів вище аналогічної з дзеркального алюмінію, при цьому вартість такої системи (враховується тільки вартість пластин) на 10,6 % нижче, ніж у системи жалюзійних геліостатів з дзеркала.

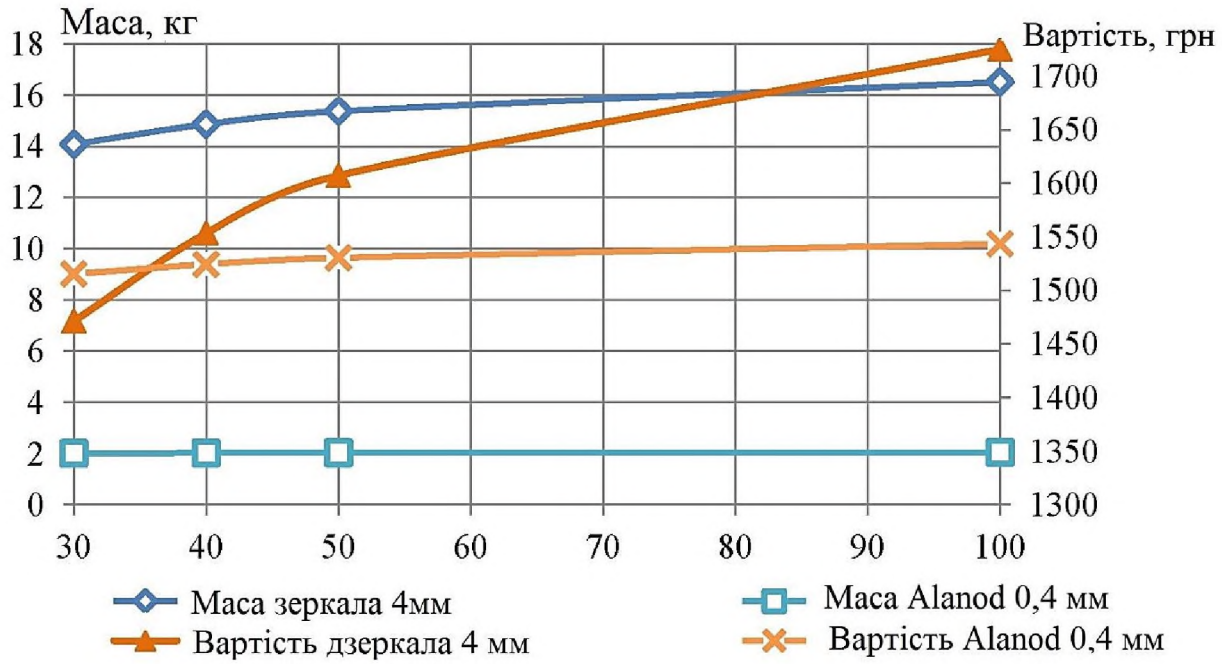



Рис. 2.37. Порівняння вагових і цінових характеристик різних матеріалів для виготовлення дзеркальних пластин

## 2.7. Висновки до розділу

1. Отримано функціональну залежність, що зв'язує положення Сонця, крок дзеркальних пластин геліостату і їх орієнтацію для забезпечення мінімальних втрат на блокування і затінення в жалюзійних геліостатах.



Created by Universal Document Converter

2. Розроблено на основі розгляду тривимірної задачі алгоритм розрахунку руху сонячних променів по дзеркальній поверхні пластин і параболоціліндра дозволяє розрахувати потік сонячного випромінювання на приймальній поверхні сонячного концентратора.

3. Розроблено алгоритм управління дзеркальними пластинами жалюзійного геліостату, який значно підвищує ефективність роботи сонячного концентратора - використання жалюзійного геліостату з постійним кроком пластин рівноцінно збільшенню кутової апертури концентратора з 26° до 70° без зниження коефіцієнта концентрації.

4. Розроблено оптичні схеми і конструкції чотирьох типів сонячних модулів з жалюзійними геліостатами і концентраторами, що мають нульові втрати на затінення і блокування сонячного випромінювання.

5. За результатами теплових розрахунків сонячного концентруючого модуля з коефіцієнтом концентрації 5,5, температура фотоперетворювачів (PV - приймач) при температурі навколишнього середовища до 25 °С , інсоляції 1000 Вт/м$^2$ не перевищує 80 ° С , що входить в діапазон робочих температур стандартних PV - модулів .

6. Запропоновано рекомендації для розробки системи управління жалюзійним геліостатом не слідкуючого концентратора на базі попередньо сервоприводу (або крокової двигуна), в якості матеріалу для виготовлення пластин системи жалюзійного геліостату рекомендується використовувати дзеркальний анодований алюміній Alanod - маса системи жалюзійного геліостату з дзеркального алюмінію в 8 разів нижче в порівняні з системою із дзеркала, при цьому вартість такої системи (без урахування вартості сервоприводу) на 11% нижче, ніж у системи з скляним дзеркалом.



Created by Universal Document Converter

# РОЗДІЛ 3.
# СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

## 3.1. Способи створення формул в Microsoft Excel, використані при проведенні обрахунків

В комірки робочих таблиць можна вводити не лише дані, а й різноманітні формули, які використовуються для обчислення даних, що зберігаються в інших комірках. Адреси комірок в формулі виступають в якості змінних. Формулу можна вводити, як безпосередньо в комірку, так і в рядок набору формул.

Формулою вважається будь-яка інформація, яка починається із знаку рівності (“=”) і записана за певними правилами [ ].

Результатом обчислення формули може бути числове або логічне значення (True – істина, False – хибне значення). Логічний результат отримується при використанні в формулі операторів логічного порівняння. В формулах можна використовувати такі оператори математичних операцій:

- ( - відкрити дужку;
- ) – закрити дужку;
- + - додавання;
- віднімання;
- множення;
- / - ділення;
- ^ - піднесення до степеня (A3^4 A3 до 4-го степеня);
- % - визначення процента (“=30%” буде “0,3”);
- & - об’єднання текстових рядків.



Created by Universal Document Converter

Правила і порядок виконання математичних операцій такі ж як і в традиційній математиці. Якщо потрібно змінити порядок виконання операцій, то операцію, яка повинна виконуватись першою слід виділити в дужки. (Приклад A5+A1^A2+(B7*B4)^2).

Якщо потрібно вказати комірку з іншого аркушу, то перед коміркою вказати назву аркуша і поставити знак “!”.

В якості операторів логічного порівняння можна використати:

> - більше;

< - менше;

= - рівність;

<> - не рівність;

<= - менше дорівнює;

>= - більше дорівнює.

Відносні і абсолютні координати. Автозаповнення для формул.

Якщо користувачу потрібно за однаковою формулою обчислити значення відразу для кількох різних комірок, то можна скористатися операцією автозаповнення. Для цього потрібно ввести формулу, за якою буде обчислюватись значення першої із відповідних комірок. Тоді одним із способів авто заповнення, наприклад, за допомогою мітчика авто заповнення, розмножити формулу на решту комірок. При цьому у формулах, що з’являться в наступних комірках в якості змінних використовуються адреси сусідніх комірок до введених в початковій формулі. Причому, адреси змінюються в тому напрямку, в якому виконується автозаповнення, тобто при авто заповненні вздовж рядка в адресах комірок змінюється назва колонки, а вздовж колонки – назва рядка.

