

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня освіти

на тему:

«МОДЕРНІЗАЦІЯ АВТОНОМНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПІДПРИЄМСТВА З РОЗРОБКОЮ
ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ КЕРУВАННЯ ПОВОРОТНИМ ПРИСТРОЄМ»

Виконав: студент 4-го

групи Ен–41 спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

_____ Урядко В. Р.

Керівник: _____ Гальчак В. П.

Рецензент: _____

ДУБЛЯНИ 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський) рівень
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ (підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С. В.
(вч. звання, прізвище, ініціали)

“ _____ ” _____ 2024__ року

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

Урядку Віталію

_____ (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Модернізація автономної фотоелектричної установки сільськогосподарського підприємства з розробкою електричної схеми керування поворотним пристроєм»

керівник роботи к.ф.-м.н., доцент Гальчак В.П.
(наук.ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівського НУП 641/к-с від 27.11.23 року

2. Строк подання студентом роботи 13.06.24

3. Вихідні дані

технічна документація, науково-технічна і довідкова література

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

Вступ

1 Вихідні дані та обґрунтування кваліфікаційної роботи

2 Розрахунок електричної мережі

3 Вибір електричного устаткування та організація релейного захисту

4 Охорона праці та довкілля

5 Організаційно-економічна частина

Висновки

Перелік джерел посилання

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

Графічний матеріал подається у вигляді презентації

6. Консультанти розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	<i>Городецький І. М., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва</i>	27.11.2023	27.11.2023	

7. Дата видачі завдання 27.11.23 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1	<i>Аналіз вихідних даних для модернізації фотоелектричної установки та обґрунтування актуальності кваліфікаційної роботи</i>	27.11.2023 – 21.01.2024	
2	<i>Обґрунтування вибору ефективних режимів оптимізації освітленості сонячних панелей та алгоритму стеження за Сонцем</i>	22.01.2024 – 29.02.2024	
3	<i>Розробка структури пристрою стеження за Сонцем та електричної схеми керування з неперервним добовим циклом</i>	1.03.2024 – 29.03.2024	
4	<i>Аналіз небезпечних ситуацій та заходів безпеки при монтажних роботах та сервісному обслуговуванні фотоелектричних установок</i>	27.11.2023 – 15.12.2023	
5	<i>Аналіз потенційних загроз довкіллю та заходів з їх попередження</i>	1.04.2024 – 19.04.2024	
6	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації</i>	23.04.2024 – 11.05.2024	
7	<i>Завершення роботи в цілому</i>	3.06.2024 – 13.06.2024	

Студент

_____ Урядко В. Р.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Гальчак В. П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

УДК 621.311.243:620.9.93.

Урядко В. Р. Модернізація автономної фотоелектричної установки сільськогосподарського підприємства з розробкою електричної схеми керування поворотним пристроєм. Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024, 46 с. текстової частини, 1 таблиці, 20 рисунків, 15 джерел посилання

Метою кваліфікаційної роботи є розробка електричної схеми автоматичного керування поворотами сонячної панелі у протязом дня з поверненням у ранкову позицію для продовження наступного добового циклу стеження.

Для її реалізації потрібно попередньо визначити орієнтаційні параметри Сонця і освітленої ним поверхні стеження для обґрунтування алгоритму та механізму кутових переміщень сонячної панелі протязом дня з енергетичною та економічною оцінкою ефективності їх реалізації.

Проведено огляд теоретичних положень про енергетичні та просторово часові параметри сонячних променів. Наведено кількісні співвідношення для оцінки кутів освітлення сонячних панелей протязом дня та геометричні умови для оптимізації їх енергетичної освітленості. Обґрунтовано доцільність розробки пристроїв стеження за Сонцем з мінімальним власним споживанням. Розроблено електричну схему автоматичного керування поворотами у режимі дискретних погодинних кутових зміщень та реверсом у ранкову позицію для наступного циклу.

Ключові слова: сонячна енергія, небесні координати, сонячна панель, фотоелектрика, поворотний пристрій, освітленість, експозиція.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ПРОСТОРОВО ЧАСОВІ ПАРАМЕТРИ СОНЯЧНИХ ПРОМЕНІВ	7
1.1 Актуальність теми кваліфікаційної роботи	7
1.2 Сонячний, зоряний і поясний час	8
1.3 Сонячне схилення	9
1.4 Горизонтальна система небесних координат	10
1.5 Екваторіальна система небесних координат	11
2 ПОТОЧНА ОСВІТЛЕНІСТЬ І ПРОДУКТИВНІСТЬ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ПАНЕЛІ	13
2.1 Кут освітлення і освітленість сонячної панелі	13
2.2 Поточна потужність і денна продуктивність сонячної панелі	15
2.3 Оптимізація освітленості переорієнтацією сонячної панелі	16
2.4 Орієнтаційна та енергетична оцінки ефективність пристроїв стеження	18
2.5 Ефективність стеження у режимі дискретної переорієнтації	21
3 РОЗРОБКА СХЕМИ КЕРУВАННЯ З ПРИСТРОЄМ СТЕЖЕННЯ	23
3.1 Обґрунтування вибору конструкції поворотного пристрою	23
3.2 Кінематика азимутально-поворотного пристрою стеження	24
3.3 Алгоритм керування поворотним механізмом у режимі дискретних кутових зміщень	26
3.4. Принципова схема керування азимутальними поворотами фотопанелі	30
3.5 Енергетична ефективність вертикально поворотного стеження	35
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ	39
4.1 Загальні питання безпечної фотоенергетики	39
4.2 Умови безпечної роботи акумуляторами	40
4.3 Захист довкілля	41
ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	42
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	44
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	45

ВСТУП

В Україні, через дефіцит генеруючих потужностей і критичний стан електромереж, масово використовують різноманітні засоби автономного електрозабезпечення. Бізнесові структури великих населених пунктів віддають перевагу мобільним електрогенераторам з приводом від двигунів внутрішнього згоряння. Натомість населення та сільський бізнес частіше розвивають засоби електричної генерації на базі місцевих відновлюваних енергоресурсів і найперше – легко доступної сонячної енергії.

Основну проблему сонячної енергетики – вирівнювання графіків генерування і споживання фотоелектрики – тепер розв'язують під'єднанням до мережі, як проміжного акумулятора. Така кооперація перспективі вигідна електромережам України для згладжування денного піку навантаження та зменшення перетоків енергії між регіонами. Крім того потужності місцевої генерації, попередньо об'єднані проміжні мережі, підвищують стійкість електромереж в умовах воєнних загроз.

У сільській місцевості фотоелектричні установки зазвичай використовують для резервного електропостачання індивідуальних будинків, підтримки елементів критичної інфраструктури, віддалених господарських об'єктів. Такі установки зазвичай реалізують у найпростішій схемній конфігурації з кількох фотомодулів, акумулятора та регулятора зарядного струму, які за потреби зручно транспортувати до об'єктів з сезонним характером електропостачання.

В автономних фотоелектричних установках проблему вирівнювання потужностей генерування і споживання електрики прийнято розв'язувати заходами з оптимізації вхідних потоків сонячної енергії до їх приймача та проміжним акумулюванням генерованої потужності. Перший захід реалізують пристроями стеження за Сонцем для оптимізації освітлення приймача прямими сонячними променями протягом усього дня.

РОЗДІЛ 1

ПРОСТОРОВО ЧАСОВІ ПАРАМЕТРИ СОНЯЧНИХ ПРОМЕНІВ

1.1 Актуальність теми кваліфікаційної роботи

Проблему оптимізації режимів інсоляції приймача сонячної енергії розв'язують її просторовою орієнтацією відносно напрямку на Сонце. В ідеальному випадку кут падіння сонячних променів на плоску поверхню повинен бути рівним нулю. Протягом дня таку ідеалізовану вимогу можна забезпечити лише неперервною переорієнтацією поверхні. На практиці її реалізують за допомогою двовісних поворотних пристроїв які змінюють орієнтаційні кути поверхні до суміщення її нормалі з напрямом на Сонце. Точність наведення залежить від алгоритму, закладеного у програми двох блоків керування поворотами осей, і технічних можливостей його реалізації.

Технічно алгоритм керування зазвичай зводять до порівняння показів сигналів фотосенсорів, не завжди достовірних за мінливої хмарності. На виконавчі механізми нерідко подаються швидко змінні та хибні команди, які викликають додаткові небажані відхилення від оптимального напрямку з перевитратою енергії живлення двох неперервно ввімкнених двигунів повороту і відповідно неповним використанням потенціалу сонячної енергії.

Наведені у літературі приклади реалізації систем керування поворотними механізмами за сигналами фотосенсорів підкреслюють складність та актуальність проблеми і водночас стимулюють розробки безсенсорних пристроїв стеження. Останні ґрунтуються на відомих з астрономії закономірностях зміни поточних координат сонячних траєкторій протягом дня [1], але через позірну складність відповідних співвідношень, рідко приймаються до реалізації [2, 3]. Відтак у першому розділі викладено основні положення, якими потрібно керуватися при розробці безсенсорних пристроїв стеження за Сонцем.

1.2 Сонячний, зоряний і поясний час

Видимий рух Сонця небосхилом протягом дня зручно характеризувати у годинах сонячного часу з відліком від полудня – моменту, коли воно найвище над горизонтом. Він не співпадає з 12 годиною дня поясного часу, який показує годинник і протягом року різниця між ними змінюється внаслідок обертання Землі навколо Сонця по еліптичній орбіті з відповідною зміною тривалості сонячної доби відносно сталої зоряної [4, 5].

На практиці момент полудня τ_0 визначають за показом годинника t_0 , станом на поточний день року з порядковим номером дня n , бо обидві величини пов'язані між собою такими рівняннями часу:

$$t_0 = \tau_0 + 12 \text{ год} - (E_n + 4\Delta\psi) \text{ хв} - \text{взимку}; \quad (1.1)$$

$$t_0 = \tau_0 + (12 + 1) \text{ год} - (E_n + 4\Delta\psi) \text{ хв} - \text{влітку}. \quad (1.2)$$

Поточні значення E_n , відображають еліптичне зміщення обох моментів у хвилинах, а $\Delta\varphi$ – зміщення географічної довготи інсоляційного майданчика від нульового меридіану годинного поясу у градусах. Їх зазвичай оцінюють за графіком, наведеним на рисунку 1 [1...3].

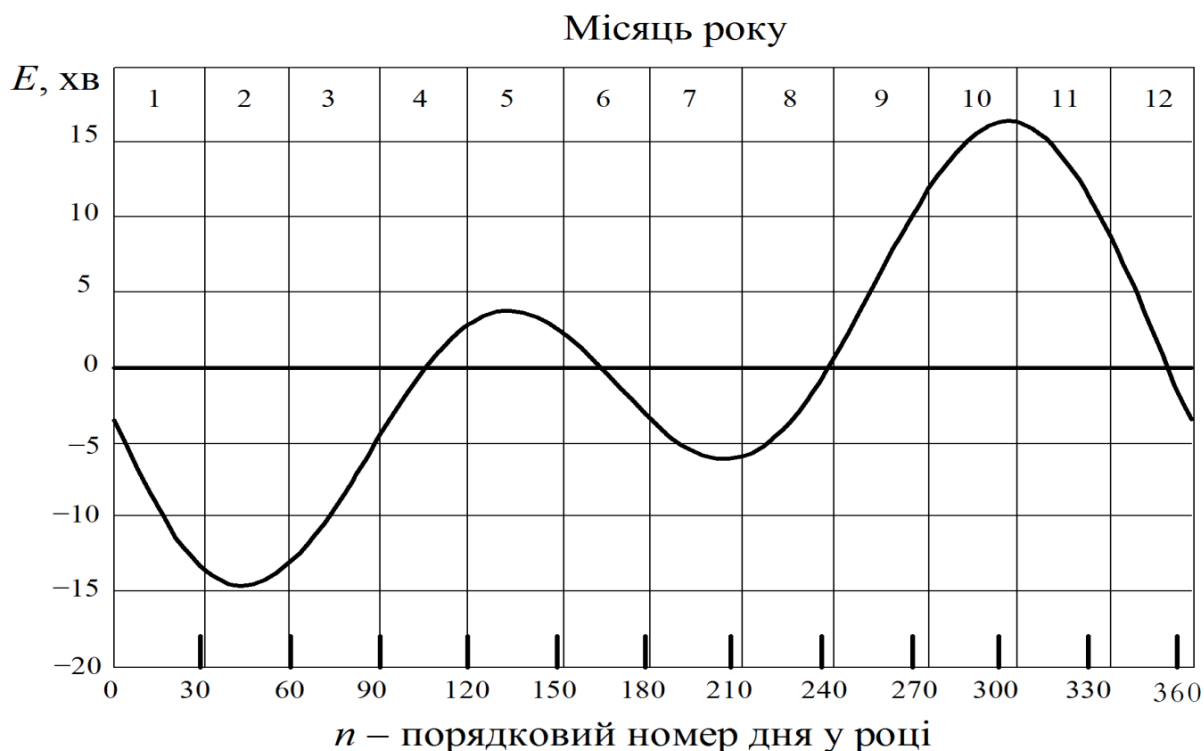


Рисунок 1.1 – Річний цикл еліптичного зміщення моментів полудня

У шкалі сонячного часу з відліком від полудня усі моменти до полудня вважають від'ємними, а після нього – додатними. Моменти сходу Сонця τ_{cx} і його заходу τ_{zx} симетричні відносно полудня, рівні за модулем і протилежні за знаком: $\tau_{zx} = -\tau_{cx}$, а тривалість τ_c сонячного сьйва або астрономічного дня рівна:

$$\tau_c = \tau_{zx} - (-\tau_{cx}) = 2\tau_{zx} \quad (1.3)$$

1.3 Сонячне схилення

До усіх точок земної поверхні сонячні промені приходять практично паралельним пучком але під різними кутами освітлення залежно від географічних координат ділянки земної поверхні. Внаслідок нахилу земної осі до площини земної орбіти, протягом року змінюється кут ковзання екваторіальної площини δ , який називають сонячним схиленням – рисунок 1.2. Його значення зменшується від $+23,45^\circ$ влітку, під час літнього сонцестояння до $-23,45^\circ$ взимку, під час зимового сонцестояння і рівне нулю у під час літнього і весняного рівнодень.

