

## АВТОМАТИЗАЦІЯ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА РОБОТОТЕХНІКА

УДК 004.021:004.94

DOI <https://doi.org/10.32782/EIS/2024-105-5>

### СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ ОПТИМАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ ПОЛОЖЕННЯМ СОНЯЧНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ

**Бубліков Андрій Вікторович,**

доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем  
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»  
ORCID ID: 0000-0003-3015-6754  
Scopus Author ID: 55998596600

**Іванський Ілля Іванович,**

здобувач групи 151м-22-1  
Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»

**Мета статті** полягає в підвищенні енергоефективності роботи сонячної фотоелектричної установки завдяки створенню алгоритму автоматичного керування просторовим положенням сонячної панелі на основі аналізу генерованої потужності. Головним критерієм якості роботи системи автоматичного керування є величина коефіцієнта корисної дії фотоелектричної установки.

**Методи.** Для дослідження алгоритмів автоматичного керування просторовим положенням сонячної панелі в застосунку Simulink математичного пакета MATLAB розроблена імітаційна модель системи автоматичного керування. При цьому використана відома математична астрономічна модель для визначення кута нахилу сонячних променів відносно земної поверхні. Для імітації збурюючих впливів на систему керування застосовані методи математичної статистики.

**Результати.** Проведене моделювання роботи сонячної установки, коли положення панелі визначається за запропонованим алгоритмом за умови сонячного дня. Результати дослідження дали змогу зробити висновок про ефективність запропонованого алгоритму: потужність змінюється у вузькому діапазоні поблизу свого максимального значення 100%. Коливання потужності зумовлені встановленим діапазоном  $\pm 2,5\%$ , коли сонячна панель залишається нерухомою. Коригування положення панелі відбувається за умови виходу потужності із цього діапазону. Далі проведено моделювання роботи сонячної фотоелектричної установки за умови використання запропонованого алгоритму керування положенням панелі для випадку хмарного дня. Закриття сонця хмарами імітовано шляхом випадкової зміни як величини зменшення потужності, так і тривалості цього зменшення. Результати дослідження дали змогу зробити висновок, що запропонований алгоритм автоматичного керування положенням сонячної панелі залишається таким же ефективним і для випадку хмарної погоди. Після провалів потужності через перекриття сонця хмарами потужність після цього повертається до діапазону зміни значень 97–100% і не виходить із нього, поки не настане наступне затьмарення сонця. Це означає, що алгоритм після паузи, яка виникає через затьмарення сонця, продовжує працювати коректно. Наявність провалів потужності через закриття сонця хмарами не призводить до збою запропонованого алгоритму.

**Практичне значення.** Робота трекерів заснована на математичній астрономічній моделі, яка на основі знання про астрономічний час і координати сонячної електростанції дає можливість розрахувати кут падіння сонячних променів на поверхню землі. Але це передбачає додаткові витрати на апаратне забезпечення через використання GPS-навігації. Щоб уникнути цього, сонячну панель можна використовувати, умовно кажучи, як давач виробленої панеллю потужності, відслідковуючи таким чином таке просторове положення панелі, яке забезпечує максимальну згенеровану потужність. Це дає змогу зробити запропонований у роботі алгоритм, адаптований, на відміну від трекерних систем, до хмарної погоди.

**Ключові слова:** сонячна установка, синтез системи автоматичного керування, імітаційна модель, MATLAB.

**Bublikov Andrii, Ivanskyi Illia. Synthesis and study of the system for optimal position control of a solar photovoltaic installation**

**The goal** is to increase the energy efficiency of the solar photovoltaic installation by creating an algorithm for automatically controlling the spatial position of the solar panel based on the analysis of the generated power. The

main criterion for the quality of the operation of the automatic control system is the value of the efficiency factor of the photovoltaic installation.

**Method.** A simulation model of the automatic control system was developed in the Simulink application of the MATLAB mathematical package to study the algorithms for automatic control of the spatial position of the solar panel. At the same time, a well-known mathematical astronomical model was used to determine the angle of inclination of the sun's rays relative to the earth's surface. Mathematical statistics methods are used to simulate disturbing effects on the control system.