Крім цього, адреси комірок в формулі змінюються при звичайному копіюванні комірки із формулою, що дозволяє використовувати копіювання в якості операції автозаповнення.



Created by Universal Document Converter

У формулі, в якості змінних може бути відразу кілька різних адресів комірок. При цьому, у випадку виконання автозаповнення даною формулою наступних комірок інколи потрібно, щоб адреси одних комірок у формулі змінювались, а інших – ні. Тому в Excel існують поняття абсолютної та відносної адреси комірки.

Абсолютна адреса – це адреса комірки в формулі, що не змінюється при копіюванні формули в інше місце або виконанні операції автозаповнення.

Відносна адреса – це адреса комірки, що змінюється при копіюванні, перенесенні формули в інше місце або виконанні операції автозаповнення.

Для того, щоб вказати абсолютні координати комірки, необхідно перед назвою рядка або колонки поставити знак $. Причому, якщо встановити цей знак перед назвою рядка, то не змінюється лише координата рядка даної комірки, а назва колонки міняється, і навпаки. $D$4 – не змінюється в адресі комірки на назва колонки, ні назва рядка; $D4 – не змінюється в адресі назва колонки, а назва рядка може змінюватись; D$4 – не змінюється в адресі назва рядка, а назва колонки може змінюватись.

Представлення в комірках формул та результатів.

За замовчуванням Excel показує в комірках не формули, а результати обчислень формул. Формулу можна побачити встановивши курсор на комірку і подивившись в рядок набору формул.

Для того, щоб бачити формули у комірках весь час виконати: Tools(Сервис)→Options(Параметры) і у вікні, що відкриється – закладку View(Вид). Після чого слід відмітити опцію Formulas(Формулы) і натиснути кнопку OK. Для того, щоб заховати – зняти опцію.

Встановлення імен для ділянок

При роботі з діапазоном даних зручно дати йому ім’я. При цьому у формулах можна вказувати не діапазон адрес комірок, а присвоєне ім’я.



Created by Universal Document Converter

Для надання імені відповідному діапазону, його потрібно виділити (бажано, щоб перша комірка виділеної ділянки була порожньою). Після цього помістити курсор в рядок набору формул, вказати для нього ім'я і натиснути Enter.

В якості імені ділянки можна використовувати будь-який набір символів до 255, крім пропуску.

Імена можна давати діапазонам розкиданим по аркушу. Для цього потрібно виділити всі комірки, що повинні увійти в ділянку, а тоді Insert(Вставка)→Name(Имя)→Define(Определить). Відкриється вікно, де в полі Names in workbook(Имена в рабочей книге) вказати ім'я ділянки.

В полі Refers to(Ссылка на) можна побачити посилання на виділену ділянку комірок в тому вигляді в якому вона повинна бути представлена в формулі.

Після вказання назви робочої ділянки натиснути Add(Добавить)→ОК.

Всі імена ділянок даної робочої книги виводяться в списку вікна Define name(Применить имена).

Якщо у вказаному списку виділити певну ділянку і натиснути кнопку ОК, то вказана ділянка в списку буде виділена.

Інколи виникає потреба одночасно вказати імена кількох ділянок, що виділені в один діапазон. В такому випадку потрібно виділити весь діапазон комірок разом з майбутніми іменами ділянок, а тоді - в пункті Insert(Вставка)→Name(Имя)→Create(Создать). На екрані з'являється діалогове вікно Create Names(Создать имена). В цьому вікні потрібно вказати позиції комірок виділеної ділянки, текст яких буде визначений в якості імен потрібних ділянок. При цьому можна вибрати:

Top row(в верхней строке) – назви відповідних ділянок знаходяться в першому рядку виділених комірок;

Left column(в левом столбце) – назви відповідних ділянок знаходяться в першій колонці виділених комірок;



Created by Universal Document Converter

Bottom row(в нижней строке) – назви відповідних ділянок знаходяться в останній колонці виділених комірок;

Right column(в правом столбце) – назви відповідних ділянок знаходяться в останньому рядку виділених комірок.

### 3.2. Використання формул масиву

В Excel можна обчислювати значення не лише для аргументів, які знаходяться в окремих комірках, але й одночасно для цілих інтервалів комірок, тобто масивів.

Масиви бувають одномірні (вектори), двомірні (матриці) і т.д. В Excel можна виконувати операції тільки над векторами і матрицями [21].

Для обчислення елементів масиву в Excel можна використовувати єдину формулу на всі елементи масиву. Наприклад, потрібно від кожного елемента масиву, що займає комірки від B2 до B10 відняти відповідний елемент з масиву, що займає комірки від E2 до E10. Результат необхідно помістити в комірки від H2 до H10.

Цю операцію можна виконати шляхом введення формули для елементів B2 та E2 (B2-E2), а тоді використати операцію авто заповнення. А можна використати формулу масиву. Для цього потрібно виділити комірки, куди необхідно помістити результати, а тоді ввести формулу:

=B2:B10-E2:E10

Після цього потрібно натиснути комбінацію клавіш Ctrl+Shift+Enter (а не Enter). В результаті в кожній комірці виділеного діапазону буде поміщено формулу:

{=B2:B10-E2:E10}

Фігурні дужки означають, що це формула масиву. Якщо ввести фігурні дужки з клавіатури, то вони будуть сприйматися як текст.



Created by Universal Document Converter

### 3.3. Використання функцій. Робота з майстром функцій

Крім вищезгаданих математичних операторів, в Excel використовується велика кількість різноманітних математичних, фізичних, фінансових статистичних та інших функцій.

При цьому виникає потреба у дотриманні правильного задання назви функції та її синтаксису. Для полегшення цього процесу в Excel запроваджено підпрограму "Майстер функцій"(Master function). Дана підпрограма викликається за допомогою піктограми $f_x$.

При виборі цієї піктограми відкривається вікно, де в лівій частині потрібно вибрати категорію функцій, а в правій – назву потрібної функції і натиснути ОК. Після цього відкриється ще одне вікно, де слід вказати всі аргументи цієї функції і натиснути ОК [21].

Вікно майстра функцій складається з одинадцяти розділів, на які поділено всі функції Excel (розділ Function category(Категории функций)):

- Most Recently Used(10 недавно использовавшихся);
- All(Полный алфавитный перечень) – всі доступні в Excel функції;
- Financial(Финансовые) – фінансові;
- Date&Time(Дата и время);
- Math&Trig(Математические);
- Statistical(Статистические);
- Lookup&Reference(Ссылки и масивы) – для роботи з адресами комірок та масивами;
- Database(Работа с базой даных);
- Text(Текстовые);
- Logical(Логические);
- Information(Проверка свойств и значений) – функції інформаційного характеру;



Created by Universal Document Converter

– User Defined(Определенные пользователем) – цей розділ є необов'язковим і з'являється при встановленні відповідних сервісних компонент.