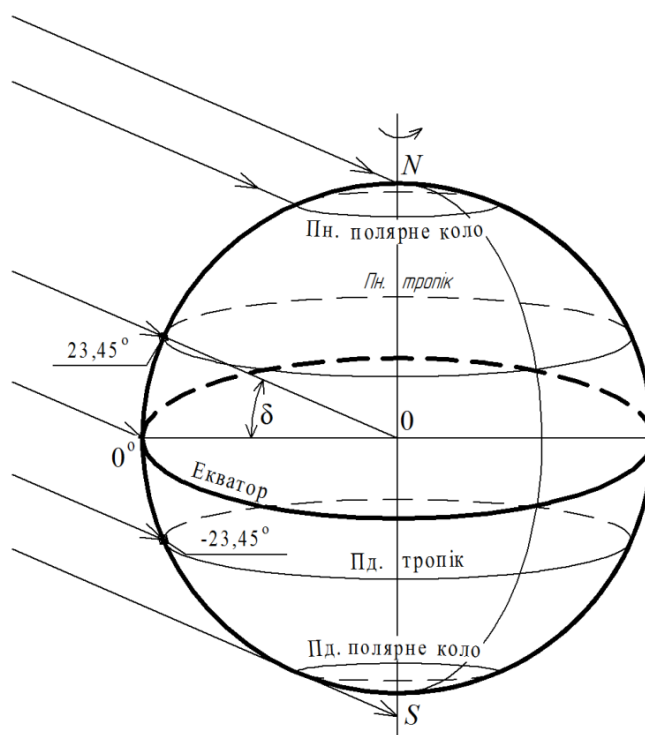


Рисунок 1.2 – Освітлення земної кулі під час літнього сонцестояння

Проміжні значення δ для поточного дня року з порядковим номером n , починаючи з $n = 1$ станом на 1 січня, зазвичай розраховують за формулою Купера:

$$\delta = \delta_0 \sin \frac{284 + n}{365} 360, \text{ град.} \quad (1.4)$$

У сонячній енергетиці [2, 3] визначають умовно середні дні місяця, для яких параметри інсоляції відповідають їх середньомісячним значенням.

1.4 Горизонтальна система небесних координат

Видимі просторові параметри Сонця на небі зручно характеризувати у сферичній системі координат, основою якої є горизонтальна а напрямками –стони світу і прямовисна лінія (зеніт) [4] (рисунок 1.3).

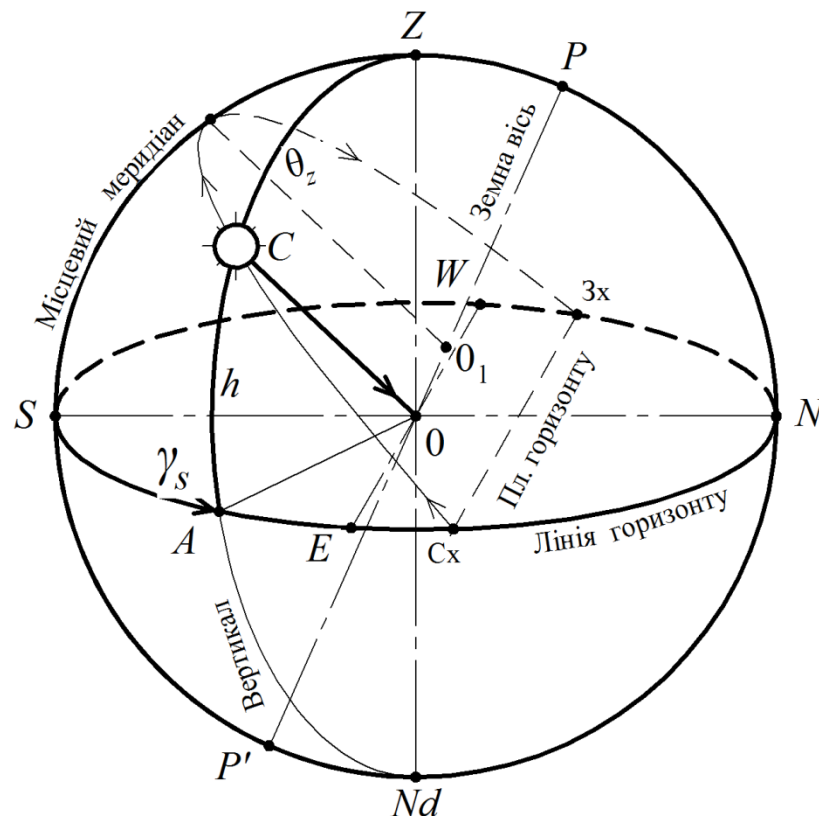


Рисунок 1.3 – Горизонтальна система небесних координат

На горизонтальній площині виділено напрямки сторін світу, а її перетин з уявною небесною сферою безмежно великого радіуса, прийнятого за одиницю, утворює лінію горизонту. Верхню точку сфери називають

зенітом, а нижню надиром. Великим колом називають лінію перетину небесної сфери з будь-якою площиною, поведеною через центр координат. Вертикалом називають лінію перетину небесної сфери і площини проведеної три точки – зеніт, надир і світило.

Видима траєкторія Сонця окреслює похилу дугу малого кола на поверхні небесної сфери і одночасно належить площині, перпендикулярній земній осі. Небесними координатами Сонця називають кути його відхилення: від площини горизонту h (кут піднесення) або доповнюючий його зенітний кут $\theta_z = 90^\circ - h$ і γ_s – азимутального відхилення горизонтальної проекції сонячного променя від меридіального напрямку. Зенітні відхилення завжди додатні, азимутальні від ємні до полудня і додатні пополудню. Перечислені кутові відхилення є складними функціями часу, тому їх складно формалізувати алгоритмами команд стеження двовісним поворотним пристроєм.

1.5 Екваторіальна система небесних координат

Першопричиною добової зміни кутових параметрів небесних світил є обертання Землі навколо власної осі. Тому поточні значення кутових відхилень Сонця зручно описувати з врахуванням кутової швидкості обертання землі навколо власної осі. Систему сферичних координат, де основою є екваторіальна площина, а вертикальним напрямом земна вісь, називають екваторіальною. За прийнятого допущення безмежно великого радіуса земної орбіти у порівнянні з радіусом земної кулі, суміщення центрів обох координатних систем не змінює кутових співвідношень для небесних світил. На рисунку 1.4 одне і теж положення Сонця позначено стрілками кутових відхилень в обох системах. Кутам піднесення $h(\tau)$ і зенітному $\theta_z(\tau)$, в екваторіальній системі відповідає стале протягом одного дня значення сонячного схилення δ , тоді як азимутальному відхиленню γ_s – годинний кут

$$\omega_s = \omega\tau, \quad (1.5)$$

де $\omega=15$ град/год – кутова швидкість обертання Землі навколо власної осі.

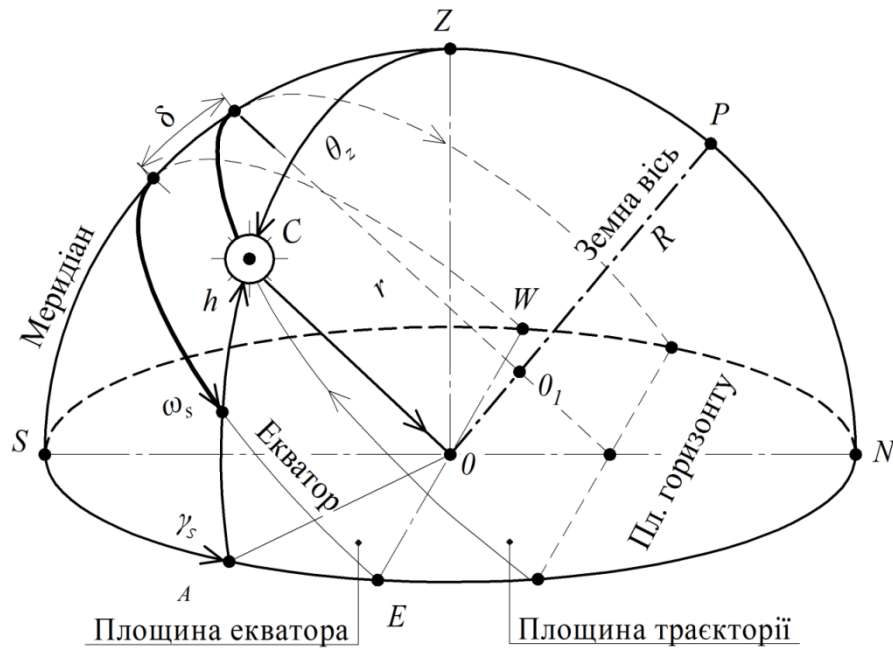


Рисунок 1.4 – Кутові параметри Сонця в горизонтальній (h , θ_z і γ_s) та екваторіальній (δ і ω_s) системах координат

Координати Сонця симетричні відносно полудня і змінюються з географічною широтою місцевості φ . Тоді як кут освітлення площини екватора протягом дня вважається сталим і рівним сонячному схиленню δ . Горизонтальні та екваторіальні сонячні координати пов'язані такими співвідношеннями:

$$\cos \theta_z(\tau) = \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega \tau + \sin \varphi \cdot \sin \delta \quad (1.6)$$

$$|\cos \gamma_s(\tau)| = \frac{\cos \theta_z(\tau) \sin \varphi - \sin \delta}{\sin \theta_z(\tau) \cos \varphi} \quad (1.7)$$

$$|\sin \gamma_s(\tau)| = \frac{\cos \delta \cdot \sin \omega \tau}{\sin \theta_z} \quad (1.8)$$

Моменти і напрями (азимут) сходу чи заходу Сонця рівні за модулем і протилежні за знаком розраховують за такими співвідношеннями [4...6] :

$$\tau_{zx} = -\tau_{cx} = \frac{1}{\omega} \arccos(-\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta) \quad (1.9)$$

$$|A_{cx}| = |A_{zx}| = \arccos \frac{\sin \delta}{\sin \varphi} \quad (1.10)$$

РОЗДІЛ 2

ПОТОЧНА ОСВІТЛЕНІСТЬ І ПРОДУКТИВНІСТЬ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ПАНЕЛІ

2.1 Кут освітлення і освітленість сонячної панелі

За визначенням, кут освітлення рівний куту між сонячним променем і перпендикуляром до освітленої площини, тому його поточні значення для горизонтальної поверхні розраховують за формулою (1.6) для зенітного кута. Але нерухомі сонячні панелі практично завжди нахилені до поверхні ґрунту під сталим кутом β і відхнені від оптимального напрямку на Сонце – рисунок 2.1. Зміну кута їх освітлення протягом дня $\theta(\tau)$ розраховують через поточні значення зенітного кута $\theta_z(\tau)$, азимуту Сонця γ_s та відхилення поверхні від південного напрямку β , рівного куту між горизонтальною проекцією нормалі фотопанелі n_H і меридіаном NS. Відхилення Сонця і нормалі на схід вважають від’ємними, а на захід додатними.

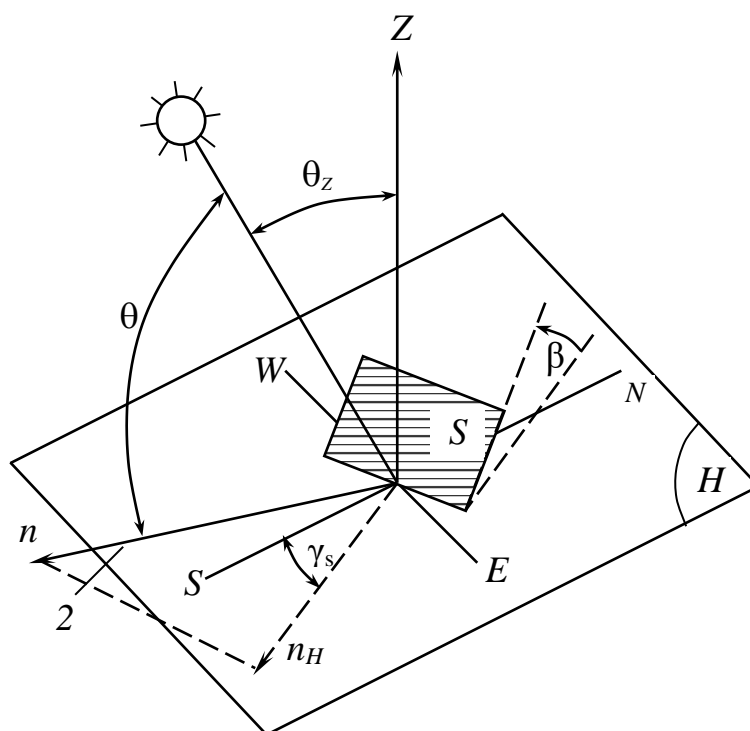


Рисунок 2.1– Орієнтаційні кути сонячної панелі [1]

Кут освітлення фотопанелі розраховують за такою формулою [1...3]:

$$\cos\theta(\tau) = \cos\theta_z(\tau) \cdot \cos\beta + \sin\theta_z(\tau) \cdot \sin\beta \cdot \cos[\gamma_s(\tau) - \gamma]. \quad (2.1)$$

Поточна освітленість фотопанелі $E(\tau)$ прямими сонячними променями не може перевищувати прямого потоку сонячної радіації $G_b(\tau)$, виміряного безпосередньо поблизу фотоелектричної установки:

$$E(\tau) = G_b(\tau) \cos\theta(\tau) \quad (2.2)$$

Але для проектних розрахунків зазвичай використовують усереднені значення його інтенсивності, наведені у кліматичних довідниках або на загально доступних сайтах актинометричних баз даних. В Україні погодинні значення інтенсивності усіх потоків сонячної енергії наведені у довіднику видання 1990 року [7] у вигляді погодинних експозицій окремо нормальної до променів та горизонтальної поверхні у Дж/м². Після їх перерахунку у Вт·год/ м², вони чисельно рівні інтенсивності потоку сонячної енергії $G_b(\tau)$ у Вт/м² або максимальному значенню енергетичної освітленості сонячної панелі, перпендикулярної до напрямку сонячних променів. Типовий хід інтенсивності сонячних променів протягом дня літнього сонцестояння (1) весняного рівнодення (2) – і зимового сонцестояння (3) відповідає залежностям, наведеним на рисунку 2.2, запозиченому з публікації [8]