**The results.** A simulation of the operation of the solar installation was carried out, when the position of the panel is determined according to the proposed algorithm under the condition of a sunny day. The research results made it possible to draw a conclusion about the effectiveness of the proposed algorithm: the power varies in a narrow range near its maximum value of 100%. Power fluctuations are due to a set range of  $\pm 2.5\%$ , when the solar panel remains stationary. The adjustment of the panel position takes place under the condition that the output power is out of this range. Next, the simulation of the operation of the solar photovoltaic installation was carried out under the condition of using the proposed algorithm for controlling the position of the panel for the case of a cloudy day. Obscuration of the sun by clouds is simulated by randomly varying both the amount of power reduction and the duration of this reduction. The results of the study allowed us to conclude that the proposed algorithm for automatic control of the position of the solar panel remains as effective even in the case of cloudy weather. After power dips due to cloud cover, the power then returns to the 97–100% variation range and does not exit until the next solar eclipse. This means that the algorithm continues to work correctly after a pause caused by a solar eclipse. The presence of power dips due to covering the sun by clouds does not cause the proposed algorithm to fail.

**Practical meaning.** The work of the trackers is based on a mathematical astronomical model, which, based on knowledge of astronomical time and the coordinates of the solar power plant, makes it possible to calculate the angle of incidence of the sun's rays on the earth's surface. However, this involves additional hardware costs due to the use of GPS navigation. To avoid this, the solar panel can be used, relatively speaking, as a transmitter of the power, generated by the panel, thus tracking the spatial position of the panel that provides the maximum generated power. This makes it possible to make the algorithm proposed in the work, which is adapted, unlike tracker systems, to cloudy weather.

**Key words:** solar installation, synthesis of automatic control system, simulation model, MATLAB.

**Вступ.** Сонячні електростанції, які ще кілька років тому можна було зустріти тільки на півдні України, стали поширеним новим бізнесом практично в кожному регіоні. Перед війною, наприклад у 2017 році, за даними Держенергоєфективності, загальна потужність введених в експлуатацію сонячних електростанцій (СЕС) становила 211 МВт, що вдвічі більше за попередній рік [1]. На сьогодні більша частина фотоелектричних модулів використовуються як для вироблення електроенергії в побуті, так і для індустріальних цілей. Проте статистика щодо використання сонячного випромінювання для цілей енергетики свідчить про економічну неефективність і комерційну непривабливості фотоелектричних модулів (надалі ФМ) у зв'язку з їх ціною на ринку. Зниження вартості виробництва електроенергії можливе двома способами: зниження вартості власне ФМ і підвищення ефективності вироблення енергії. У розрізі цього дослідження йдеться про другий спосіб, для реалізації якого фотоелементи обладнуються системою стеження за Сонцем, що дає найкраще співвідношення вартості й ефективності.

Головною величиною, що впливає на вироблену потужність ФМ, є кут падіння сонячних променів на його поверхню, навіть за найефективнішого стаціонарного встановлення ФМ втрати вихідної потужності становлять до

50% порівняно з безперервним орієнтуванням на Сонце. Застосування систем стеження дає змогу змінювати кут нахилу ФМ протягом дня таким чином, щоб зберігати прямий кут падіння сонячних променів на його поверхню. Завдяки цьому можна збільшити кількість отриманого випромінювання, а отже, і величину потужності, що виробляється. Головною перевагою цього способу є те, що він підходить для вже працюючих СЕС, для цього потрібно лише внести зміни в опорну конструкцію ФМ.

Наразі для визначення траєкторії стеження на панелі встановлюється сонячний трекер – пристрій, призначений для відстеження положення Сонця й орієнтування несучої конструкції таким чином, щоб отримати максимальний ККД від батарей [2]. Робота трекерів заснована на математичній астрономічній моделі, яка на основі знання про астрономічний час і координати СЕС дає можливість розрахувати кут падіння сонячних променів на поверхню землі. Але це передбачає додаткові витрати, крім того, потребує використання GPS-навігації. Щоб уникнути цього, сонячну панель можна використовувати, умовно кажучи, як давач виробленої панеллю потужності, відслідковуючи таким чином таке просторове положення панелі, яке забезпечує максимальну згенеровану потужність.

Мета наукової роботи полягає в підвищенні енергоефективності ФМ через створення алгоритму автоматичного керування просторовим положенням сонячної панелі на основі аналізу генерованої потужності. Головним критерієм якості роботи системи автоматичного керування є величина коефіцієнта корисної дії ФМ.