Тригонометричні та математичні функції.

– ABS(число) (ABS) – встановлює модуль числа;
– ACOS(число)(ACOS) – встановлює арккосинус числа;
– COS(число) (COS) – косинус числа;
– DEGREES(число) – перетворює радіани в градуси;
– EXP(число) (EXP) – визначає експоненту числа;
– PI() ПИ – встановлює значення константи π.
– SQRT(число) (КОРЕНЬ) – встановлює квадратний корінь числа;
– SUMM(число1;число2;...) СУММ – знаходить суму аргументів (в якості аргументів можуть бути константи, адреси комірок та діапазони);
– SUMMPRODUCT(мас1;мас2;мас3;...) СУММПРОИЗВ – знаходить суму добутків відповідних елементів масивів;

Статистичні функції.

– AVERAGE(чис1;чис2;…) (СРЗНАЧ) - знаходить середнє арифметичне аргументів.

Логічні функції.

– AND(вир1;вир2;вир3;...) И – логічне "І". Має значення істини, якщо справедливі одночасно всі вирази аргументів;
– FALSE() ЛОЖЬ - логічне значення хибного твердженн;
– IF(Умова;вир_так;вир_ні) ЕСЛИ – перевірка умови записаної як логічний вираз або логічна функція. Якщо логічний вираз правдивий, то виконується ВИР_ТАК, в іншому випадку ВИР_НІ;
– NOT(лог_вираз) НЕ – логічне заперечення. Дає значення True(ИСТИНА), якщо логічний вираз хибний і навпаки.



Created by Universal Document Converter

# РОЗДІЛ 4.
# ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

## 4.1 Вступ

Відновлювана або регенеративна енергія - енергія з джерел, які, за людськими масштабами, є невичерпними. Основний принцип використання відновлюваної енергії полягає в її вилученні з процесів яки постійно відбуваються в навколишньому середовищі. Таким чином, використання поновлюваних джерел енергії, є дуже перспективним завданням не тільки з точки зору економічної вигоди, але і збереження природних ресурсів і екології планети.

В роботі проведено аналіз та розробка системи автономного живлення на основі використання результатів дипломного проектування для умов Тернопільської області.

Впровадження запропонованої системи дозволить повністю забезпечити потреби об'єкта в електричній енергії, що дасть не тільки повну автономність від міських електричних мереж, але і можливість реалізації надлишків електроенергії в мережу за «зеленим тарифом».

Для визначення економічної ефективності в дипломній роботі магістра необхідно визначити капітальні витрати на придбання, доставку, монтаж і налагодження відповідного обладнання, експлуатаційні витрати, показники ефективності капітальних витрат і термін окупності проекту.

## 4.2. Розрахунок капітальних витрат

Капітальні вкладення - це кошти, призначені для створення і придбання



Created by Universal Document Converter

основних фондів та нематеріальних активів які належать амортизації.

Капітальні витрати, необхідні для впровадження запропонованої системи, є одним з найважливіших показників що застосовуються для економічної оцінки ефективності заходів. Вихідні для розрахунківдані узято із [9]

Вартість монтажно-налагоджувальних робіт визначимо за формулою:

$$K_{мн} = \sum \left( Ч_i \cdot a \cdot t_i \right) \cdot K_д \cdot K_{см} \cdot K_{пр} = \left( 4 \cdot 26{,}1 \cdot 24 + 2 \cdot 31{,}9 \cdot 15 \right) \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}22 \cdot 1{,}1 = 5103$$

де $Ч_i$ - чисельність працівників і-го розряду, необхідних для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних) робіт, чол;

$a_i$ - годинна тарифна ставка і-го розряду, грн;

$t_i$ - час, необхідний для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних) робіт, годин;

$K_д$=1,1.. .1,5 - коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$K_{см}$=1,22 - коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальні заходи;

$K_{пр}$=1,1.1,5 - коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення монтажних (налагоджувальних) робіт.

Транспортні витрати визначаються відповідно до тарифів перевізника ТОВ «Делівері», маси вантажу і відстані до складів постачальника. Доставка вантажів буде здійснюватися зі складу компанії виробника. Згідно розрахунків перевізника доставка 6 вантажних місць загальною масою 1,5 тонни складе 7183 грн.

Проектні капіталовкладення в устаткування наведені в таблиці. 4.1.

Капітальні витрати становлять:

$$K = K_{об} + K_{тр} + K_{мн}$$



Created by Universal Document Converter

Таблиця 4.1

Розрахунок капітальних витрат по проектному варіанту

| № | Найменування встаткування й виконуваних робіт | Кількість | Вартість, грн. | |
|---|---|---|---|---|
| | | | за одиницю | усього |
| 1 | Сонячні батареї Solar CS6P-260 | 34 | 3200 | 108800 |
| 2 | Гібридний сонячний інвертор SILA 2000P | 1 | 5375 | 5375 |
| 3 | Акумуляторна батарея Kijo JDG12- 250 | 12 | 2950 | 35400 |
| 4 | Ветрогенератор «Flamingo Aero-4,6» | 1 | 37871 | 37871 |
| 5 | Дизельний генератор NIK DG7500 | 1 | 8400 | 8400 |
| 6 | Разом | | | 195846 |
| 7 | Транспортні витрати | - | - | 7183 |
| 8 | Монтажно-налагоджувальні роботи | - | - | 5103 |
| 9 | УСЬОГО | - | - | 208132 |

де $К_{об}$ - вартість устаткування по зведенню витрат (без ПДВ), грн.;

$К_{тр}$ - транспортно-заготівельні й складські витрати, грн.;

$К_{мн}$ - витрати на монтаж і налагодження встаткування, грн.;

$$К = 195846 + 7183 + 5103 = 208132 \text{ грн}$$

### 4.3. Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію й обслуговування об'єкта проектування за певний період, виражений у



Created by Universal Document Converter

грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат по електротехнічному встаткуванню й енергомережам ставляться:

а) амортизаційні відрахування ($C_a$);

б) вартість спожитої електроенергії ($C_e$);

в) основна й додаткова заробітна плата обслуговуючого персоналу й відрахування на соціальні заходи ($C_з$ );

г) витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування ($C_т$ )

д) інші витрати ($C_{ін}$).

У такий спосіб річні експлуатаційні витрати по об'єкті проектування становлять:

$$C = C_a + C_e + C_з + C_т + C_{ін}$$

де $C_З$ - заробітна плата з нарахуваннями персоналу, зайнятого обслуговуванням пристроїв, грн/рік;

$C_т$ - витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт, грн/рік;

$C_a$ - сума амортизаційних відрахувань, грн/рік;

$C_e$ - вартість спожитої електроенергії, грн/рік;

$C_{ін}$ - інші витрати, грн/рік.

Пропонована до установки система сонячних батарей і вітрогенератора є повністю автономною і не вимагає постійної присутності оператора або обслуговуючого персоналу. Всі планові роботи з обслуговування будуть проводитися господарем будинку. Таким чином статті витрат $C_з$, $C_с$ і $C_{ін}$ дорівнюють нулю.

$$C_a = \frac{Ф_п \cdot Н_a}{100}; \quad Н_a = \frac{Ф_п - Л}{Ф_п \cdot T_{\min}} \cdot 100\ \%$$



Created by Universal Document Converter

де: $H_a$ - норма амортизаційних відрахувань.