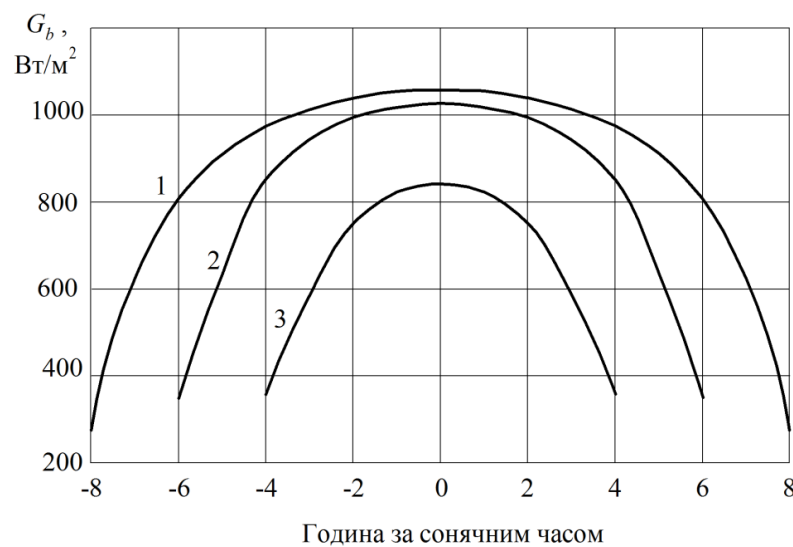


Рисунок 2.2 – Сезонні зміни інтенсивності прямих сонячних променів на широті 50°

Сонячні панелі енергетичних установок зазвичай орієнтують і південному напрямку (кут $\gamma = 0$) з сталим кутом нахилу до площини горизонту $0 < \beta < 90^\circ$. Відтак протягом дня їх освітленість змінюється за такою залежністю

$$\cos\theta(\tau) = \cos\theta_z(\tau) \cdot \cos\beta + \sin\theta_z(\tau) \cdot \sin\beta \cdot \cos\gamma_s(\tau). \quad (2.3)$$

Максимальна освітленість буде опівдні, коли $\cos\gamma_s(\tau) = 1$ при $\gamma_s(\tau) = 0$ і за умови, що $\theta = \theta_z + \beta = 90^\circ$. За таких обмежень, графіки зміни енергетичної освітленості нерухомої панелі протягом завжди відрізняється від оптимальних, наведених для рис.2.1.

2.2 Поточна потужність і денна продуктивність сонячної панелі

Наявний у господарстві комплект сонячних модулів українського виробника «Квазар» KV75/12М уже практично виробив свій ресурс і його планується замінити новими більшої одиничної потужності – KV7-200/12М, з технічними характеристиками, наведеними у табл. 2.1. Поточну потужність фотомодуля з коефіцієнтом корисної дії η і площею S , розраховують за формулою

$$P_{ел} = \eta S G_{b\beta} \cos\theta \quad (2.4)$$

За постійного дотримання режиму відбору максимальної потужності, денну продуктивність сонячного модуля оцінюють через надходження сонячної енергії протягом дня – денну енергетичну експозицію панелі, рівну сумі погодинних експозицій:

$$W_{ел} = \eta H = \eta \sum_{\Delta\tau} I_{\tau} \Delta\tau = \eta S \sum_{\Delta\tau} \bar{G}_b(\overline{\cos\theta}) \Delta\tau \quad (2.5)$$

Орієнтаційна ефективність стаціонарної (нерухомої) сонячної панелі постійно змінюється залежно від кута її нахилу, та сезону року. Тому для обґрунтування оптимального кута нахилу окремого місяця або сезону року використовують показник енергетичної ефективності інсольованої поверхні.

Таблиця 2.1

Основні технічні характеристики сонячних елементів
та фотомодуля KV7 200/12M [12]

Матеріал сонячних елементів	Кристалічний кремній
Кількість сонячних елементів	72
Габаритні розміри, мм	1652x992x40
Скляне покриття, мм	4
Маса, кг	19
К. к. д.	15,75
Потужність, Вт	200
Струм у точці максимальної потужності, I_{mpp} , А	5,4
Струм короткого замикання $I_{кз}$, А	5,65
Напруга у точці максимальної потужності, U_{mpp} , В	30,3
Напруга холостого ходу, В	45,4
Номинальна напруга, В	37,2
Допустима напруга на фотомодулі, В	600
Точність параметрів	± 5 %
Примітки: 1) Величини виміряні при стандартних параметрах: 1000 Вт/м ² , $t_{сер} = 25^{\circ}\text{C}$; 2) Часова стабільність: 90% потужності через 10 років і 80% через 20 років; 3) Модулі виробництва ПАТ «Квазар» сертифіковані і відповідають європейським нормам якості та електробезпеки ІЕС 61215, ІЕС 61730-1, ІЕС 61730-2	

Оптимальний кут нахилу стаціонарної панелі розраховують за відношенням денних, середньомісячних та річних експозицій поверхні заданої орієнтації до такої для поверхні постійно (ідеально) скерованої до Сонця [6].

2.3 Оптимізація освітленості переорієнтацією сонячної панелі

Ідеальний пристрій наведення на Сонце забезпечує постійну зміну нахилу і азимуту її нормалі одночасним повертанням навколо двох незалежних осей, обидві кутові швидкості мають бути рівними відповідним

складовим руху Сонця небосхилом [2, 3, 6, 9,10]. Причому кутова швидкість поворотного пристрою завжди нерівномірна, за винятком полярної обертання навколо осі, яка паралельна земній. Крім того, значення обох складових змінюється як протягом дня так і пори року. За таких умов обидва електроприводи поворотного пристрою повинні неперервно змінювати швидкість обертання, що реалізувати вкрай складно. Тому на практиці замість неперервного кутового зміщення реалізують їх дискретне коригування за сигналами сенсорів відхилень від напрямку на Сонце.

Пристрої двокоординатного стеження, як правило використовують на місцевості з відкритим горизонтом у межах азимутів точок сходу $A_{сх}$ і заходу $A_{зх}$ Сонця. Тому на практиці часто обмежуються використанням одновісних пристроїв стеження з горизонтально, вертикальною або полярною осями повороту. Усі пристрої стеження класифікують за числом осей та їх просторовою орієнтацією [2,3,9,10], за схемою, наведеному на рисунку (2.4).

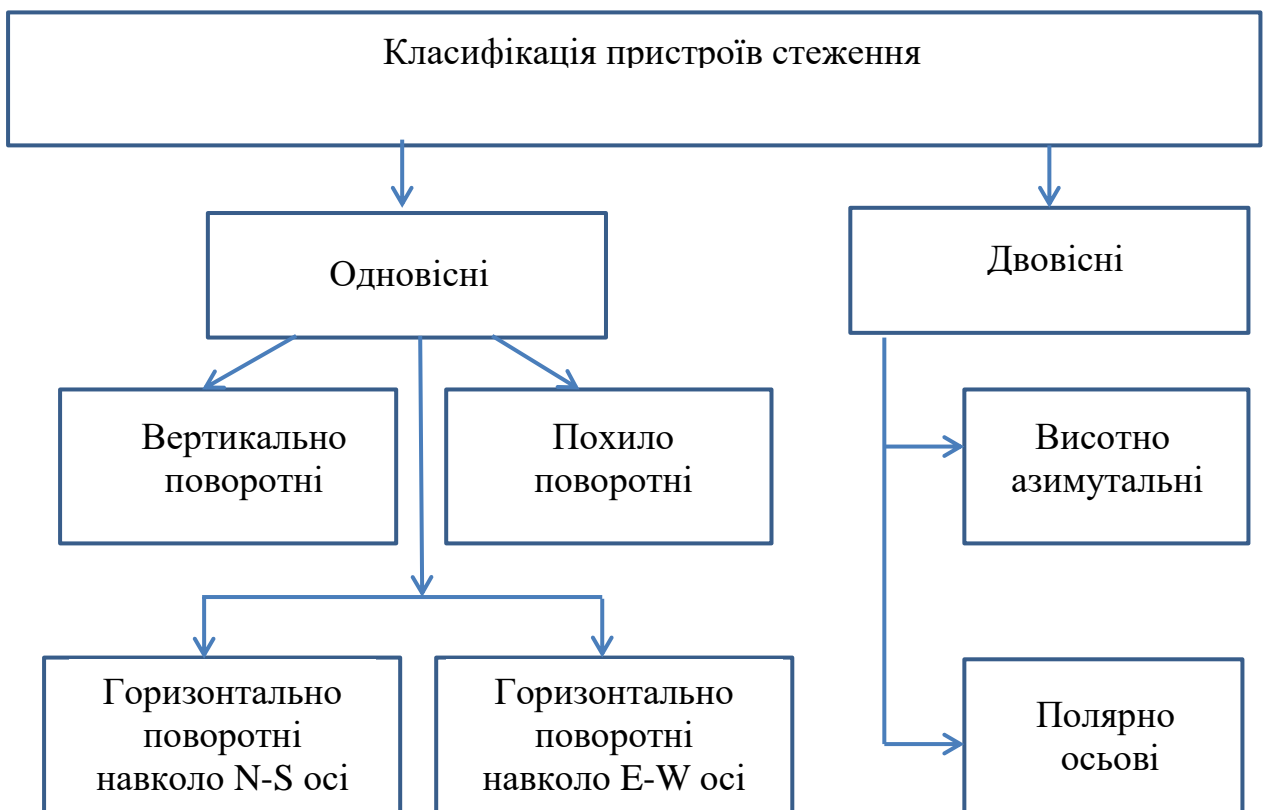


Рисунок 2.3 – Класифікація пристроїв стеження за Сонцем

2.4 Орієнтаційна та енергетична оцінки ефективності пристроїв стеження

У двовісних пристроях стеження кутові зміщення найчастіше виконують за сигналами фоточутливих сенсорів, незалежних від пори року або години дня, але малоефективних за нестійкої хмарності чи прозорості атмосфери. Натомість за наявності однієї осі повороту, наприклад полярної, стеження легше виконувати за наперед заданим жорстким часовим алгоритмом, але з систематичною похибкою визначення вхідних величин – номера дня року, схилення, моменту сонячного полудня, а також зростаючого рефракційного зміщення при наближенні Сонця до горизонту. Тому ефективність стеження оцінюють за двома показниками геометричним та енергетичним [11].

Геометричний (орієнтаційний) показник ефективності стеження рівний поточному значенню $\cos\theta$, а енергетичний – енергетичній освітленості поверхні стеження. Обидва показники зазвичай ілюструють їх графічними залежностями від часу, як наприклад на рисунках 2.4 ... 2.6, запозичених з публікації [6].

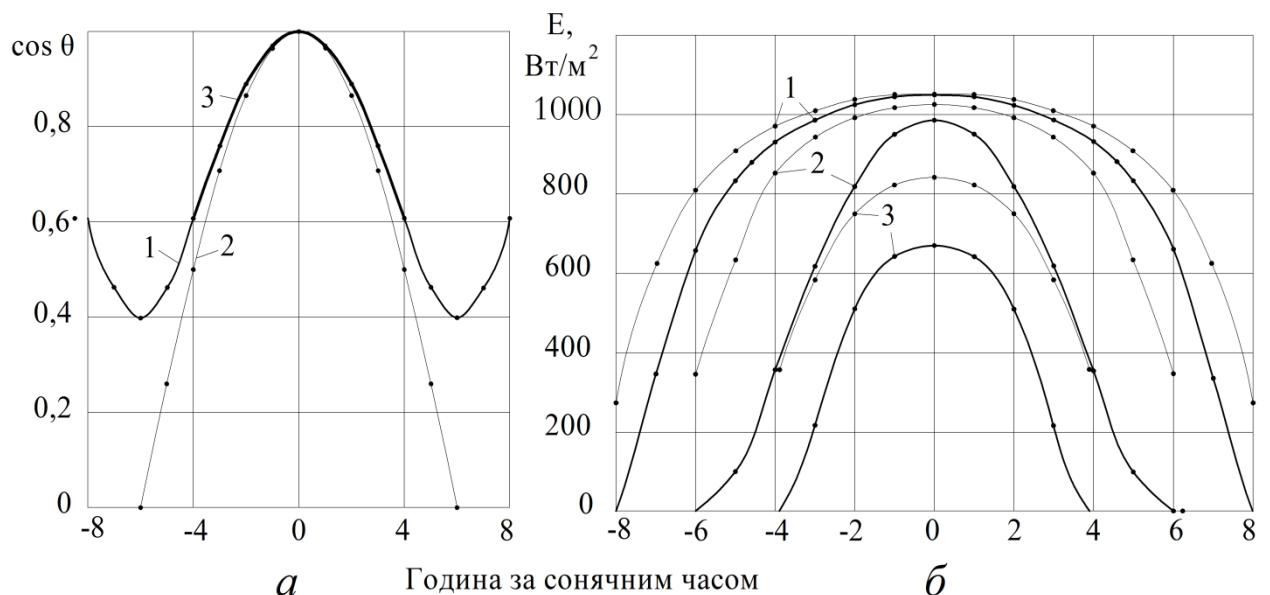


Рисунок. 2.4 – Орієнтаційна (а) та енергетична (б) ефективність площини стеження горизонтально-осьового «схід-захід» пристрою під час: 1 – літнього сонцестояння; 2 – весняного рівнодення; 3 – зимового сонцестояння