Для досягнення поставленої мети сформовані такі наукові завдання:

- створити імітаційну модель системи автоматичного керування просторовим положенням ФМ;
- запропонувати новий алгоритм пошуку оптимального положення сонячної панелі за критерієм максимуму виробленої ФМ електроенергії на основі аналізу замірної генерованої потужності з урахуванням її різких перепадів через хмарність;
- провести дослідження режимів роботи синтезованої системи керування просторовим положенням сонячної панелі, що відповідає реальним умовам роботи ФМ з погляду дії збурень.

**Методи.** З метою синтезу й дослідження системи автоматичного керування положенням сонячної фотоелектричної установки в застосунку Simulink пакету MATLAB створена імітаційна модель системи керування, схему якої наведено на рис. 1.

Модель системи керування на рис. 1 складається з п'яти основних частин (підсистем). Чотири із цих підсистем є основою моделі об'єкта керування.

У першій підсистемі відбувається імітація зміни часу за Грінвічем. Тобто часовий масштаб пакету MATLAB адаптується під інший часовий масштаб, який використовується зазвичай.

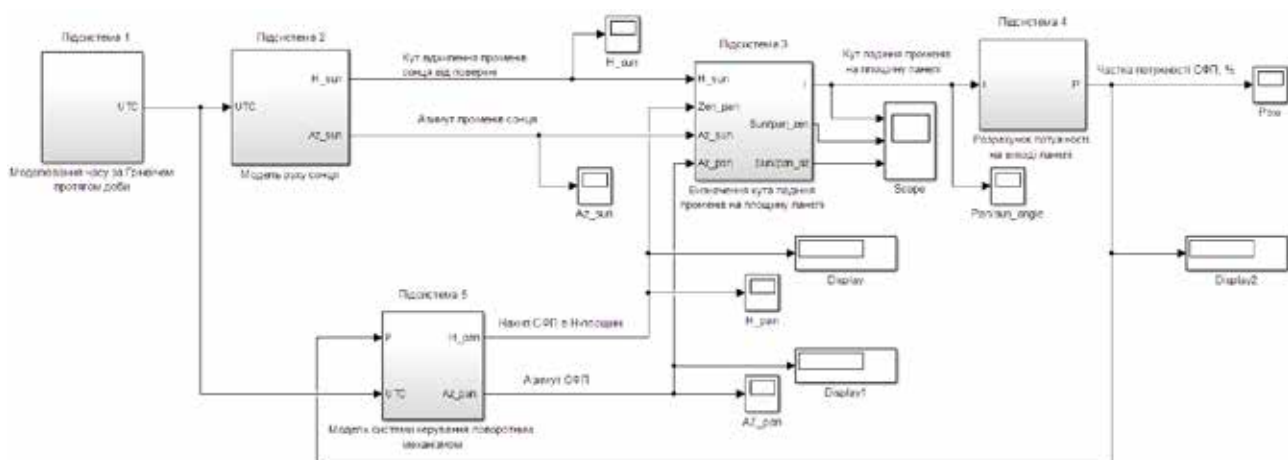
У другій підсистемі («Модель руху Сонця») реалізовано давно відомий алгоритм відстеження положення Сонця в певний момент часу, що використовується в трекерних системах [3]. Вхідними параметрами моделі є час за Грінвічем, координати точки спостереження, а також дата спостереження, а вихідними величинами є кути схилення  $\gamma$  (висота Сонця над горизонтом) та азимута  $\phi$  (відхилення від напрямку на північ) Сонця. В астрономії використовують астрономічний азимут, що є кутом між об'єктом і напрямком на південь. Проте для спрощення сприйняття термінології в цій роботі здійснюватимемо відстеження Сонця за стандартним азимутом (на північ).

Кути нахилу Сонця відносно поверхні Землі, а також кути нахилу сонячної панелі відносно поверхні землі дають змогу обчислити кут нахилу променів Сонця відносно поверхні панелі. Це відбувається в підсистемі з відповідною назвою (рис. 1).