$Ф_п$ - початкова вартість;

$Л$ - розрахункова ліквідаційна вартість основних засобів, при прямолінейном методі амортизації можна прийняти рівною нулю;

$T_{min}$ - термін корисного використання основних фондів.

Розрахуємо амортизаційні відрахування для капітальних витрат з таблиці 4.1.

$$C_a = \frac{Ф_п \cdot H_a}{100} = \frac{208132 \cdot 8{,}0}{100} = 16650\,грн;$$

$$H_a = \frac{Ф_п - Л}{Ф_п \cdot T_{\min}} \cdot 100\,\% = \frac{208132 - 0}{208132 \cdot 12} \cdot 100\,\% = 8\%;$$

Річні витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт електротехнічного устаткування включає витрати на матеріали, запасні частини, обслуговування лічильників, ремонт розподільчих мереж і визначаються за фактичним даними або укрупнено у відсотках від капітальних витрат. Приймаємо в розмірі 0,01% від капітальних витрат, а саме:

$$C_т = 0{,}01 \cdot K_{об} = 0{,}01 \cdot 195846 = 1958 \text{ грн.}$$

Відповідно до практики, інші витрати визначаються в розмірі 4 % від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу. У зв'язку з тим, що у фонді заробітної плати обслуговуючого персоналу $C_З$=0 ця складова експлуатаційних витрат також дорівнює нулю.

Об'єкт проектування - гібридна енергетична установка є повністю автономною і не споживає електроенергії з мережі. зв'язку з цим дана стаття амортизаційних відрахувань дорівнює нулю.



Created by Universal Document Converter

Річні експлуатаційні витрати по об'єкті проектування становлять:

$$C = C_a + C_e + C_з + C_т + C_{ін} = 16650 + 0 + 0 + 1958 + 0 = 18608 \text{ грн.}$$

### 4.4. Визначення річної економії

Визначимо річну економію за рахунок зниження споживання електроенергії і реалізації надлишків виробленої електроенергії за «зеленим тарифом»:

$$E_{рік} = W_{СПрік} \cdot Ц_{Емер} + W_{НАД} \cdot Ц_{ЗГ} - V_{ДП} \cdot Ц_{ДП} =$$
$$= 10928 \cdot 1{,}68 + 3998 \cdot 5{,}38 - 53 \cdot 32 = 38172 \text{ грн.}$$

де: $W_{СПрік}$ - кількість електроенергії, що споживається споживачем за рік ($W_{СПрік}$ =10928 кВт·год);

$Ц_{Емер}$ - вартість електричної енергії за тарифами міських електричних мереж ($Ц_{Емер}$=1,68 грн/кВт·год);

$W_{НАД}$ - кількість надлишків електроенергії ($W_{НАД}$=3998 кВт·год);

$Ц_{ЗГ}$ - вартість електричної енергії за «зеленим тарифом»

($Ц_{ЗГ}$ = 5,38 грн/ кВт·год);

$V_{ДП}$ - об'єм спожитого дизельного палива, л;

$Ц_{ДП}$ - вартість дизельного палива, грн./л.

Об'єм спожитого дизельного палива визначається за формулою:

$$V_{ДП} = W_{ДГ} \cdot \Delta_{ДГ} = 191 \cdot 0{,}28 = 53 \text{ л}$$

де $W_{ДГ}$ - кількість електроенергії, що вироблена дизельним генератором

($W_{ДГ}$ =191 кВт·год);

$\Delta_{ДГ}$ - питоме споживання дизельного палива генератором



Created by Universal Document Converter

($\Delta_{ДГ}$ =0,28 л/кВт·год)

Знайдемо повну річну економію:

$$E_{повна} = E_{рік} - C = 38172 - 18608 = 19564 \; грн.$$

### 4.5. Визначення т а аналіз показників економічної ефективності

Знайдемо розрахунковий коефіцієнт ефективності (доходу) капітальних витрат:

$$E_p = \frac{E_{повна}}{K} = \frac{19564}{208132} = 0,093$$

де К - капітальні витрати, грн.;

$E_{повна}$ - загальна річна економія від впровадження системи, грн.

Термін окупності капітальних витрат:

$$T_p = \frac{K}{E_{повн}} = \frac{208132}{19564} = 10,4 \; роки$$

Для остаточної оцінки порівнюються розрахункові значення $E_р$ з нормативним $E_н$. Визначити нормативне значення коефіцієнта ефективності можна виходячи з прийнятною для зазначених заходів індивідуальної норми прибутковості:

$$E_н = \frac{1}{T_o} = \frac{1}{12} = 0,083$$

$$0,093 = E_p > E_н = 0,083$$

де $T_о$ - очікуваний прийнятний термін окупності капітальних вкладень, $T_о$=12 років

Результати розрахунку економічних показників проекту з впровадження результатів проектування наведено в таблиці 4.2



Created by Universal Document Converter

Таблиця 4.2

Зведена таблиця техніко-економічних показників

| № п/п | Найменування показників | Одиниці виміру | Проектний варіант |
|---|---|---|---|
| 1 | Капітальні витрати | грн. | 208132 |
| 2 | Експлуатаційні витрати | грн. | 18608 |
| 3 | Річна економія | грн. | 38172 |
| 4 | Повна річна економія | грн. | 19564 |
| 5 | Розрахунковий коефіцієнт ефективності | - | 0,093 |
| 6 | Розрахунковий термін окупності капітальних витрат | років | 10,6 |

### 4.6. Висновки до розділу

1. При порівнянні коефіцієнта ефективності (прибутковості) капітальних витрат, для розглянутого технічного заходу, з нормативним значенням коефіцієнта ефективності, розрахованого при прийнятному терміні окупності $T_o$=12 років, можна зробити висновок про те, що впровадження цього заходу є економічно доцільним.

2. Крім прямої економічної вигоди запропоноване впровадження електростанції на поновлювальних джерелах енергії чинить позитивний вплив на екологію, що в сучасних умовах є не менш важливим показником.



Created by Universal Document Converter

# РОЗДІЛ 5.
# ОХОРОНА ПРАЦІ ТА
# БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

## 5.1. Можливість виникнення статичної електрики та заходи боротьби з нею

Статична електрика - це процес утворення і розділення зарядів у просторі при контакті двох матеріалів, якщо хоча б один з них є діелектриком. Підвищений рівень статичної електрики відноситься до групи фізичних небезпечних і шкідливих виробничих факторів [ ].