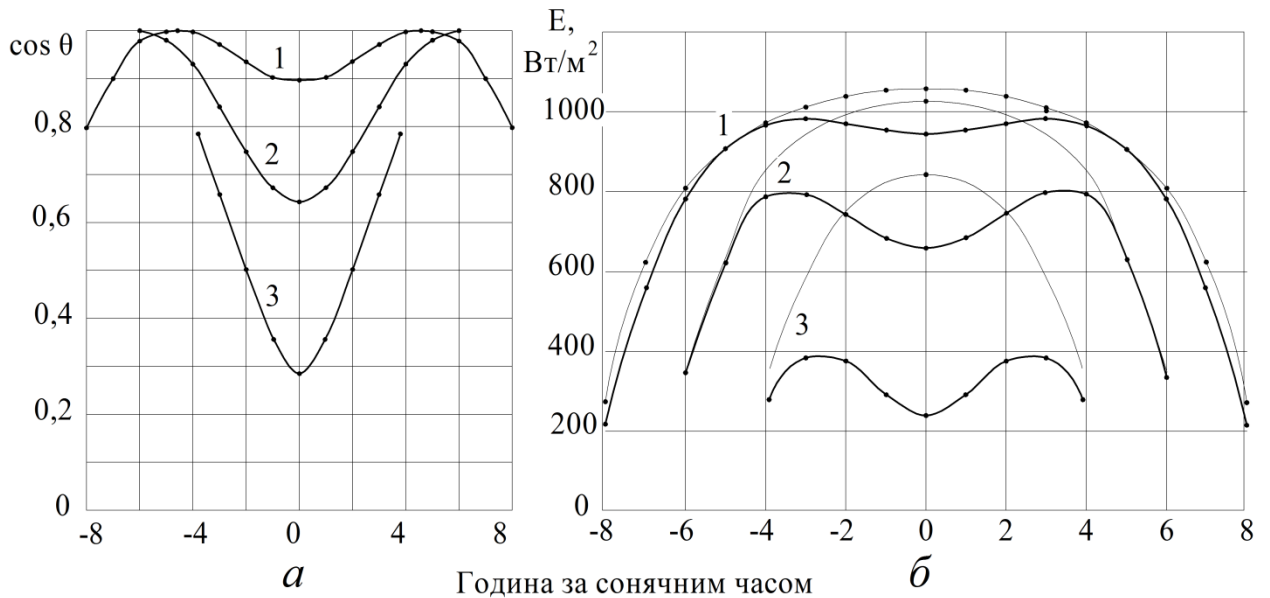


Рис. 2.5 Орієнтаційна (а) та енергетична (б) ефективність площини стеження горизонтально-осьового «північ-південь» пристрою під час: 1 – літнього сонцестояння; 2 – весняного рівнодення; 3 – зимового сонцестояння

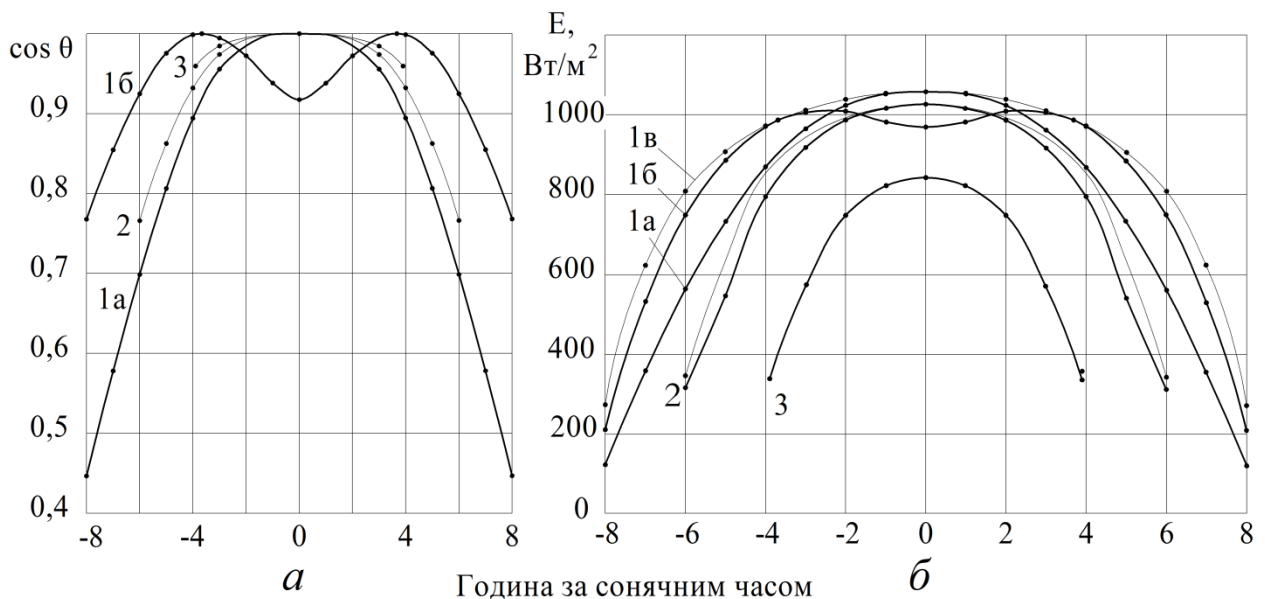


Рисунок 2.6 – Орієнтаційна та енергетична ефективність вертикально поворотної площини стеження під час: 1а, 1б - літнього сонцестояння з кутом нахилу $26,55^\circ$ і 50° відповідно; 2 - весняного рівнодення ($\beta = 50^\circ$); 3 б - зимового сонцестояння з кутом нахилу $73,45^\circ$

У реальних умовах інсоляції, поверхня стеження змінного нахилу завжди освітлюється трьома потоками сонячної енергії – прямим $G_b(\beta)$,

розсіяним (дифузним) G_d (β) і відбитим від довкілля. Співвідношення між цими потоками та їх внесками в енергетичну експозицію стежної поверхні протягом дня змінюється неоднаково. Відповідно змінюються й оцінки енергетичної ефективності різних пристроїв стеження за Сонцем як це показано на рисунку 2.7 серією ілюстрацій, запозичених з публікації [6].

Суцільні лінії відображають енергетичну ефективність, розраховану поверхні за припущення рівномірного просторового розподілу дифузного потоку, а пунктирні – нерівномірного. Непарними числами позначено залежності тільки для прямого потоку сонячної енергії до стежної поверхні, а парними – сумарного.

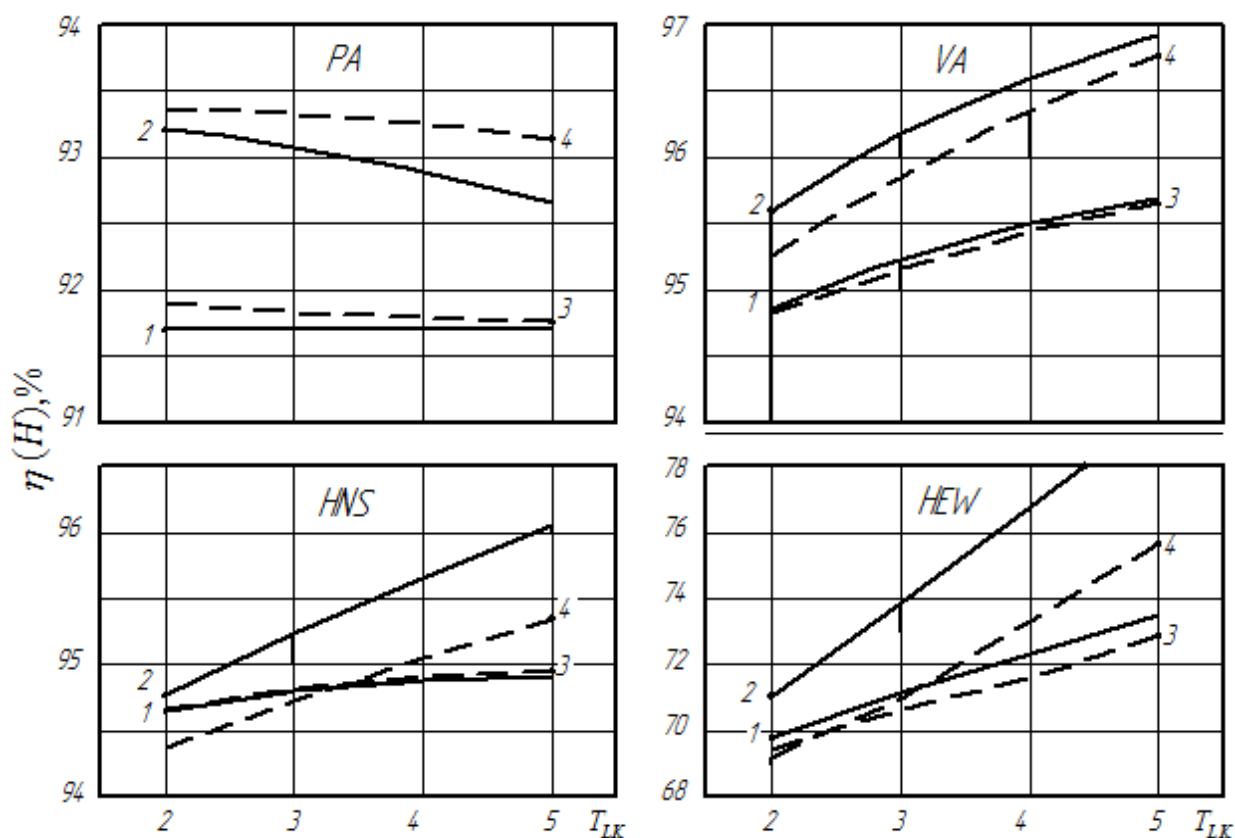


Рисунок 2.7 – Зміна енергетичної ефективності поверхні стеження від каламутності атмосфери та різних просторових розподілів потоків сонячної енергії протягом дня літнього сонцестояння

Енергетична ефективність полярно-поворотної стежної поверхні станом день літнього сонцестояння має бути такою ж, як і в досконалого двовісного. Але за додаткової умови – її відхилення від осі пристрою на кут, рівний поточному значенню сонячного схилення $\delta = 23,45^\circ$. Натомість, наведений у цитованій публікації результат 94...96%, отриманий для традиційного варіанту суміщення осі повороту з площиною стеження, неоптимального для середини вказаного дня року.

З порівняння графіків на рисунку 2.7 можна стверджувати, що протягом літнього дня енергетична ефективність вертикально-поворотного стеження, за умови кута нахилу, рівного географічній широті, не уступає досконалішому алгоритму полярно поворотного пристрою. До того ж, перший варіант значно легше реалізувати внаслідок простішої конструкції поворотного механізму з вузлом коригування сезонних кутів нахилу.

2.5 Ефективність стеження у режимі дискретної переорієнтації

Електроприводи механізмів двовісних пристроїв стеження можуть працювати неперервно або вмикатися через певні часові інтервали, наприклад, погодинно. Пристрої з дискретною переорієнтацією споживають набагато менше енергії, бо їх двигуни повороту вмикаються лише на декілька секунд. Кутівий крок можна оцінити діленням денного інтервалу на тривалість сонячного сьйва, рівного різниці між моментами сходу заходу Сонця. Найпростіше реалізувати однакові щогодинні годинні кутові зміщення $\Delta s = 15^\circ$ вздовж колової небесної траєкторії Сонця.

Причому якщо посередині годинного інтервалу поверхню точно зорієнтувати на Сонце, то у крайні моменти вмикання-вимикання відхилення від оптимального напрямку не перевищать максимального у $0,5\Delta s = 7,5^\circ$. Оскільки зменшення енергетичної освітленості пропорційне $\cos\theta$, то й відносне зменшення генерованої потужності фотопанелі не перевищить значення

$$\Delta P\% = \Delta E\% = \left(1 - \frac{E_{max} \cos 7,5}{E_{max}} \right) 100\% \leq 1\%. \quad (3.1)$$

У більшості практичних інсталяцій з пристроями стеження такими відхиленнями нехтують, бо вони навіть менші за похибку піранометра при вимірюванні інтенсивності прямого потоку сонячної енергії.

Виміряні значення інтенсивності посередині годинного інтервалу прирівнюють до годинної енергетичної експозиції поверхні стеження, а вихідної потужності фотопанелі – за її годинну продуктивність. Відтак простим сумуванням обох масивів даних визначають денну експозицію поверхні H , продуктивність фотопанелі W та розраховують середнє значення коефіцієнта корисної дії $\eta = W/H$.

На практиці його оцінюють порівнянням денних експозицій стежної та горизонтальної, поверхні [13] або нахиленої [6, 13, 14]. Але горизонтальна поверхня освітлюється тільки двома потоками сонячної радіації – прямим і дифузним, тоді як похила і стежна ще й відбитими потоками різної інтенсивності. Відтак цей показник доцільніше [6] оцінювати за відношенням денних енергетичних експозицій досліджуваної поверхні і поверхні ідеального двовісного пристрою $\eta(H) = H/H_{max}$.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА СХЕМИ КЕРУВАННЯ З ПРИСТРОЄМ СТЕЖЕННЯ

3.1 Обґрунтування вибору конструкції поворотного пристрою

Завдання на модернізацію існуючої фотоелектричної установки не заперечує можливості повторного використання окремих елементів її конструкції. Тому пропонується використати силовий вузол вертикально поворотного пристрою стеження, наведений на рисунку 3.1.