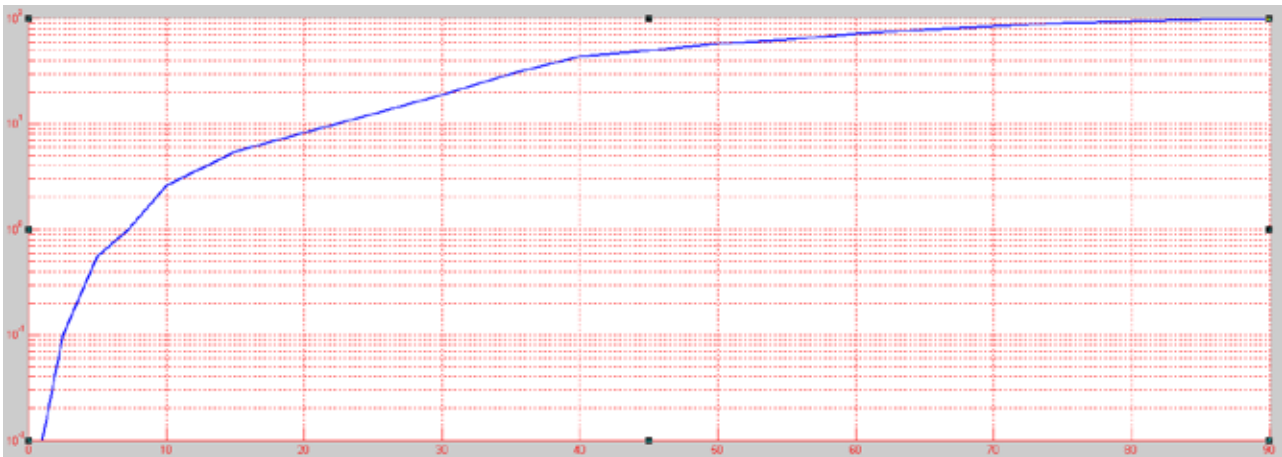
Остання із чотирьох підсистем моделі об'єкта керування призначена для визначення потужності, генерованої сонячною панеллю, у відносних одиницях у функції кута нахилу сонячних променів відносно поверхні панелі. Тож ця підсистема має назву «Розрахунок потужності на виході панелі» (рис. 1). Для визначення аналітичної залежності відносної потужності на виході панелі від кута падіння променів на її поверхню використана експериментальна характеристика, що показана на рис. 2 [4].

Апроксимація характеристики на рис. 2 проводилася за допомогою ступеневих поліномів.

**Результати.** За умови аналізу відомих алгоритмів оптимізації з метою синтезу системи



**Рис. 1.** Схема імітаційної моделі системи автоматичного керування положенням сонячної фотоелектричної установки



**Рис. 2. Експериментально отримана залежність відносної потужності на виході сонячної панелі (вісь Y) від кута падіння променів на неї (вісь X)**

автоматичного керування положенням сонячної фотоелектричної установки були визначені такі особливості процедури пошуку екстремуму залежності потужності, генерованої сонячною панеллю, від її положення:

1. Оптимізована функція, що описує залежність потужності на виході батареї, формується поступово в часі з повільною динамікою.

2. Ми завжди перебуватимемо в початковій точці, відносно якої напрям максимального екстремуму є відомим.

З огляду на це в роботі запропоновано емпіричний алгоритм пошуку максимального екстремуму потужності, генерованої сонячною панеллю, залежно від двох змінних – кутів обертання панелі в горизонтальній і вертикальній площинах.

Запропоновано новий алгоритм, адаптований до хмарної погоди, коли спостерігаються різкі «провали» потужності, і в основі його закладено такі положення:

1. Перед початком обґрунтовується крок зміни координат за горизонталлю та вертикаллю за попередньою теоретичною залежністю потужності від координат для конкретних умов. Приймається, що крок має бути таким, щоб відхилення поточної потужності від максимальної не перевищувало 2,5%.

2. Якщо відхилення поточної потужності від максимальної стало більше за 2,5%, починається покрокове дискретне переміщення тільки за однією координатою (у горизонтальній площині), доки не відбудеться перетинання оптимуму. Після цього починається аналогічне переміщення за іншою координатою (у вертикальній площині).

3. Якщо під час переміщення у вертикальній площині виникає багатократне зменшення

потужності (на декілька кроків), робиться висновок щодо проходження зеніту. Після чого робиться переміщення панелі на крок назад і запускається процедура пошуку екстремуму, але напрям переміщення панелі у вертикальній площині змінюється на протилежний.

4. За умови значного зменшення потужності через хмарність запам'ятовується останнє значення потужності до зменшення і процедура пошуку екстремуму припиняється. За умови зникнення значного відхилення поточної потужності, генерованої панеллю, від збереженого значення пошук екстремуму починається заново.