Суть електризації заключається в тому, що діелектрики за певних умов стають електрично зарядженими. При цьому заряди не виникають і не зникають, а переходять з одного електризованого тіла на інше, накопичуються на поверхнях їх стикання чи переміщуються в межах одного й того ж тіла. Статична електрика може з'являтися на тілах і через індукцію, тобто через взаємодію на відстані. В основному виробництві харчової промисловості це можуть бути процеси помелу зерна, просіювання, транспортування трубопроводах борошна, процеси, пов'язані з приготуванням цукрової пудри, перевезенням чи транспортуванням по трубопроводах спирту, сухих дріжджів, розміщенням і фільтруванням рідин; технологічні процеси, пов’язані із застосуванням плоскопасових передач, транспортерів і т.д.

Якщо напруженість електричного поля перевищує електричну міцність середовища (повітря), то відбувається розряд статичної електрики. Основною причиною, що характеризує здатність різних матеріалів проводити струм, а також визначає їх здатність до електризації, є питомий електричний опір.

Умовно прийнято, що при питомому електричному опорі речовин і матеріалів порядку менше 10 Ом·м заряди не накопичуються і безпеки не являють. Якщо ж опір високий і велика швидкість відриву поверхні, то заряди зберігаються. Величина



Created by Universal Document Converter

зарядів визначається природою матеріалу і швидкістю розділення поверхонь, тобто інтенсивністю технологічного процесу.

Розряди статичної електрики являються одними з можливих імпульсів спалахування і вибухів в харчовій промисловості, що зв'язано, в першу чергу, із застосуванням сильно електризуючих речовин і матеріалів (горючі рідини, пил органічного походження). Електризація рідин приводить до спалахування і вибухів втроє частіше, ніж електризація дрібнодисперсних матеріалів, оскільки мінімальна енергія запалювання пилово-вітряних сумішей з 10...100 раз менше. При протіканні рідин величина заряду залежить від діелектричної сталої, її забрудненості, шорсткості стінок, швидкості протікання і діаметра труб.

Захист від статичної електрики та її небезпечних проявів повинен здійснюватись в двох напрямках: усунення електричних зарядів або зменшення їх до безпечних величин.

Апарати, машини, пристрої, які можуть стати джерелами виникнення зарядів статичної електрики, повинні бути заземлені не менше ніж у двох місцях незалежно від заземлення усього технологічного ланцюга.

Звичайні заземлюючі пристрої для захисту від розрядів статичної електрики об'єднують із заземлюючими пристроями для електрообладнання.

Заземлення повинно бути здійснене тільки паралельним приєднанням захисного обладнання. Допустимий опір заземленого пристрою для захисту від статичної електроенергії у вигляді малих струмів витрат допускається не більше 100 Ом.

Гнучкі трубопроводи для перекачування рідин, які здатні генерувати заряди (спирт, бензин, гас тощо), повинні мати металеве заземлене оплетення, а вихідні штуцери мають бути виконані із кольорових металів і з'єднані із заземленим металевим оплетенням.

Серед інших заходів, направлених на заземлення небезпечних проявів розрядів статичної електрики, слід відмітити такі, як заміна плоских пасів текстропними (клиновими); недопущення розприскування рідин при їх розливанні в ємності шляхом опущення завантажувальних труб на відстань не більше 0,2 м від днища приймальної посудини; зміна швидкості переміщення твердих і рідких матеріалів та ін.



Created by Universal Document Converter

## 5.2. Фізичні основи електробезпеки

Величина струму, що проходить через тіло людини при її попаданні під напругу, в найбільшій мірі визначає тяжкість ураження. Для розробки технічних і організаційно-технічних заходів і засобів профілактики електротравм важливо знати, від яких конструктивних особливостей електроустановок, їх робочих параметрів і стану залежить можлива величина струму через людину при потраплянні під напругу. Крім того, важливо, щоб весь електротехнічний персонал, усі працівники, робота яких пов'язана з експлуатацією електроустановок, чітко розуміли, чим обумовлена, що є причиною тієї чи іншої вимоги з електробезпеки. Таке знання, розуміння вимог чинних нормативів з електробезпеки сприятиме дотриманню їх працівниками, і якраз розуміння цих вимог відрізняє працівників п'ятої групи з електробезпеки від четвертої, і є обов'язковою складовою їх професійної підготовки з питань безпеки [33].

У реальній електричній мережі (повітряній чи кабельній) опір ізоляції проводів відносно землі розподіляється по всій довжині мережі — опорні, підвісні, натяжні ізолятори, ізоляція кабелю. Чим більша протяжність мережі, тим більше ізоляторів, які працюють паралельно, і менший загальний опір ізоляції проводів відносно землі. Необхідний опір ізоляції регламентується чинними нормативами. На практиці ізоляція струмопроводів виконується з реальних діелектриків, питомий опір яких не дорівнює нескінченності. Внаслідок старіння ізоляції, її частого зволоження, забруднення, нагріву, дії агресивного середовища тощо, питомий опір ізоляції знижується. Тому кожна ділянка довжини проводу має опір ізоляції певного значення або провідність, яка відрізняється від нуля, а при роботі реальної мережі мають місце постійні втрати струму (виток струму) через ізоляцію і землю. Таким чином, незважаючи на наявність ізоляції, токопроводи електромережі електрично звязані між собою і землею провідниками (ізоляцію) з великим опором.

Відповідно до зазначеного вище, кожна ділянка довжини проводу електромережі, що знаходиться під напругою, крім опору ізоляції має певну ємність відносно землі. Тому при дотиці людини до неізольованої струмовідної



Created by Universal Document Converter

частини (проводу тощо) функціонуючої електромережі струм через людину обумовлюється величиною напруги дотику і ємністю зазначеної вище системи. Ємнісна складова струму через людину при потраплянні під напругу в розгалужених мережах може досягати небезпечних для людини значень. Тому навіть при відключенні мережі від джерела живлення для ремонтно-профілактичних робіт тощо, необхідно заземлити кожен провід переносним заземленням і тільки після цього та перевірки відсутності напруги допускати персонал до роботи.

### 5.3. Зонування територій за ступенем небезпеки

З метою диференційованого підходу до планування запобіжних заходів здійснюється зонування територій країни, регіонів, міст і населених пунктів за територіями природного і техногенного ризиків [34].

Територія міста з урахуванням переважного функціонального призначення поділяється на селітебну, виробничу і ландшафтно-рекреаційну.

Селітебна територія має таке призначення: розміщення житлового фонду, громадських будівель і споруд (в т.ч. науково-дослідних комплексів), а також окремих комунальних і промислових об'єктів, які не вимагають утворення санітарно-захисних зон; будівництво шляхів міського сполучення, вулиць, площ, парків, бульварів та інших місць загального користування.

Виробничу територію призначено для розміщення промислових підприємств і пов'язаних з ними об'єктів, комплексів наукових установ з дослідними виробництвами, комунально-складських об'єктів, споруд зовнішнього та приміського транспорту.

Ландшафтно-рекреаційна територія включає міські ліси, лісопарки, лісозахисні зони, водойми, сільськогосподарські угіддя, які разом з парками і скверами селітебної території формують систему відкритого простору. Крім того, на територіях виділяються небезпечні зони.

Зона можливого небезпечного землетрусу – територія, в межах якої інтенсивність сейсмічного впливу становить сім і більше балів ( визначається за картами сейсмічного районування відповідно до ДБН).