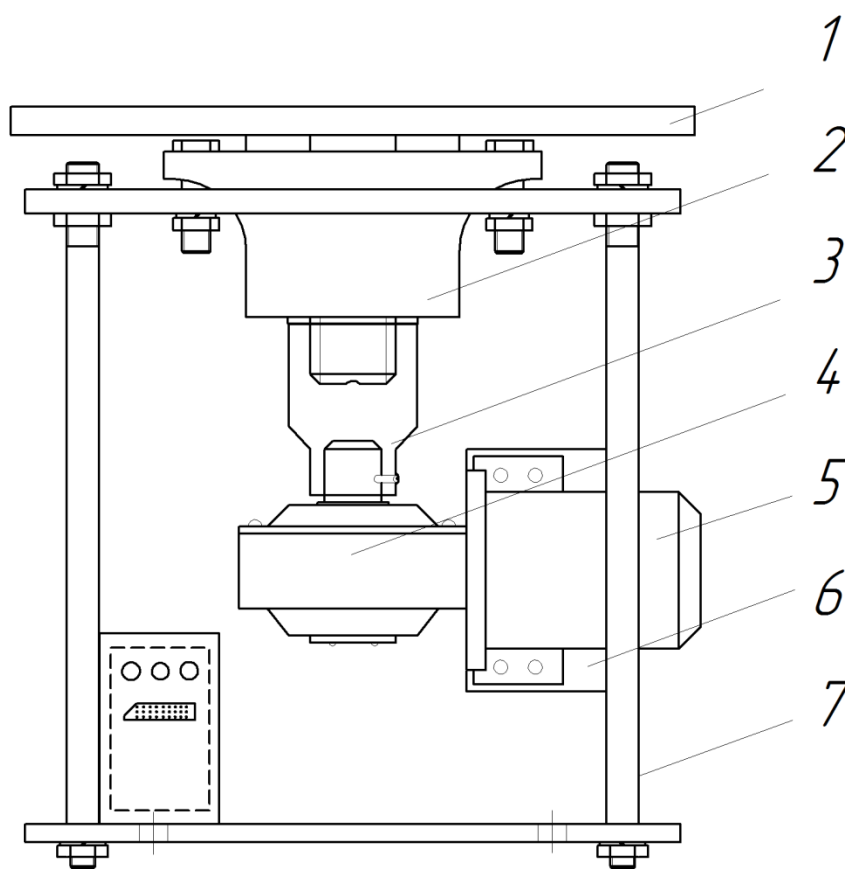


Рисунок 3.1 – Механізм вертикально поворотного пристрою

Опорно-поворотна платформа 1 спирається на внутрішній вал ступиці 2 автомобільного колеса, вставленої у круглий отвір верхньої металевої плити. Вал муфтою з'єднаний з черв'ячним редуктором, через який передається обертовий момент від двигуна постійного струму напругою 36 В. Уся конструкція утримується чотирма стойками на опорній плиті з отворами для виходу забетонуваних прутків жорстко кріплення до фундаменту.

У модернізованому варіанті цей механізм доповнено вузлом сезонного коригування нахилу поверхні стеження, показаного на рисунку 3.2. Сонячну панель 1 встановлено на поздовжньо зрізаних кромках поворотної труби великого діаметра 2. На двох катках різної висоти 3 і 9 труба вільно повертається у кутовому інтервалі від нуля до 80° для помісячного коригування нахилу панелі відповідно добовій зміні зенітного відхилення Сонця.

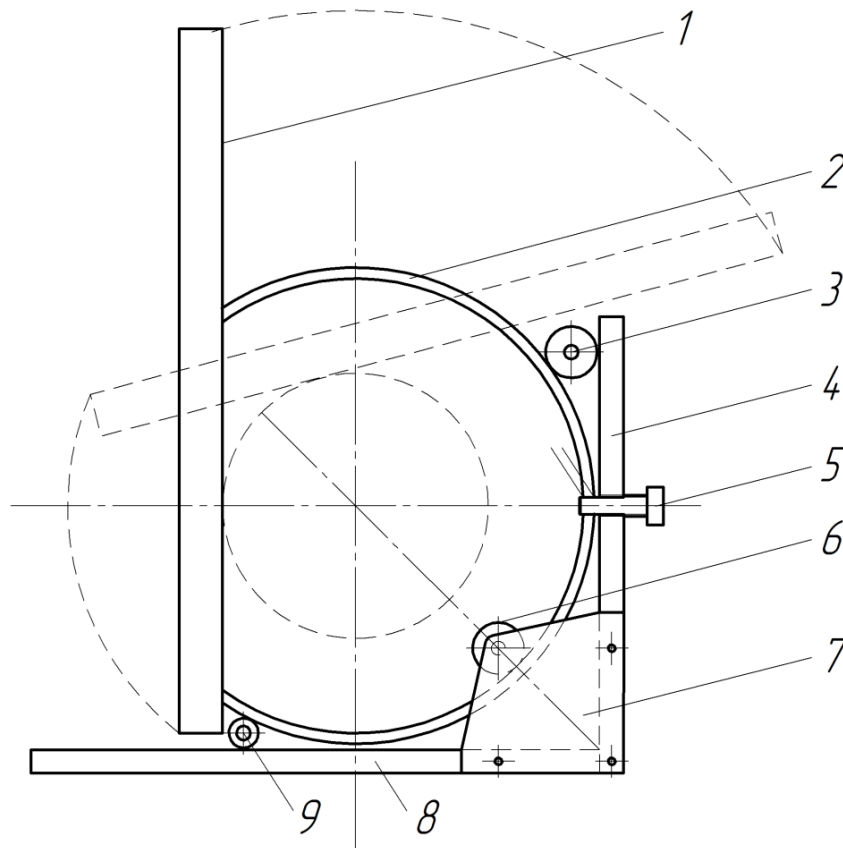


Рисунок 3.2 – Вузол зміни кута нахилу фотомодуля до горизонту

Через приварену до поворотної платформи стінку 4 гвинтом 5 фіксується заданий кут повороту труби з фотомодулем. Всередині труби встановлено притискний каток 6, притягнутий двома вушками 7 до торців двох плит – 4 і 9.

3.2. Кінематика азимутально-поворотного пристрою стеження

Виходячи з встановленого у попередньому розділі алгоритму переміщення Сонця по небосхилу, механізм для виконання функцій

періодичного коригування напрямку на Сонце повинен відповідати наступним вимогам:

- забезпечувати поворот платформи з фотомодулем від крайньої східної орієнтації $\gamma_s = -180^\circ$ до крайньої західної $\gamma_s = 180^\circ$ протягом світлового дня у режимі дискретних кутових зміщень;
- забезпечувати режим азимутальний режим стеження за Сонцем у через рівні часові інтервали, не тривалістю не меншою за 1 годину;
- автоматично починати поворот зранку Сонця та припиняти його після заходу;
- забезпечувати автоматичний зворотній поворот фотомодуля на початкову позицію $\gamma_s = -180^\circ$;
- забезпечувати принаймі трипозиційний фіксований нахил фотомодуля до горизонту протягом дня або сезону року з ручною фіксацією кута нахилу.

Для виконання зазначених автоматичних функцій пристрій необхідно оснастити годинником, кінцевими вимикачами, давачами або лічильником проміжних кутових положень. Відповідна кінематична схема поворотного пристрою показана на рисунку 3.1, а блок-схема керування – на рисунку 3.3.

За наведеної кінематичної схеми повороти виконуються черв'ячною парою. Такий привід має ряд істотних переваг перед циліндричною передачею. Найперше це дозволяє відмовитись від фіксуючих пристроїв проміжних кутових положень, бо крутний момент у зворотному напрямку від шестерні до черв'ячка не передається. Для того, щоб за один оберт черв'яка фотомодуль повертався на 15° , передавальне число черв'ячного механізму вибирається рівним 24.

Якщо кратність кутового інтервалу повороту фотомодуля і черв'яка забезпечити відповідним добором передавального числа, то 12 давачів проміжних кутових положень фотомодуля, можна замінити одним, розміщеним на валу черв'яка. Живлення двигуна подається за черговим

часовим імпульсом, а його вимкнення – спрацюванням герконового контакту при полем постійного магніту, закріпленого на валу черв'яка. Відповідний сигнал подається на стандартний електронний лічильник з наступним виходом на електронну схему керування з добовим алгоритмом переміщення фотомодуля

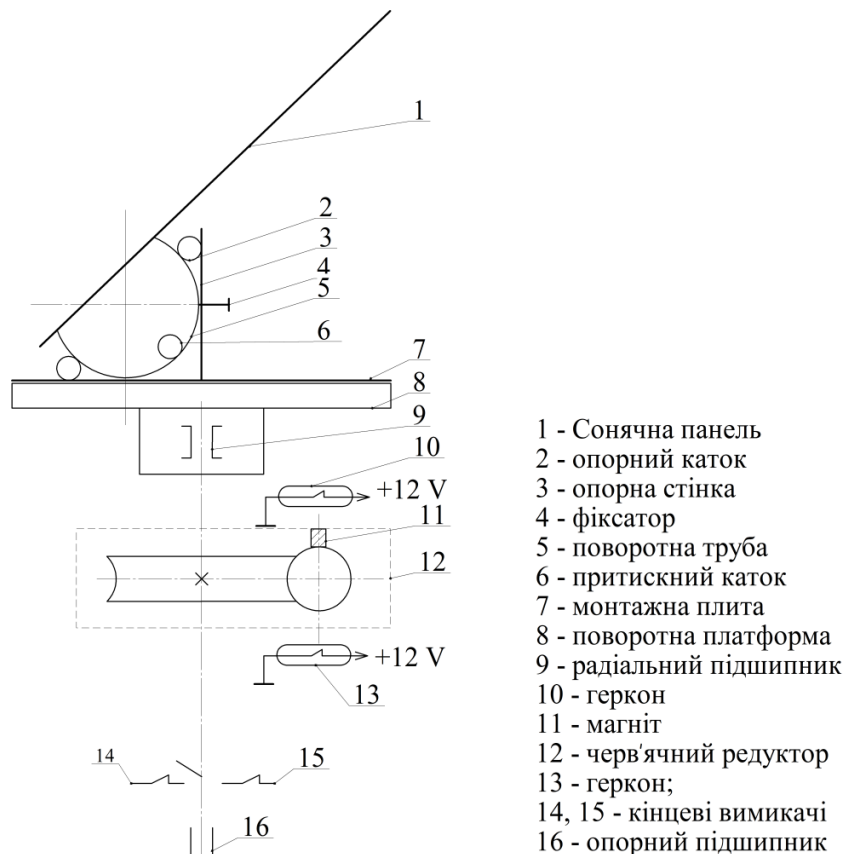


Рис. 3.3 – Кінематична схема поворотного пристрою

Сезонну зміну кута нахилу фотомодуля пропонується виконувати у ручному режимі під час сезонних профілактичних оглядів. При цьому, за незначних втрат добової продуктивності, відпадає потреба у додатковому поворотному механізмі з горизонтальною віссю обертання з відповідними втратами дефіцитної генерованої фотоелектрики на роботу електроприводу.

3.4. Алгоритм керування поворотним механізмом у режимі дискретних кутових зміщень

Алгоритм кутового зміщення керування передбачає підрахунок числа послідовних кутових переміщень поворотної платформи з прийняттям

рішення про напрям та час виконання наступного кроку. Для реалізації такого алгоритму розроблено блок-схему пристрою, наведеною на рис. 3.3

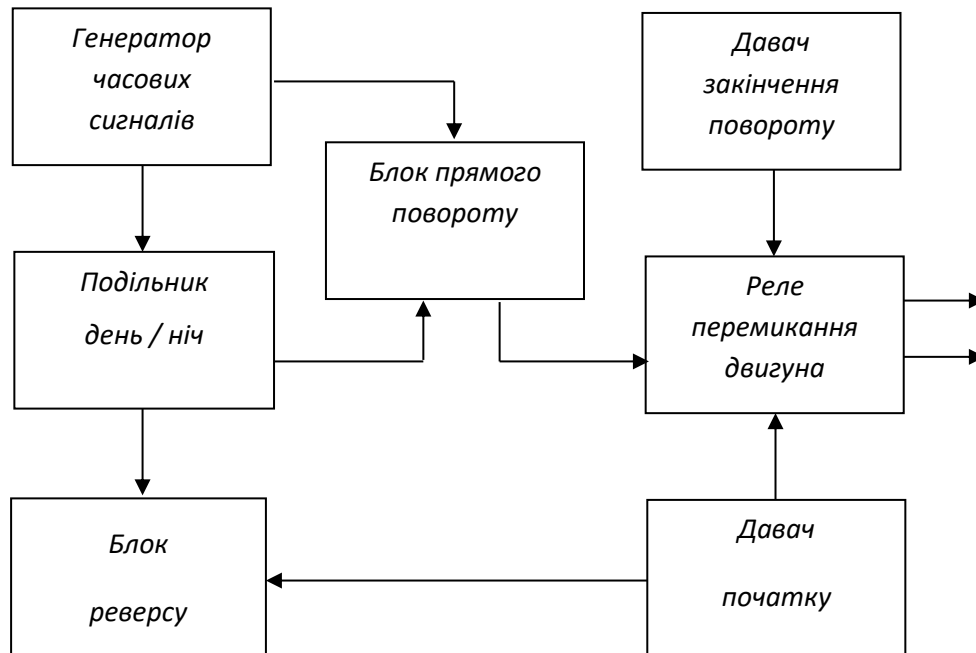


Рис. 3.4 – Блок-схема керування поворотами фотомодуля

Генератор часових сигналів видає погодинні імпульси, порядковий номер яких жорстко синхронізований з кутовим положенням Сонця. Синхронізацію виконує логічна схема, яка позначена як подільник сигналів на денні та нічні. За сигналом цього подільника видається команда напрямку на один з блоків реалізації переміщення – прямого вдень чи реверсного вночі.

Кінцеві вимикачі вимикають живлення поворотного двигуна і таким чином виконують дві функції. По перше вони припиняють обертання на випадок відмови електронної схеми. По друге переміщенням вимикачів можна обмежувати кутовий інтервал добового переміщення, який змінюється протягом року від максимального у 240° влітку до мінімального у 120° взимку. У другому випадку важливо мінімізувати власне енергоспоживання за невеликої продуктивності фотомодуля.

Рівність кутових інтервалів кожного кроку переміщення у прямому напрямку передбачається забезпечити підбором елементів виконавського механізму. Наприклад, якщо передавальне число черв'ячного механізму,

рівне 24, то за один оберт черв'яка поворотна платформа повернеться тільки на 15°. Відтак у якості давача такого кутового зміщення зручно використати герметичний магнітний контакт (геркон), який спрацьовує при наближенні магніту, встановленого на валу редуктора.

Для забезпечення режимів налагодження схеми генератор через систему подільників повинен видавати хвилинні та годинні імпульси. Вони подаються на два блоки – прямого та реверсивного вмикання двигуна приводу.

Блок прямого повороту керується черговими годинними сигналами, порядкові номери яких враховуються лічильником. Тоді як реверсивний блок працює лише починаючи з наперед визначеного номером сигналу за алгоритмом, наведеним на рисунку 3.3.

Максимальний кут повороту фотомодуля обмежується кінцевим вимикачем, для вмикання двигуна наприкінці дня. У такому стані поворотний механізм залишається певний час, аж до наступної команди на реверс до початкового стану. Цю команду повинен видати електронний регулятор. Кут реверсного повороту обмежує ранковий кінцевий вимикач, діаметрально протилежним вечірньому. За найпростішого погодинного алгоритму дискретних кутових зміщень поворотної платформи відповідають неоднакові азимутальні зміщення Сонця.