На рис. 3 показано схему алгоритму, що реалізує описані вище положення у вигляді графа переходів.

Станами графа на рис. 3 є:

I – стан спокою (переміщення сонячної панелі не відбувається);

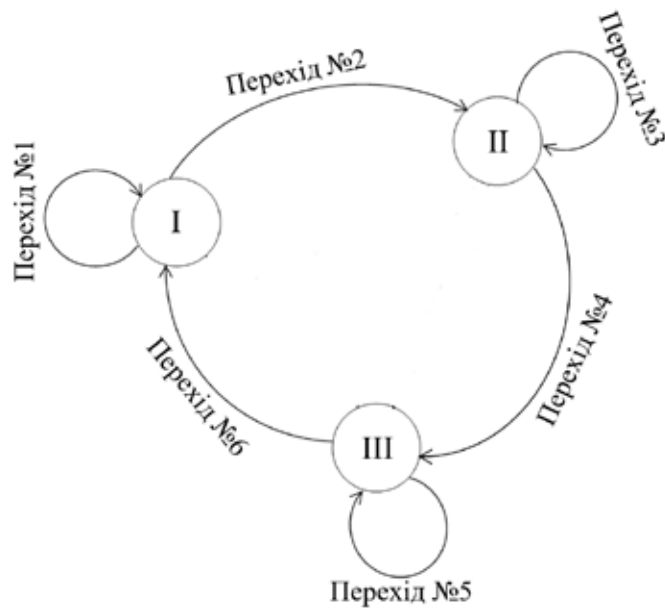
II – переміщення сонячної панелі в горизонтальній площині;

III – переміщення сонячної панелі у вертикальній площині.

Розглянемо умови та дії переходів між станами схеми алгоритму на рис. 3.

Умовою переходу № 1 є знаходження відхилення відносної поточної потужності від збереженого значення за переходу зі стану 3 до стану 1 у межах  $\pm 2,5\%$  (ширина цього діапазону може змінюватися, і потрібно провести подальші дослідження впливу цього параметра на кількість електроенергії, яка вироблена сонячною панеллю за одиницю часу).

Ще однією умовою переходу № 1 є присутність значного відхилення відносної поточної потужності від збереженого значення за переходу зі стану 3 до стану 1 понад 5% (цей граничний рівень може змінюватися, і потрібно



**Рис. 3. Схема алгоритму автоматичного керування положенням сонячної фотоелектричної установки**

провести подальші дослідження впливу цього параметра на кількість електроенергії, яка вироблена сонячною панеллю за певний інтервал часу).

Дією у стані I є формування та постійне оновлення вектора значень заміряної потужності на поточному, попередньому та позапередньому кроках виклику програми за умови, якщо немає значного відхилення відносної поточної потужності від збереженого значення за переходу зі стану 3 до стану 1.

Умовою переходу зі стану 1 до стану 2 (перехід № 2 на рис. 3) є знаходження відхилення відносної поточної потужності від збереженого значення за переходу зі стану 3 до стану 1 у діапазоні значень від 2,5 до 5%. Дією цього переходу є зміна значення змінної, що відповідає стану II, з нуля на одиницю.

Умовою переходу № 3 на рис. 3 є відсутність визначення максимального екстремуму залежності потужності від кута обертання сонячної панелі в горизонтальній площині. Також умовою є присутність значного відхилення відносної поточної потужності від збереженого значення за переходу зі стану 3 до стану 1. У разі виконання останньої умови жодних дій не відбувається під час цього переходу. За першої умови відбувається збільшення кута обертання на крок (у роботі взято 1 град., але потрібно провести подальші дослідження впливу цього параметра на кількість електроенергії, яка вироблена сонячною панеллю за одиницю часу). Потім має місце очікування закінчення переміщення панелі та замірювання потужності. Після

цього відбувається аналіз значень потужності на трьох останніх ітераціях з метою пошуку екстремуму.

Умовою переходу № 4 є визначення екстремуму залежності потужності від кута обертання панелі в горизонтальній площині. При цьому змінна, яка відповідає третьому стану, змінює своє значення з 0 на 1 (інші встановлюються в нуль).