Created by Universal Document Converter

Зона вірогідного затоплення – територія, межі якої можуть бути вкриті водою внаслідок стихійного лиха або руйнування гідротехнічних споруд.

Зона вірогідного катастрофічного затоплення – територія, на якій можлива загибель людей, сільськогосподарських тварин і рослин пошкодження або знищення матеріальних цінностей ( в першу чергу будівель і споруд), а також збитки навколишньому середовищу.

Зона можливих небезпечних геологічних явищ – територія, у межах якої передбачається виникнення небезпечних геологічних явищ, що становлять загрозу життю і здоров'ю людей, завдають збитків економіці.

Зона можливого радіоактивного забруднення - територія або акваторія, на якій є можливим забруднення поверхні ґрунту, будівель і споруд, атмосфери, води. продуктів харчування радіоактивними речовинами, яке може викликати перевищення нижнього критичного значення доз опромінення населення.

Зона можливого хімічного зараження – територія. В межах якої внаслідок пошкодження або руйнування ємностей з хімічно небезпечними речовинами можливий викид в довкілля цих речовин в концентраціях або кількостях, які становлять загрозу для людей , тварин і рослин впродовж певного періоду.

Зона можливих руйнувань – територія міст. Інших населених пунктів і ОГ, на якій можливе виникнення надмірного тиску у фронті повітряної ударної хвилі, який складає 30 кПа і більше, а також сейсмічний вплив, що спричиняє руйнування будівель, споруд, комунікацій.

Зона можливого утворення завалів – частина зони можливих руйнувань, яка включає ділянки розташування будівель і споруд з прилеглою до них місцевістю, де слід очікувати обвалення будівельних конструкцій та утворення завалів.

Позаміська зона – територія, розташована за межами зон можливих руйнувань, можливого радіоактивного та хімічного забруднення, вірогідного кас трофічного затоплення, і може бути використана для евакуації населення.

Можливе часткове або повне накладання двох і більше зон можливої небезпеки. На такі території запобіжні заходи проводяться від усіх видів небезпек відповідно до накладених зон.



Created by Universal Document Converter

# РОЗДІЛ 6.
# ЕКОЛОГІЯ

## 6.1. Традиційна енергетика і її вплив на навколишнє середовище

Енергетика - двигун і основа господарської діяльності людства. У попередніх розділах ми розглянули механізми використання й перетворення енергії Сонця біологічними системами. Людське суспільство, будучи системою соціальною, змушене саме виробляти енергію для власних потреб. Джерелами цієї енергії здебільшого є мінеральне паливо (вугілля, нафта, природний газ) — продукти мільйоннорічної життєдіяльності живих організмів — своєрідна спадщина біосфери минулих епох, ядерне паливо (в основному — один з природних ізотопів урану – $U^{235}$), та енергія падіння води.

На нинішній час потужність усіх джерел енергії на Землі, які використовує людство, становить величину порядку $10^{13}$ Вт. Еквівалентна потужність сонячної енергії, що надходить на Землю, становить $10^{17}$ Вт. З урахуванням екологічних і термодинамічних показників потужність усіх енергетичних установок на планеті не може бути збільшена більш ніж у 10 разів (це не стосується джерел, які використовують сонячну енергію). Проте дане обмеження враховує лише теплове забруднення середовища. Тим часом, кожен з існуючих широко використовуваних типів енергоустановок спричиняє цілу низку різноманітних негативних впливів на навколишнє середовище [31].

Теплова енергетика. Теплові електростанції (ТЕС) виробляють 60-80% електроенергії у нашій країні. Вони працюють на твердому (вугілля), рідкому (мазут) або газоподібному (природний газ) паливі. ТЕС викидають у



Created by Universal Document Converter

атмосферу коло 30 % загального обсягу всіх шкідливих промислових відходів. Вони істотно впливають на навколишнє середовище району їх розташування і на стан біосфери загалом [35].

*Вугілля* — найпоширеніший вид викопного палива на планеті. Спеціалісти вважають, що його запасів вистачить на 500 років. Крім того, поклади вугілля поширені в світі більш-менш рівномірно і воно є економічнішим, ніж нафта. Тому споживання високоякісного вугілля буде продовжувати зростати. При спалюванні вугілля в атмосферу викидаються летка зола з частками незгорілого палива, сірчистий і сірчаний ангідриди, оксиди азоту, сполуки фтору, а також газоподібні продукти неповного згоряння палива. Летка зола часто містить шкідливі домішки — миш'як, двоокис кремнію, вільний оксид кальцію. Одним із перспективних шляхів зниження викидів при спалюванні вугілля є вдосконалення технології, зокрема спалювання у так званому "киплячому шарі" з використанням спеціального каталітичного генератора. Дана технологія дозволяє значно підвищити ККД енергоустановки з одночасним зменшенням викидів у атмосферу шкідливих продуктів згоряння вугілля.

При спалюванні рідких палив *(мазутів)* з димовими газами в атмосферне повітря потрапляють сірчистий і сірчаний ангідриди, оксиди азоту, газоподібні й тверді продукти неповного згоряння палива, сполуки ванадію, солі натрію та ін. З екологічних позицій рідке паливо є "чистішим", ніж тверде. При цьому повністю відпадає проблема шлаковідвалів, які займають значні площі, виключають їх використання і є джерелом постійних забруднень атмосфери в районі станції через переноси частинок золи вітрами. У продуктах згоряння рідких видів палива немає леткої золи, проте є велика кількість сполук сірки, викиди яких у атмосферу є основною причиною сумнозвісних "кислотних дощів". Зменшення викидів сірчаних сполук в атмосферу можна досягти трьома шляхами: очищенням нафтового палива від сірки на нафтопереробних заводах; переробкою палива на ТЕС до



Created by Universal Document Converter

його спалювання з метою отримання малосірчистого газу; очисткою димових газів від оксидів сірки.

Використання *природного газу* сприяє підвищенню ККД енергоустановок, зниженню затрат на їх обслуговування, різкому покращенню екологічної ситуації, особливо у великих містах. Якщо рівень забруднення атмосферного повітря при використанні вугілля прийняти за одиницю, то спалювання мазуту дасть 0,6, а використання природного газу — 0,2. При спалюванні природного газу єдиним істотним забруднювачем атмосфери є оксиди азоту. Проте їх викиди в середньому на 20% менші, ніж при спалюванні вугілля. Таким чином, природний газ є екологічно найчистішим видом палива.

Потужні ТЕС відводять з підігрітими скидними водами в річки, озера і штучні водосховища велику кількість тепла, що впливає на термічний і біологічний режим водойм.

*Атомна енергетика.* Атомні електростанції наносять меншу шкоду довкіллю, ніж теплові. За станом на 1986 р. у світі діяло понад 350 енергетичних атомних реакторів сумарною потужністю понад 250 ГВт. Частка електроенергії, що вироблялась на АЕС, у той час становила в Болгарії — 30%, Швейцарії — 39, Бельгії — 50, Франції — 65%. Вважалося, що до 2000 р. ядерна енергетика буде забезпечувати понад 20% світового виробництва електроенергії. Більш ніж 40-річний досвід використання АЕС переконливо довів їхню життєздатність, економічність і відносну екологічну чистоту. З іншого боку, наслідки аварій на ядерних реакторах свідчать про серйозну небезпеку. У світі зафіксовано понад 150 аварій на АЕС, які супроводжувалися витоком радіації. Окремі з них — у США, ФРН, Великобританії, мали дуже серйозний характер і призвели до важких економічних, екологічних та психологічних наслідків. Найбільшою катастрофою стала аварія на Чорнобильській АЕС в Україні у 1986 р.