Блок прямого повороту керується черговими годинними сигналами, порядкові номери яких враховуються лічильником. Тоді як реверсивний блок працює лише починаючи з наперед визначеного номером за алгоритмом, наведеним на рисунку 3.5.

Максимальний кут повороту фотомодуля обмежується кінцевим вимикачем живлення двигуна. У такому стані поворотний механізм залишається певний час, аж до наступної команди на реверс до початкового стану. Цю команду також повинен видати електронний регулятор. Натомість реверсивній поворот зупиняється іншим, діаметрально протилежним вечірньому, ранковим кінцевим вимикачем.

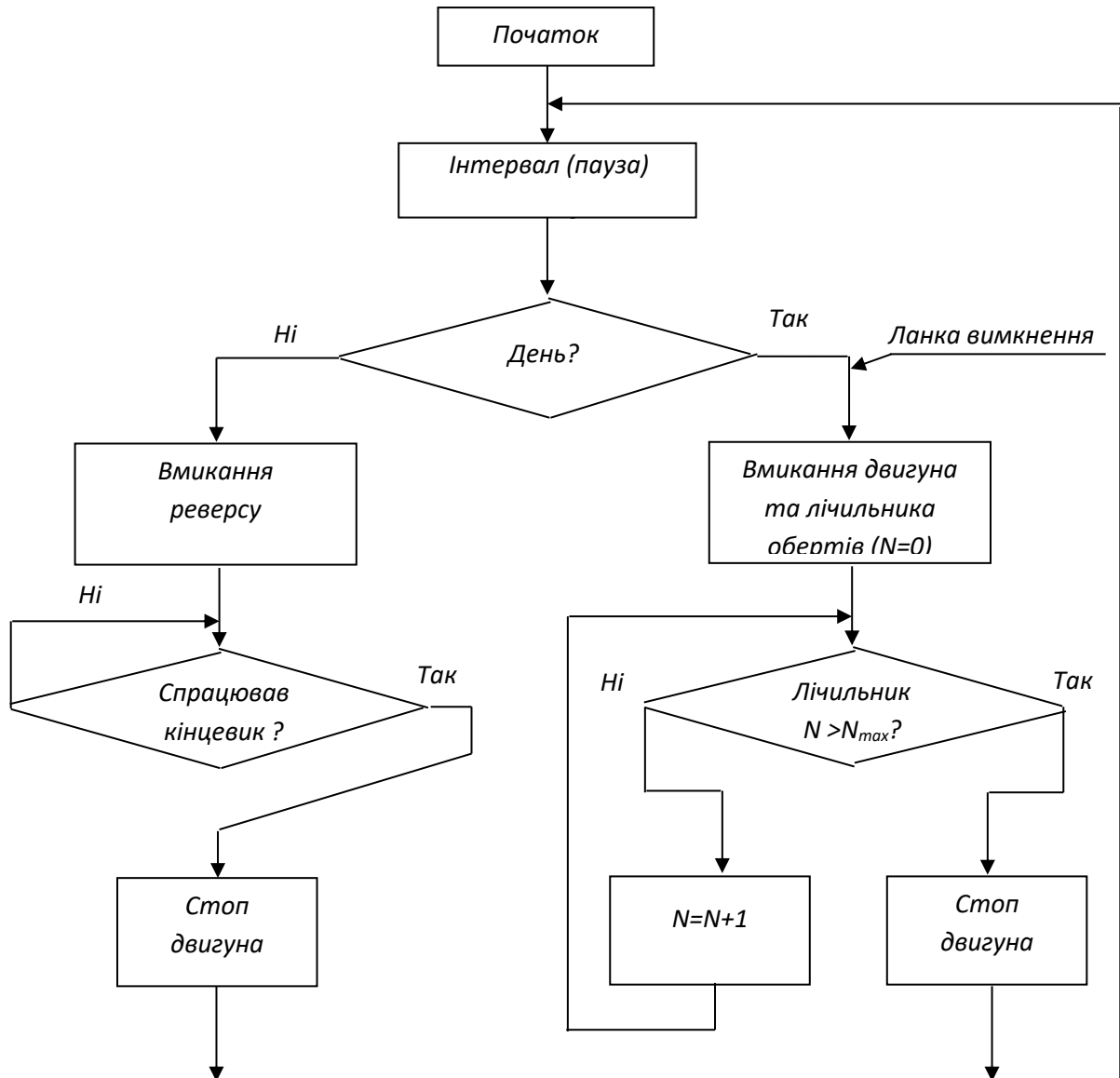


Рисунок 3.5 – Алгоритм керування поворотним механізмом

3.4. Принципова схема керування азимутальними поворотами фотопанелі

Схему керування розроблено на базі популярних мікросхем з функціональними властивостями генератора часових сигналів, подільника частоти формувачів імпульсів керування, лічильника, дешифратора логічних елементів та виконавських пристроїв. Автономне живлення схеми забезпечується від постійно зарядженої акумуляторної батареї. Принципову

схему розділено на два рисунки, для зручності представлення у масштабі стандартного листа А4. Частина, яка формує хвилинні в годинні імпульси для команд керування наведено на рисунку 3.6.

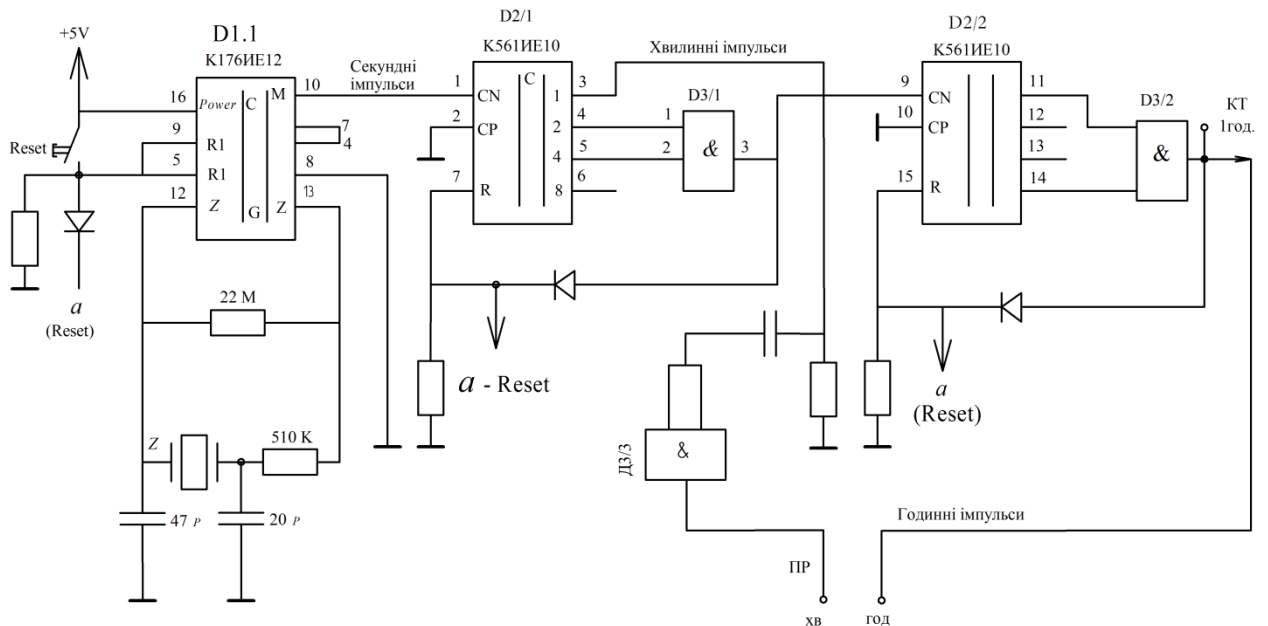


Рисунок 3.6 Генератор часових імпульсів

Зранку, відразу після подачі живлення, працює лише генератор часових імпульсів, зібраний на мікросхемі *D1.1* (K176IE12), з 10-го виходу якого знімаються короточасні імпульси періодичністю в одну секунду. Вони поступають на вхід 1 двоступеневого подільника частоти *D2*, виконаного на мікросхемі K561IE10.

При початково обнулених виходах мікросхем блоку прямого та реверсного обертання (керуючі сигнали вмикання/вимикання двигуна поворотів відсутні), кінцевий вимикач КЦ1 розімкнутий, а КЦ2 замкнений. А на клемі ручного перемикача режимів організації часового циклу ПР, одночасно надходять як хвилинні імпульси (з третього виходу першого подільника) так і годинні – з елемента *D3/2*. Хвилиний режим використовується для організації швидкого тестування працездатності схеми, та приведення поворотної платформи у початковий стан.

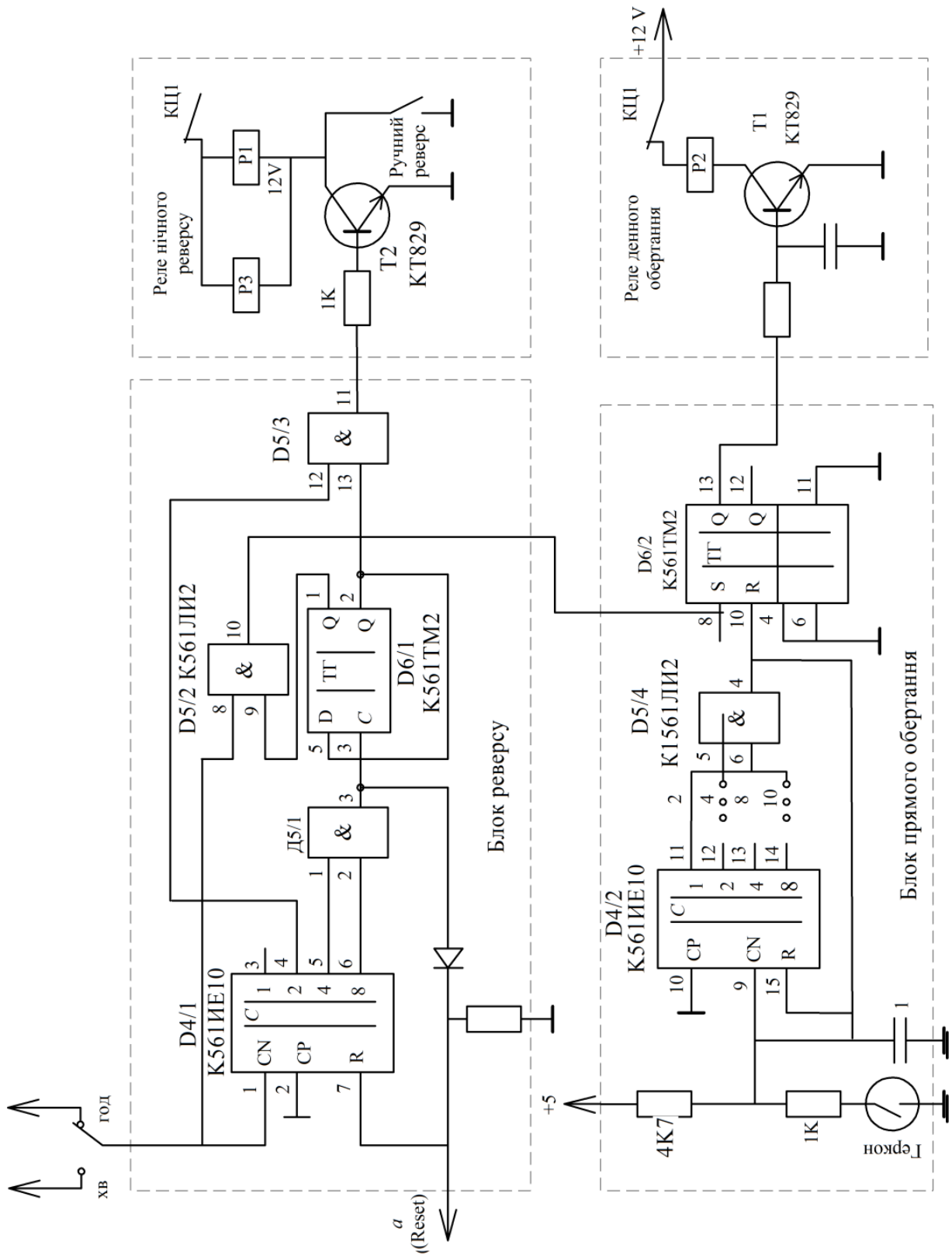


Рис. 3.7. Принципова схема блоків керування азимутальними поворотами фотопанелі

Живлення двигуна і напрям обертання поворотного пристрою визначається полярністю виходів – 13-го з D-тригера (D6/2, мікросхема K561TM2), який щогодини вмикає двигун для чергової зміни азимутального напрямку на Сонце та 11-го виходу логічного елемента «І» D5/3, для реверсного вмикання після завершення денного циклу стеження.

Годинні імпульси одночасно надходять на лічильник D4/1 (мікросхема K561ИЕ10) та логічний елемент «І» D5/3 (мікросхема K561ЛИ2). Через годину після подачі живлення першим імпульсом встановлюється високий потенціал (логічна одиниця) на виході 3 лічильника поворотів D4/1 (мікросхема K561ИЕ10), з якого нікуди не подається. Але комбінація логічних нулів та одиниць на виходах 3,4,5,6 є двійковим кодом номеру часового сигналу 1-2-4-8. Так другому часовому імпульсу відповідає код 0100 – високий потенціал встановлюється лише на другому за порядком виводу з номером 4. Третьому часовому імпульсу відповідає число 1100, тобто високий потенціал одночасно встановиться на виходах мікросхеми з порядковими номерами 3 і 4. Однаковий стан логічної одиниці на 4 і 5 виходах лічильника D3/1 встановиться аж 12 часовим імпульсом, порядковий номер якого у двійковій системі записується як 0011.

До 12-го порядкового імпульсу (у годинному чи хвилинному режимах) на обох входах 1 і 2 та виході 3 логічного елемента «І» D5/1 також логічні нулі. Відповідно не змінюється й початковий стан D-тригера D6/1: потенціал його прямого виходу Q (на схемі 1) низький рівень (логічний нуль), а інверсного \bar{Q} (на схемі 2) високий – логічна одиниця. Лише дванадцятим імпульсом на виходах 5,6 лічильника D4/1 та виході 3 логічного елемента D5/1 стан логічного нуля зміниться на одиницю.