Умовою переходу № 5 на рис. 3 є відсутність проходження максимального екстремуму залежності потужності від кута обертання панелі у вертикальній площині. Дією є пошук максимального екстремуму залежності потужності від кута обертання панелі у вертикальній площині. Алгоритм пошуку такий самий, як у стані II, тільки додана процедура перевірки проходження зеніту. Якщо на двох ітераціях поспіль за переміщення панелі фіксується зменшення потужності, відбувається зміна напрямку переміщення панелі з пошуком максимального екстремуму.

Умовою переходу № 6 є визначення екстремуму залежності потужності від кута обертання панелі у вертикальній площині. При цьому змінна, яка відповідає першому стану, змінює своє значення з 0 на 1 (інші встановлюються в нуль).

Для реалізації запропонованого алгоритму автоматичного керування положенням сонячної панелі в застосунку Simulink пакету MATLAB як складова частина імітаційної моделі системи керування розроблена підсистема (модель системи керування поворотним механізмом на

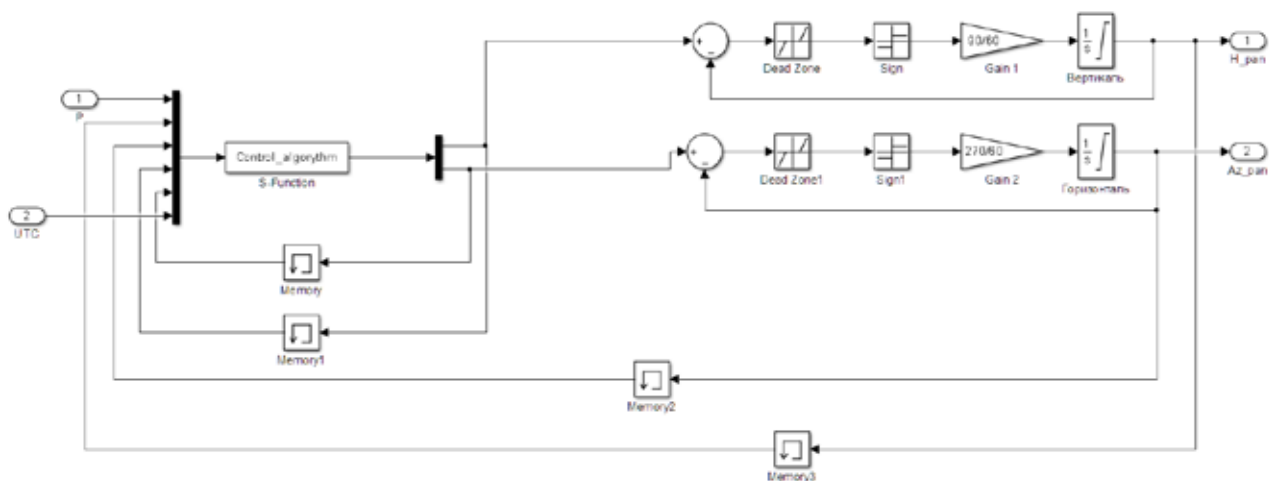


Рис. 4. Схема підсистеми, що реалізує алгоритм автоматичного керування положенням сонячної фотоелектричної установки