На жаль, при експлуатації ядерних енергоустановок завжди існує певна імовірність виникнення аварії. Причинами таких аварій найчастіше бувають відхилення у режимі роботи реактора, а також ситуації, що супроводжуються



Created by Universal Document Converter

викидом радіоактивних речовин. Аналіз радіаційної ситуації під час аварій реакторів показує, що найбільша небезпека радіоактивного забруднення довкілля пов'язана з викидом "довгоживучих" радіонуклідів — цезію-137, строн-цію-90 і плутонію. За потужності реактора в 100 кВт забруднення території у безвітряну погоду може охоплювати площу в радіусі 5,7 км, за потужності в 1 МВт - 18 км, 10 МВт - 87 км, 50 МВт - 128 км, 100 МВт - 180 км.

### 6.2. Нетрадиційна енергетика і її вплив на навколишнє середовище

Гідроенергетика могла б вважатися найбільш екологічно безпечним шляхом отримання електроенергії, якби не побічні наслідки будівництва й експлуатації гідроелектростанцій (ГЕС) [35]. Вона потребує спорудження гребель і водосховищ, які змінюють природний гідрологічний режим річок і спричиняють зміни локальних кліматичних умов. Епоха гідроенергетики в Україні почалася із славнозвісного "Дніпрогесу" у 20-х роках минулого століття. З того часу на Дніпрі постала ціла низка ГЕС, які, виробляючи коло 2% всієї електроенергії в країні, стали причиною затоплення сотень тисяч гектарів родючих заплавних земель, а їхні водосховища "зацвітають" мало не щоліта і становлять серйозну небезпеку для здоров'я людей, які споживають звідти воду. Порушення гідрологічного режиму Дніпра, крім того, спричинило до зменшення чисельності і навіть зникнення популяцій багатьох цінних промислових видів риб, зокрема осетрових, які не можуть потрапити до своїх нерестових місць через греблі та шлюзи. Навряд чи такі втрати можна виправдати покращенням судохідності ріки або необхідністю зрошення посушливих земель нашого Півдня (особливо враховуючи надзвичайно низьку ефективність використання земельних ресурсів в Україні загалом).



Created by Universal Document Converter

Таким чином, жоден з найбільш використовуваних шляхів отримання електроенергії не є екологічно безпечним. Тому з цієї точ ки зору енергетика повинна розвиватися у першу чергу в напрямку підвищення безпеки експлуатації енергоустановок, впровадження безвідходних технологій використання палива і розробки альтернативних "чистих" джерел енергії.

Існує багато розробок і технічних рішень щодо використання екологічно чистих джерел енергії та енергоустановок. Розглянемо коротко деякі з них.

**Вітрові електростанції.** Енергія вітру екологічно чиста, але можливості її використання в різних місцях неоднакові. Для нормальної роботи вітрових двигунів мінімальна швидкість вітру повинна становити в середньому за рік 4-5 м/с, а оптимальна — 6-8 м/с. Для цих установок шкідливі й ураганні вітри, які можуть їх поламати. Найбільш сприятливі зони для використання вітрової енергії — узбережжя морів і океанів, степи, тундри, високогір'я. Потужність існуючих на даний час ВЕС становить від 15 кВт до 7 МВт. У 1994 р. загальна потужність вітрових електростанцій світу становила 3,7 ГВт. До країн з найбільшим генеруванням вітрової енергії належать Німеччина, Великобританія та Індія, до них наближаються Аргентина, Бразилія, Болівія, Чилі, Китай, Єгипет, Індонезія. Під час роботи ВЕС навколишнє середовище не зазнає ніяких забруднень. Єдині негативні впливи — це низькочастотний шум працюючих вітряків та випадкова загибель птахів, що потрапляють у лопасті вітродвигунів.

**Геотермальна енергетика** базується на використанні глибинного тепла Землі. Геотермальні електростанції по компоновці, обладнанню й експлуатації аналогічні традиційним ТЕС, проте на відміну від останніх не викликають небажаних екологічних наслідків і використовують "дармову" енергію земних надр. Такі енергоустановки особливо поширені у активних вулканічних районах планети — в Ісландії, Новій Зеландії, Японії тощо.

**Сонячна енергія** — виключно чистий вид енергії, що не забруднює навколишнє середовище. її використання не пов'язане з ніякою біологічною небезпекою, і головне: використання сонячної енергії у великих масштабах



Created by Universal Document Converter

не порушує енергетичного балансу планети. Вже розроблені високотемпературні геліоконцентратори, що дозволяють отримувати температуру до 4000° С. Сумарна потужність сонячної енергії, що надходить до поверхні Землі, становить 20 000 ГВт. Річний прихід сонячної енергії на Землю еквівалентний спалюванню $1,2 \cdot 10^{14}$ т умовного палива, що у 20 разів перевищує всі розвідані в світі запаси органічного палива (6 $10^{12}$т умовного палива). Великомасштабне виробництво енергії на сонячних електростанціях (СЕС) пов'язане з пев ними труднощами, оскільки джерело сонячної енергії має низьку щільність радіації (в середньому 1 кВт на 1 $м^2$). Тому необхідна велика площа поверхні енергоприймачів, яка іноді сягає десятків квадратних кілометрів. Через значну вартість одиниці поверхні енергоприймальних модулів створення потужних СЕС вимагає великих затрат. Тому потужності існуючих СЕС поки що не перевищують 1 МВт.

**Біоенергетика.** Донедавна вважалося, що паливо з гною та інших органічних відходів не може конкурувати з природним газом і нафтопродуктами. Проте останнім часом цю точку зору було переглянуто, перш за все з екологічних позицій. Тисячі тваринницьких ферм і птахофабрик катастрофічно забруднюють стічні води, які потрапляють у природні водойми. Брудні стоки тваринницьких ферм і сміттєсховищ можна переробляти різними способами, використовуючи при цьому вивільнену енергію.

Технологія одержання біогазу дуже проста і не вимагає додаткових джерел енергії. Для цього використовуються спеціально розроблені установки — біореактори. Застосування біореакторів є перспективним перш за все у сільській місцевості. Крім того, вони сприяють зменшенню обсягів використання на паливо цінної деревини, що є проблемою в багатьох країнах, які розвиваються.



Created by Universal Document Converter

# ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Використання розробленого алгоритму управління дзеркальними пластинами жалюзійного геліостату, значно підвищує ефективність роботи сонячного концентратора. Річна сума сонячної радіації збільшується в два рази.