D-тригери мають один інформаційний вхід D і один синхронізуючий C . Завдяки зворотному зв'язку стан входу 5 завжди однаковий зі станом прямого виходу 2, тому протягом перших 12 годин (який завершується 12 часовим імпульсом) зберігає початковий рівень логічного нуля.

Стан обох виходів 1 і 2 тригера D6/1 змінюється лише у момент встановлення логічної одиниці на синхронізуючому вході *C*, тобто у момент 12-го часового імпульсу. Тоді на його прямому виході *Q* (2 на схемі) також встановлюється логічна одиниця, яка завдяки зворотному зв'язку передається і на вхід *D*. Внаслідок рівності потенціалів обох входів *D*-тригер перекидається у новий стійкий стан, з логічним нулем на прямому виході та на одиницю – інверсному. Такий стан зберігається протягом наступних 12 годин, аж до приходу наступного імпульсу на синхронізуючий вхід *C*.

Прямий вихід (2) *D*-тригера також сполучений з 13 входом логічного елемента «І» D5/3, на якому в перші 11 годин також зберігається стан логічного нуля. Він встановлюється і на вході 13 логічного елемента D5/4. Тоді як на паралельний вхід 12 цього елемента логічна одиниця приходить з четвертого виходу лічильника D4/1. Там він сформується чотирнадцятим часовим імпульсом – через дві години після останнього 12 кроку повороту фотомодуля. Таким чином влітку, коли тривалість сонячного сьйва перевищує 12 годин, освітлення фотомодуля продовжується призахідним Сонцем.

На принциповій схемі відображена комутація контактів кола двигуна для здійснення реверсу. У момент чотирнадцятого часового імпульсу на обох входах 12 і 13 елемента D5/3 одночасно встановлюються логічні одиниці, завдяки чому виході 11 встановлюється логічна з високим потенціалом. Він який відкриває транзистор реверсу T2, який заживлює котушку реле P1 перемикача полярності якоря двигуна та P3 живлення індуктора у стані реверсу, коли контакт K2 вимкнений.

Реверсний поворот припиняється ранковим нормально замкнутим кінцевим вимикачем КЦ1, який розриває живлення котушок реле P1 та P3. Тоді пружні контакти K1.1 і K1.2 перемикача полярності якоря повертаються назад у стан прямого обертання. Натомість розірваний ввечері контакт КЦ1

замикається аж з початком першого ранкового кутового зміщення фотомодуля.

Вечірній кінцевий вимикач призначений для блокування надмірного кутового переміщення, наприклад взимку, коли азимутальний інтервал Сонця менший за 120° . Часові імпульси, крім лічильника D4/1, одночасно надходять і на вхід 8 логічного елемента «І» D5/2, де вони порівнюються з рівнем входу 9, однаковим з інверсним виходу 1 D-тригера (мікросхеми D6/1). Оскільки протягом перших дванадцяти годин денного циклу він рівний логічній одиниці, то у моменти надходження чергових часових імпульсів логічна одиниця буде встановлюватись і на вході 8 R-S-тригера D5/2 вмикання двигуна для коригування напрямку на Сонце.

При поданні імпульсу на вхід S за відсутності імпульсу напруги на R-вході (логічний нуль), на прямому виході Q R-S-тригера встановлюється стійкий стан логічної одиниці та на прямому виході аж до наступного перекидання. Його високий рівень передається на базу транзистора T1 для за живлення котушки реле P2, яка вмикає контакт K2 живлення двигуна у прямому напрямку. Двигун зупиняється після повороту фотомодуля на 15° – через один оборот черв'яка – за суміщення закріпленого на ньому магніту, і геркона на корпусі редуктора з передавальним числом 24. Число обертів черв'яка підраховує лічильник D4/2 за сигналами герконового контакту.

На принциповій схемі відображена ситуація, коли передавальне число редуктора вибрано рівним 24: для зміщення на один крок достатньо одного оберту черв'яка. Завдяки цьому використовується сигнал лише першого за порядком виходу лічильника, який на схемі позначений номером 11. Його стан передається відразу обом входам 5 і 6 логічного елемента «І» мікросхеми D5/4. Завдяки такій комутації після кожного замикання геркону її вихід 4 буде приймати стан логічної одиниці, як і 10 R-S-тригера D6/2. Тоді тригер перекинеться, а на його прямому виході 13 встановиться логічний нуль, який і закриє транзистор живлення T1 повороту фотомодуля.

Кожен наступний цикл починається новим часовим імпульсом, результатом якого буде логічна одиниця на вході S-тригера D6/2. Лише 12-й годинний імпульс на цей вхід не проходить внаслідок заборони з інверсного виходу 12 тригера D6/1.

3.5 Енергетична ефективність вертикально поворотного стеження

У процесі експлуатації пристроїв стеження залишається актуальним питання вибору оптимального кута нахилу поверхні стеження. Відповідні рекомендації у літературі посилаються на поодинокі результати прямої перевірки, які завжди обмежені частинними випадковими умовами інсоляції. Наприклад у публікації [14], наведені результати одноразового порівняльного дослідження поточної продуктивності трьох однакових фотоелектричних панелей – стаціонарного, нахиленого під кутом, рівним географічній широті, і двох стежних, з вертикальною та полярною осями кутових змішень. У режимі стеження обидва фотоелектричні модулі показали практично однакове перевищення поточної потужності та близько 40% збільшенням денної продуктивності відносно стаціонарного. Очевидно, що за неповністю відтворюваних умов інсоляції протягом дня, такі висновки потребують багатократних досліджень у різні сезони року. Або проведення математичного моделювання режимів інсоляції поверхні стеження при різних її нахилах.

Геометричні умови її освітлення сонячної панелі вертикально-поворотного пристрою стеження можна визначити за схемою, наведеною на рисунку 3.8. З неї видно, що площини сезонних сонячних траєкторій паралельні і нахилені до площини горизонту під кутом, рівним сонячному схиленню. Тоді як площини траєкторії ковзання кінця нормалі стежної панелі по поверхні сфери завжди горизонтальні.

Незалежно від сезону року, однаковим годинним інтервалам відносно полудня відповідають такі ж годинні азимутальні відхилення площини

стеження. Відтак кути освітлення стежної поверхні протягом дня, які зазвичай, розраховані за простою формулою

$$\cos \theta = \cos \theta_z \cos \beta + \sin \theta_z \sin \beta = \cos (\theta_z - \beta), \quad (3.1)$$

рівні різниці двох кутів – змінного зенітного і сталого кута нахилу

$$\theta = \theta_z - \beta \quad (3.2)$$

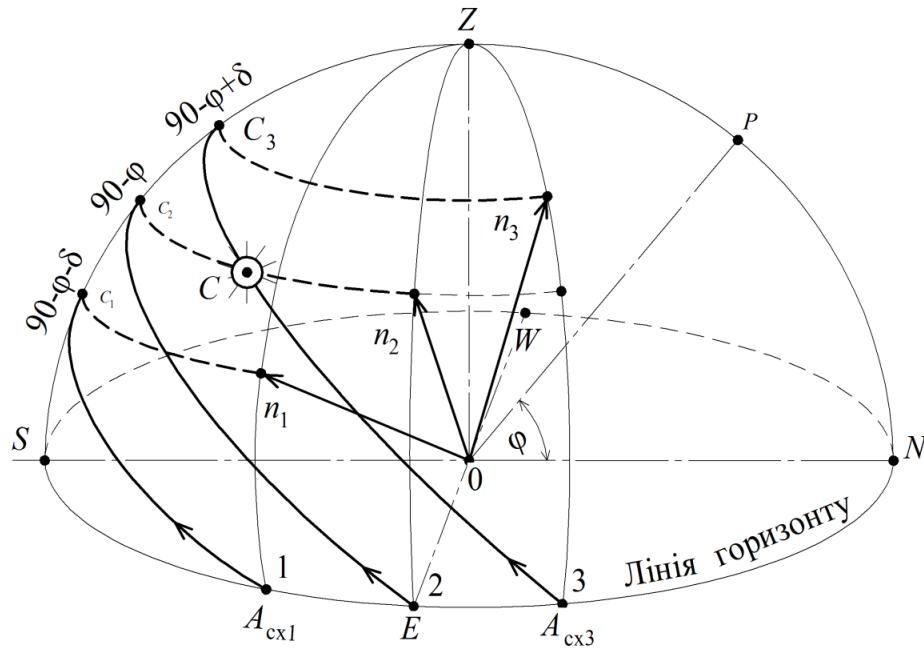


Рисунок 3.8 – Сезонні траєкторії Сонця (суцільні лінії) і кінця нормалі поверхні стеження (пунктирні лінії) вертикально-осьового пристрою [6]

Тоді енергетична освітленість сонячної панелі E чисельно рівна повному потоку сонячної енергії до нахиленої поверхні G_{β} , рівного сумі прямого G_b , дифузного G_b і відбитого від довкілля G_p потоків. У найпростішому випадку рівномірно яскравого неба, загальний потік розраховують через горизонтальні складові цих потоків [1...3]

$$G_{\beta} = R_{\beta}(\tau)G_{bh} + G_{dh} \frac{1 + \cos \beta}{2} + G_{th} \rho \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (3.3)$$

Середньомісячні значення горизонтальних складових усіх потоків наводять у кліматичних довідниках, які завжди спотворені повторюваними погодозалежними чинниками. Тому для моделювання закономірних змін

режимів інсоляції протягом дня простіше скористатися їх теоретично передбачуваними залежностями у наближенні ясного неба.

Кліматичним умовам України найближча Європейська модель сонячної радіації ESRA, за якою зміни інтенсивності усіх потоків можна розрахувати для кожної години дня для наступного розрахунку режимів інсоляції поверхні, наприклад за формулою (3.3) у програмному середовищі Ексель. Результати моделювання у припущенні потоків сонячної радіації, наведених у публікаціях [6 і 8] наочно представлені залежностями енергетичної освітленості поверхні стаціонарної фотопанелі на рисунку 3.9 та поворотної – на рисунку 3.10.

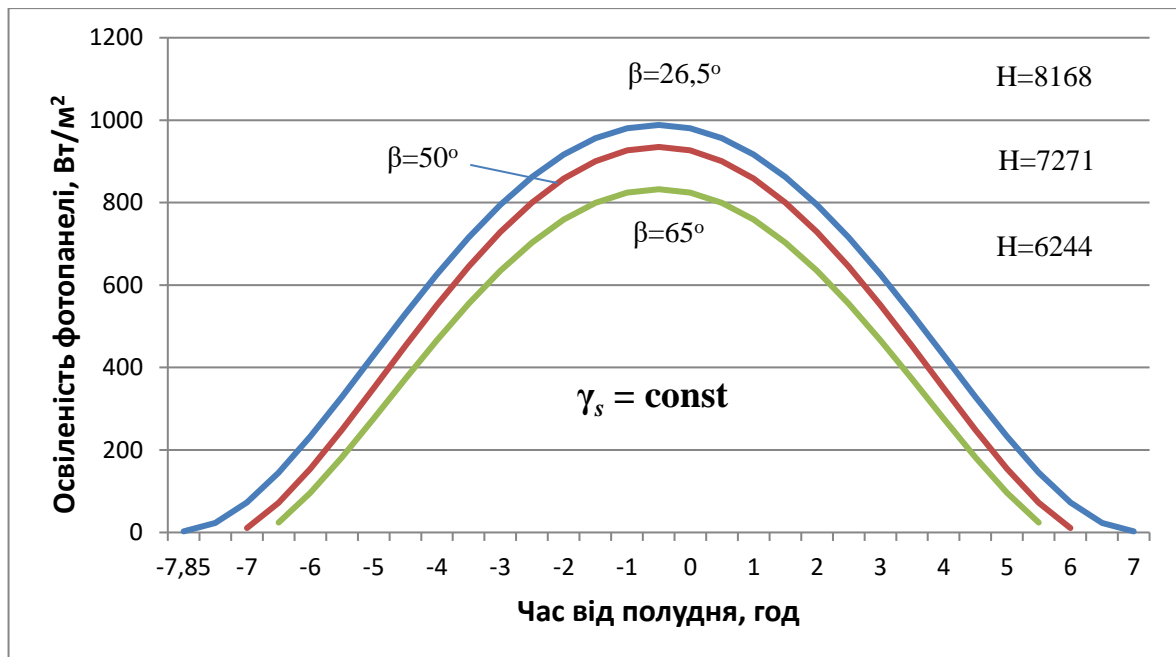


Рис. 3.9 Енергетична освітленість поверхні нерухокої сонячної панелі з різними кутами нахилу