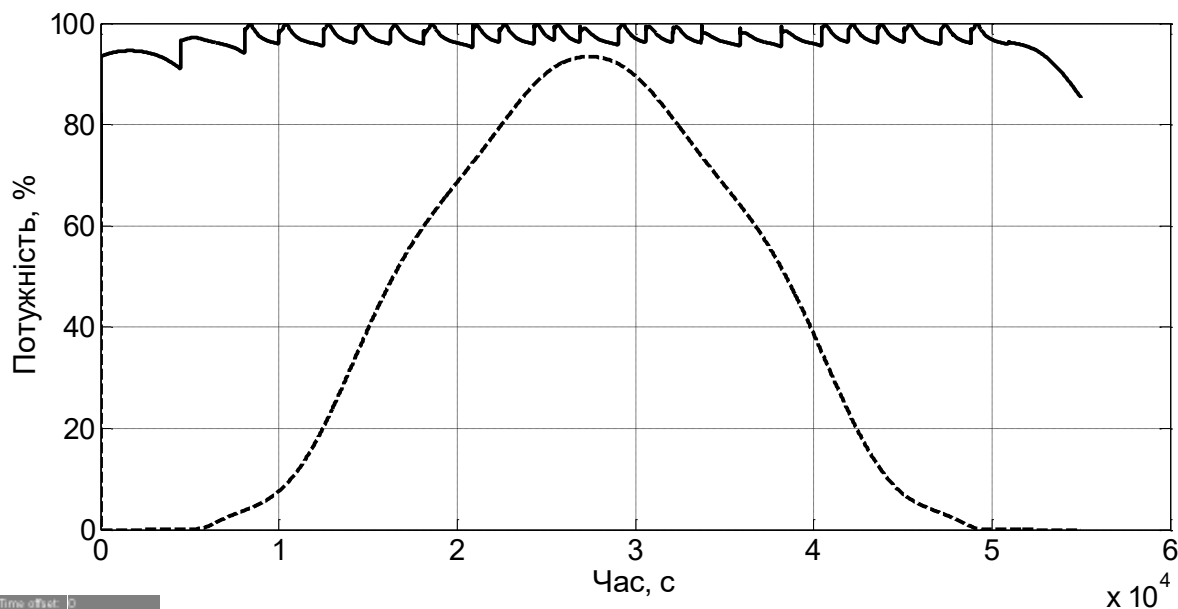


Рис. 5. Зміна у часі потужності, генерованої сонячною фотоелектричною установкою: пунктирна лінія – нерухоме положення панелі; суцільна лінія – рухоме положення панелі (без хмарності)

рис. 1). Схему всередині цієї підсистеми наведено на рис. 4.

У правій частині схеми на рис. 4 реалізовані моделі локальних систем автоматичного керування кутами обертання панелі в горизонтальній і вертикальній площинах.

Враховані технічні характеристики приводів механізму переміщення сонячної установки (повний хід за 1 хв). Фактично модель привода механізму переміщення представлена інтегратором. Тобто не враховані дуже малі інерційності приводів (постійна часу близько 0,1 с). Регулятор у цих локальних моделях реалізований за допомогою блоків Dead Zone та Sign. Через мертву зону маємо

статичну похибку 0,01 град., яка не впливає на якість автоматичного керування положенням панелі.

Запропонований алгоритм автоматичного керування положенням панелі реалізовано на основі s-функції Control\_algorithm.

Далі проведено дослідження ефективності запропонованого алгоритму автоматичного керування положенням сонячної панелі за допомогою розробленої імітаційної моделі системи керування.

Зокрема, проведено моделювання роботи сонячної установки, коли положення панелі визначається за запропонованим алгоритмом (рис. 5).

Результати моделювання на рис. 5 наведені для сонячного дня, коли сонце не закривається хмарами.

З рис. 5 можна зробити висновок про ефективність запропонованого алгоритму: потужність змінюється у вузькому діапазоні поблизу свого максимального значення 100%. Коливання потужності зумовлені встановленим діапазоном  $\pm 2,5\%$ , коли сонячна панель залишається нерухомою. Коригування положення панелі відбувається за умови виходу потужності із цього діапазону.

Взагалі ширина цього діапазону, який фактично визначає період коригування положення сонячної панелі в часі, має бути обґрунтована, а її вплив на кількість електроенергії, згенерованої панеллю за одиницю часу, має бути додатково досліджена. З одного боку, чим менша ширина цього діапазону, тим менша буде амплітуда коливання потужності та більше її середнє значення. Отже, збільшиться кількість згенерованої електроенергії. З іншого боку, це призведе до більш частих рухів панелі та збільшення електроенергії, яка витрачається приводами механізму переміщення сонячної установки. Тож має бути певний оптимум за шириною діапазону, що визначає частоту коригувань положення панелі.

Таким чином, запропонований алгоритм автоматичного керування підтвердив свою ефективність для випадку безхмарного дня.