2. Розроблено алгоритм управління дзеркальними пластинами жалюзійного геліостату, який значно підвищує ефективність роботи сонячного концентратора - використання жалюзійного геліостату з постійним кроком пластин рівноцінно збільшенню кутової апертури концентратора з 26° до 70° без зниження коефіцієнта концентрації.

3. Розроблено оптичні схеми і конструкції чотирьох типів сонячних модулів з жалюзійними геліостатами і концентраторами, що мають нульові втрати на затінення і блокування сонячного випромінювання.

4. Запропоновано рекомендації для розробки системи управління жалюзійним геліостатом не слідкуючого концентратора на базі попередньо сервоприводу (або крокової двигуна), в якості матеріалу для виготовлення пластин системи жалюзійного геліостату рекомендується використовувати дзеркальний анодований алюміній Alanod - маса системи жалюзійного геліостату з дзеркального алюмінію в 8 разів нижче в порівняні з системою із дзеркала, при цьому вартість такої системи (без урахування вартості сервоприводу) на 11% нижче, ніж у системи з скляним дзеркалом.

5. Більшої інвестиційну привабливість мають концентруючі модулі з PVT - приймачем: для енергопостачання адміністративної будівлі термін окупності системи складає 7 років, індекс прибутковості інвестицій 3,1.

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | ДРМ 315.18.00.00.000 ПЗ | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | | |
| Розробив | | Мазуркевич О.П. | | | ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ | Літ. | Аркуш 108 / 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

6. Використання неслідкуючих концентруючих модулів з жалюзійним геліостатом дозволяє знизити вартість виробленої електроенергії в порівнянні з концентраторними модулями без жалюзей на 40-60 %.



Created by Universal Document Converter

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ


1. Солнечная энергетика, http ://tmn. fio/works/5 Ox/3 04/d2_ 2 .htm
2. http://solar-battery.narod.ru/img/graflkl.gif
3. О солнечной энергетики в России. http://solar.newtel.ru/ sunpower.html
4. Павел Грудницкий. Кремниевый прорыв. Эксперт-Казахстан №11(37) от 6 июня 2005 г.
5. Шаповалова О.В. Совершенствование конструкции и технологии изготовления фотоэлектрических преобразователей на основе кремния : диссертация ... кандидата технических наук : 05.14.08, Москва, 2006, 150с.
6. Солнечные электростанции, http://esco-ecosys.narod.ru
7. Жигарев А.А., Шамаев Г.Г. Электронно-лучевые и фотоэлектрические приборы. - М.: Высшая школа, 1982. - 463с.
8. Будагян Б.Г., Шерченков А.А., Мейтин М. Н. Полупроводниковые преобразователи энергии : Учеб. Пособие. М. МИЭТ 2000, 68с.
9. Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. - Л.: Наука, 1989,310с.
10. Фотопреобразователь на основе кремниевых эпитаксиальных структур п-п+ -типа.// Гелиотехника. 1985.№6. — с17.
11. Белов А.В. Использование наночастиц CdS и PbS в качестве акцепторов в полимерных фотовольтаических материалах : Дис. ... канд. хим. наук : 02.00.21 Москва, 2005, 130с.
12. Научная интернет библиотека http://www.nature.com




Created by Universal Document Converter

13. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии./П.П. Безруких, Ю.Д. Арбузов, Г.А. Борисов и др. СПб.: Наука,2002. 314с.

14. Малинин В.В. Астрономия. Сайт СГГА; 2005. http://www.ssga.ru/metodich/astronomi/pr_01 .html

15. Овсянников Е.М. Исследование и разработка следящего электропривода гелиоустановки. Кандидатская диссертация - М.: МЭИ, 1981,213с.

16. Овсянников Е.М. Электроприводы гелиоустановок наземного и космического базирования. Теория и практика. Докторская диссертация. — М.: МЭИ, 2003, 362с.

17. Афре П., Бофрон М., Датчики измерительных систем,- М.: Мир, 1995.-419 с.

18. Овсянников Е. М., Агафонов М. С, Разработка фотоэлектрических датчиков рассогласования для электроприводов гелиоустановок, - М.: МЭИ, вып. 672, 1997.-с. 107-115.

19. Овсянников Е. М., Датчики рассогласования для следящих электроприборов гелиоустановок. // Привод и управление, 2001. № 1, — с. 13 -17.

20. А. с. № 119622, Б. № 45, МКИ F24J2/40, 1985. Датчик слежения гелиоустановки. / Стегний А. И., Пасичный В. В., Терехов В. М., Малов Н. И., Овсянников Е. М. (СССР). - 4 с: ил.

21. А. с. № 1307175, Б. № 16, МКИ F24J2/38, 1987. Фотодатчик ориентации для гелиоустановки. / Овсянников Е. М., Николаев В. П., Новоселова Н. Г., Прокудо М. С. (СССР). - 4 с: ил.

22. А. с. № П77600, Б. № 33, МКИ F24J2/40, 1985. Фотодатчик ориентации. / Овсянников Е. М., Николаев В. П., Новоселова Н. Г., Терехов В. М. (СССР).-4 с: ил.

23. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных



Created by Universal Document Converter

работников и инженеров). М.: Наука. 1973. 832 с.

24. Выгодский М.Я. Аналитическая геометрия. Учебное издание / М.: Физматгиз. 1963. - 528 с.

25. Базарова Е.Г., Стребков Д.С., Иродионов А.Е., Тарасов В.П. Оптимальная ориентация неследящего солнечного концентратора // Теплоэнергетика. 2008. № 12. С. 9-12

26. http://www.astronet.ru (дата обращения 05.06.2016).

27. Dufflie J.A., Beckman W.A. Solar engineering of Thermal Processes: second ed. New York: John Wiley and Sons Inc, 1991. 919 p.

28. Шевченко Л.П. Архитектура и климат Южно-Российского региона: Учеб. пособие для вузов/Под ред. Шевченко Л.П. – Ростов-на-Дону: Рост. гос. арх. ин-т, 1998. – 183 с.

29. Патент на изобретение № 2172903 РФ, МПК F24J2/26. Солнечный модуль с концентартором / Стребков Д.С., Тверьянович Э.В., Иродионов А.Е., Кидяшев Ю.К., Семененко В.Ф., Ананенков А.Г., Неелов Ю.В., Якупов З.Г., Исаева А.Н., Данько Е.М. № 2000108561/06; опубл. 27.08.2001.

30. ЭВА Evathene UE653-04. URL: http://www.rusplast.com/catalog/eva/11383/

31. New thin film glas photovoltaic module rus. URL: http://www.power.eltehno.ru/prod/pass/85643_ss_photovoltaic_module _rus.pdf

32. Сервоприводы. URL: http://wiki.amperka.ru/робототехника:сервоприводы.

33. В. Ц. Жидецький, В. С. Джигирей, О. В. Мельников. Основи охорони праці. — Вид. 2-е, стериотипне. — Львів: Афіша, 2000. — 348 с.

34. Стеблюк М.І. Цивільна оборона. К.: Знання, 2006. - 487 с.

35. Білявський Г.О. Основи екології. Навчальний посібник. – К.: Либідь, 2006. – 408 с.



Created by Universal Document Converter