У правому верхньому куті обох ілюстрацій наведені енергетичні експозиції для кожного кута нахилу фотопанелі. Якщо їх значення у режимі стеження розділити на відповідні для нерухокої поверхні то отримаємо такі оцінки зростання ефективності:

$$\beta = 26,5^\circ: 10336 / 8168 = 1,27 \text{ раз}$$

$$\beta = 50^\circ: 10603 / 7271 = 1,46 \text{ раз}$$

$$\beta = 65^\circ: 10997 / 6244 = 1,76 \text{ раз}$$

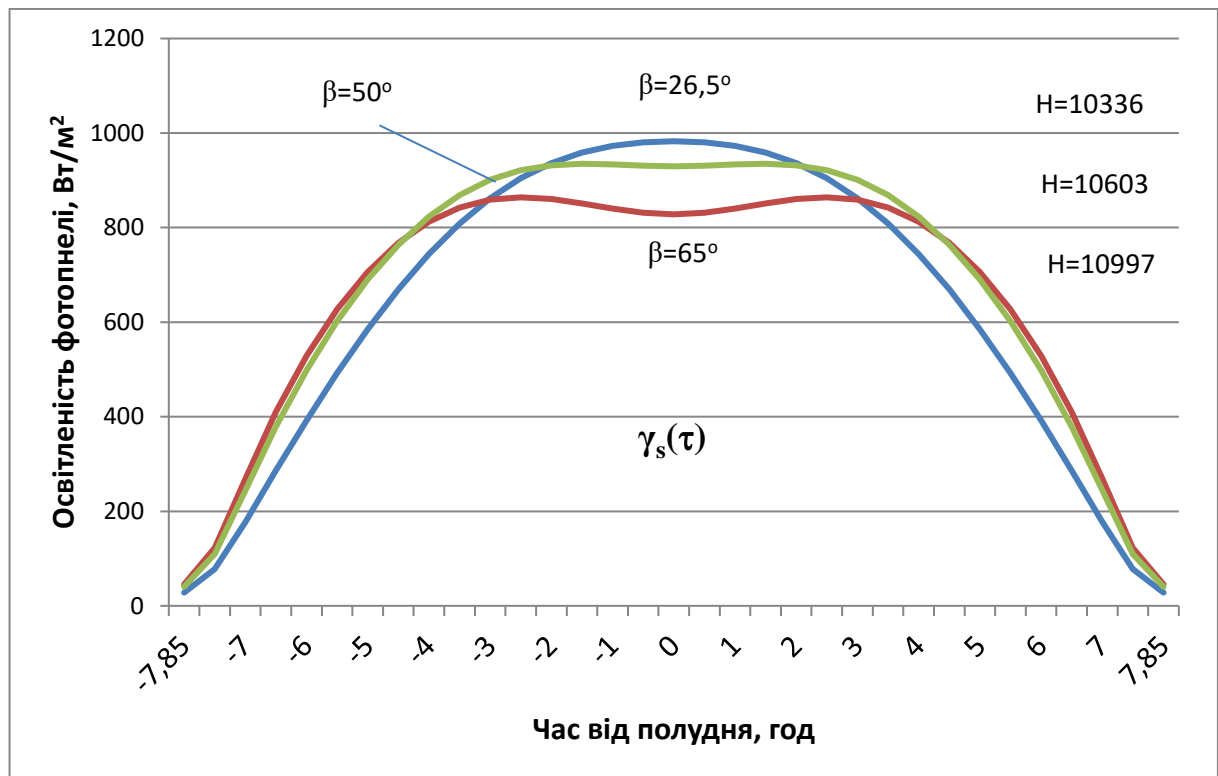


Рис. 3.10 Енергетична освітленість вертикально поворотної поверхні фотопанелі у режимі стеження за Сонцем з різними кутами нахилу

Оскільки оптимальні кути нахилу залежать від сезону року, то ефективність проекту протягом року експлуатації можна оцінити за результатами їх випробування у натурних умовах або на підставі модельних розрахунків для режимів інсоляції поверхні, подібних природним потокам сонячної енергії поблизу фотоелектричної установки. А за відсутністю єдиного критерію оцінки ефективності, на практиці зазвичай приймають, що за однакового нахилу, продуктивність сонячної панелі у режимі стеження на 40% вища від стаціонарної.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

4.1 Загальні питання безпечної фотоенергетики

Сонячні панелі складені з сонячних модулів, які генерують постійний струм напругою близько 45 В при розімкненому зовнішньому колі та близько 37,2 вольт при номінальному навантаженні. При їх комутації у сонячні батареї напруга зростає до рівня, яка при збігу обставин може становити реальну небезпеку персоналу. Тому правила поводження з ними такі ж як і при роботі на електроустановках змінного струму. Монтаж, експлуатація і технічне обслуговування системи сонячного електропостачання вимагає відповідного рівня технічних знань і дотриманням загальних правил техніки безпеки при електромонтажних та налагоджувальних роботах.

Усі роботи, як правило, ведуть на висоті, поряд з повітряними лініями електропередачі, які вимагають додаткових організаційних заходів для безпеки. Перед початком робіт потрібно відвідати об'єкт з метою виявлення потенційних небезпек на місці монтажних робіт. Наприклад обмежити зону роботи огороженням, перебачити відповідне екіпірування – захисні каски, рукавички, нековзне спецвзуття.

Сонячні панелі та батареї та монтажні засоби часто громіздкі та незручні для переміщення на монтажному майданчику обмеженої площі. Тому будь-які операції з панелями з ними повинні виконуватися як мінімум удвох, щоб уникнути будь-яких травм або пошкоджень.

При монтажних роботах елементи фотоелектричних установок можуть випадково опинитися під напругою від сонячних панелей, тому важливо дотримуватися запобіжних заходів: попередньо знеструмити об'єкт, перевірити відсутність напруги, не працювати під навантаженням. Металеві корпуси панелей потрібно заземлювати для відводу високовольтних імпульсів комутаційних напруг на корпус фотоелектричної установки. Його,

у свою чергу надійно заземлюють для захисту від статичної атмосферної електрики.

4.2 Умови безпечної роботи з акумуляторами

Для зняття і перенесення акумуляторної батареї треба одягати спеціальний одяг, гумові фартухи, чоботи і рукавички, так як електроліт руйнівню діє на одяг і взуття і може викликати опіки шкіри. При потраплянні рідини або електроліту на органи тіла потрібно змити їх рясним струменем 10% -го розчину соди або розчину нашатирного спирту у воді.

Після роботи з акумуляторами і перед прийняттям їжі необхідно ретельно вимити руки гарячою водою з милом. Забороняється палити, а також зберігати продукти і їжу в робочих приміщеннях, пов'язаних з обслуговуванням і ремонтом акумуляторів.

Батареї акумуляторів необхідно утримувати в чистоті; періодично (через кожні 15 днів) протирати їх поверхню чистою ганчіркою, попередньо злегка змоченою в 10% -му розчині нашатирного спирту для нейтралізації сірчаної кислоти, і потім ретельно витирати сухою ганчіркою. У працюючих акумуляторів слід систематично прочищати отвори в корках, для профілактики засмічення і зростання надлишкового тиску газів усередині комірок, для запобігання випучуванню та руйнуванню стінок.

Затискачі батареї і наконечники проводів необхідно очищати від оксидів і змащувати технічним вазеліном для запобігання від подальшого окислення. Контакт між затискачами і наконечникам проводів і клемми акумуляторів батареї повинен бути досить щільним, для запобігання їх ковзанню, іскрінню, короткому замиканню з швидкому розряджанню та можливою розгерметизацією. Тому приміщення з акумулятором повинно бути обладнане припливно-витяжною вентиляцією.

При роботі з акумуляторами всередині приміщень слід користуватися тільки вибухозахисними лампами напругою живлення не вищими за 12 в. У разі користування вилкою навантаження попередньо відкрити герметизуючі корки для запобігання скупченню газів всередині вибухонебезпечних газів.

Також не можна близько нахилитися до розгерметизованих отворів через небезпеку подразнень слизової оболонки та очей. При заряджанні акумуляторних батарей не можна вмикати вилку навантаження через можливе від іскріння на клемах.

4.3 Захист довкілля

Серед усіх компонентів фотоелектричних установок довкіллю загрожують тільки хімічні акумулятори електроенергії. Вони мають шкідливі речовини, які за неправильної утилізації можуть призвести до забруднення ґрунту, води та повітря, негативно впливаючи на здоров'я людей і тварин. Тому масивні токсичні елементи конструкції акумулятора елементи свинець, кислоти та інші вимагають особливого підходу під час утилізації. Використані акумулятори не можна викидати разом з побутовими відходами, бо наявні в них хімічні речовини можуть потрапити до ґрунту і водних джерел. А при їх нагріванні вони можуть виділяти токсичні гази та речовини у повітря. З метою запобігання таким явищам, на законодавчому рівні у точках роздрібного продажу організують обмін відпрацьованих акумуляторів на нові.

Для підприємців, які в установленому порядку своєчасно не передали на утилізацію відпрацьовані акумулятори, навіть передбачена адміністративна відповідальність у вигляді штрафу від одного до трьох неоподатковуваних мінімумів доходів громадян, а на посадових осіб - від п'яти до десяти неоподатковуваних мінімумів доходів громадян.

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Проект модернізації передбачає оптимізацію режимів інсоляції сонячної панелі протягом дня засобами їх автоматичного наведення на Сонце. Розроблена електрична схема керування забезпечує енергоощадний дискретний алгоритм азимутальної переорієнтації сонячної панелі замість енергозатратного неперервного.

Безпосередньо його виконує розроблена електрична схема керування поворотами з програмою циклічного повторення наступного дня. Її пропонується реалізувати на базі популярних і доступних комплектуючих – електронних мікросхем, силових транзисторів, магнітних сенсорів, монтажної плати, стандартних номіналів радіосхем та засобів кріплення.

З наведених в Інтернеті пропозицій [15], потрібні електронні мікросхеми можна придбати за ціною від 5 до 15 грн за шт, транзистори за 30 грн/шт, геркони 15 грн/шт. Їх загальна вартість разом не перевищує 400 грн. Послуги залученого радіомонтажника протягом одного робочого дня коштів вартуватимуть не більше за 1000 грн. Відтак загальні затрати на реалізацію схемних керування та її налагодження не перевищать суми у 1500 грн.

Приблизно у таку ж суму можна оцінити затрати на виготовлення і монтаж вузла зміни нахилу сонячної панелі за схемою на рис. 3.2. Усі його елементи виготовляються у майстерні господарства з демонтованих деталей списаної техніки.

Реалізація проекту збільшить середньоденну продуктивність фотоелектричної установки на 40%.. Відповідно скоротиться й тривалість неекономічного роботи резервного генератора з приводом від ДВЗ у режимі недовантаження при живленні тільки малопотужних приладів першої необхідності. За умови підвищення поточної потужності та збільшеного об'єму акумульованої енергії від нарощення продуктивності, більшість таких приладів можна заживити від фотоелектрики. А у випадку організації автономного живлення електроустановок на віддалених господарських

об'єктах можливий непрямий додатковий прибуток від продовження терміну сезонних робіт. Відтак оцінку ефективності проекту з підвищення продуктивності фотоелектричної установки доцільно проводити порівнянням економічних показників ФЕУ і резервного генератора а базі ДВЗ.

Наприклад термін окупності понесених затрат на підвищення продуктивності фотоелектричної установки з високою вартістю роботи генерованої електрики резервним генератором, не меншим за 20 грн за кВт·год. Нарощування продуктивності ФЕУ на 1 кВт·год еквівалентне продуктивності портативного бензинового генератора TIGGER номінальною потужністю 650 Вт протягом $1000/650 = 1,54$ год, з витратою палива 1 л/год, витрачається

$$V_{\text{п}} \approx 52 \times 1,54 = 80 \text{ грн.}$$

Одноразові затрати на модернізацію фотоелектричної системи з кількома модулями оцінюються у 3000 грн. Якщо використовувати раніше придбаний бензиновий генератор, то термін окупності проекту оцінюється відношенням разових затрат у 3000 грн до експлуатаційних затрат на щоденне вмикання електрогенератора протягом 1 години:

$$T.O. = 3000 / 80 = 38 \text{ денних циклів.}$$

ВИСНОВКИ

1. Ефективність роботи малопотужної автономної фотоелектричної установки реально підвищити засобами оптимально орієнтації сонячних панелей протягом дня.
2. Енергоощадний алгоритм переорієнтації сонячних панелей забезпечується дискретними кутовими зміщеннями сонячних панелей з короткочасним вмиканням двигуна повороту.
3. Розроблена схема з невеликим числом недорогих комплектуючих елементів нескладна для реалізації у майстерні с.-г. підприємства.
4. Впровадження проекту зменшує тривалість роботи генератора резервного електропостачання за рахунок звільнення від функції підтримки роботи малопотужних електроприладів.
5. Прямий економічний ефект очікується від зменшення експлуатаційних затрат на роботу резервного бензогенератора з умовним терміном окупності протягом 38 годин його роботи у режимі номінального навантаження.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Гальчак В. П., Боярчук В. М. Альтернативні джерела енергії. Енергія Сонця. Львів: Вид-во ЛНАУ, 2008. – 135 с.
2. Duffie J., Beckman W. Solar engineering of thermal processes. 4th ed. Hoboken; New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2013. P. 910.
3. Kalogirou S. A. Solar Energy Engineering. Processes and Systems. Second edition. Amsterdam: Elsevier Inc., 2014. 819 p.
4. Андрієвський С. М., Климишин І. А. Курс загальної астрономії. Одеса: Астропринт, 2007. 480 с.
5. Астрономічний календар. 2022 / ред. кол. : А. П. Відьмаченко (гол. ред.) та ін.; ГАО НАН України. Київ: Академперіодика, 2021. 214 с.
6. Сиротюк С.В., Гальчак В.П., Боярчук В.М., та ін. Порівняльна оцінка ефективності стеження за Сонцем одновісними поворотними пристроями. Відроджена енергетика, 2022. с.1-8.
7. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Выпуск 10, Украинская ССР. Книга 1. Ленинград: Гидрометиздат, 1990. 595 с.
8. Гальчак В.П., Боярчук В.М., Сиротюк В.М., Сиротюк С.В. Параметри прямого потоку сонячної енергії при ясному небі з урахуванням прозорості атмосфери. // Відроджена енергетика. 2029, №2. С. 22-31.
9. A.Z. Hafez, A.M. Yousef, N.M. Harag. Solar tracking systems: Technologies and trackers drive types – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 91 (2018) 754–782.
10. Kok-Keong Chong, Chee-Woon Wong. General Formula for On-Axis Sun-Tracking System. Solar Collectors and Panels, Theory and Applications. Rijeka: Sciyo, 2010. p. 263-292.
11. Kamila Klimek, Magdalena Kaplan, Volodymyr Halchak et al. Orientation and Exposure efficiency of a Solar Tracking Surface in Clear Sky. Applied sciences. **2022**, 12, 9118.

12. Інтернет ресурс. Режим доступу: <https://www.kvazar7.com/ua>. Дата звернення 27.05.2024р.
13. Сонячна енергетика: теорія та практика: монографія / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал. Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2014. 340 с.
14. Боярчук В.М., Гальчак В.П. Сиротюк В.М., т ін. Підвищення електричної продуктивності сонячної електричної панелі. Вісник ЛНАУ. Агроінженерні дослідження. – 2008. – №12, т.2 – с. 507–510).
15. Електронний ресурс:
<https://standart-pribor.com.ua/product/k176ie12-mikroskhema/>
Дата звертання 0.06 2024р.