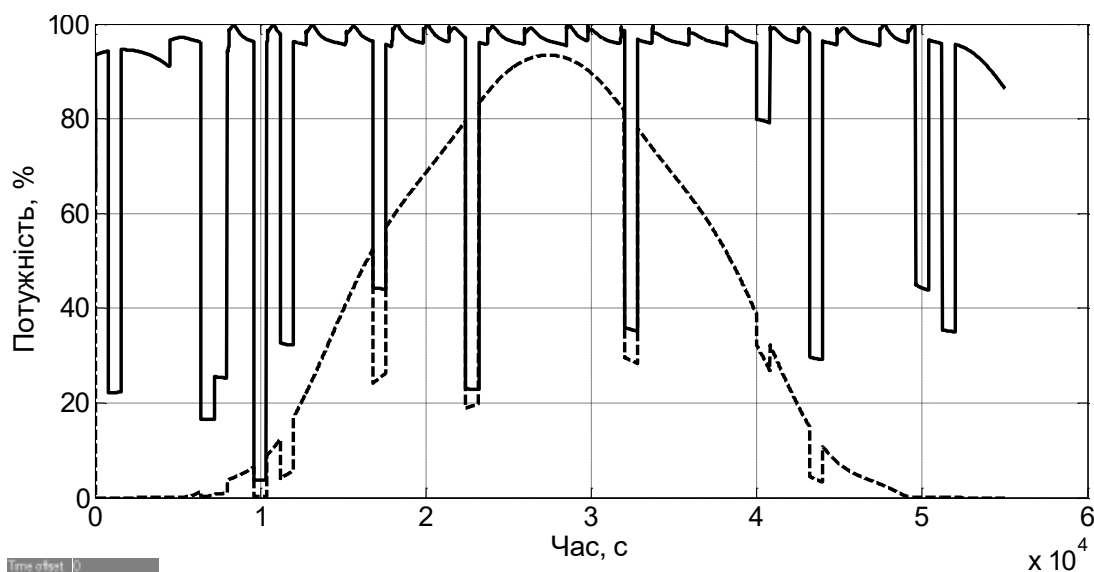
Далі проведено моделювання роботи сонячної фотоелектричної установки за умови

використання запропонованого алгоритму керування положенням панелі для випадку хмарного дня. Закриття сонця хмарами імітовано шляхом випадкової зміни як величини зменшення потужності, так і тривалості цього зменшення. На рис. 6 періодичні моменти закриття сонця хмарами чітко простежуються.

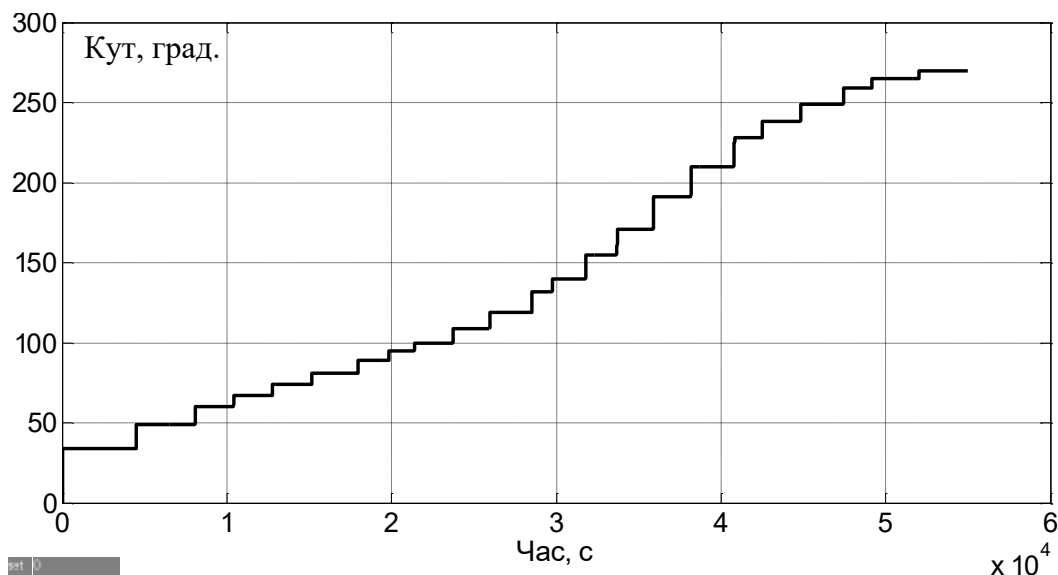
З рис. 6 можна зробити висновок, що запропонований алгоритм автоматичного керування положенням сонячної панелі залишається таким же ефективним і для випадку хмарної погоди.

З рис. 6 також можна відслідкувати, що після провалів потужності через перекриття сонця хмарами потужність після цього повертається до діапазону зміни значень 97–100% і не виходить з нього, доки не настане наступне затьмарення сонця. Це означає, що алгоритм після паузи, що виникає через затьмарення сонця, продовжує працювати коректно. Наявність провалів потужності через закриття сонця хмарами не призводить до збою запропонованого алгоритму.

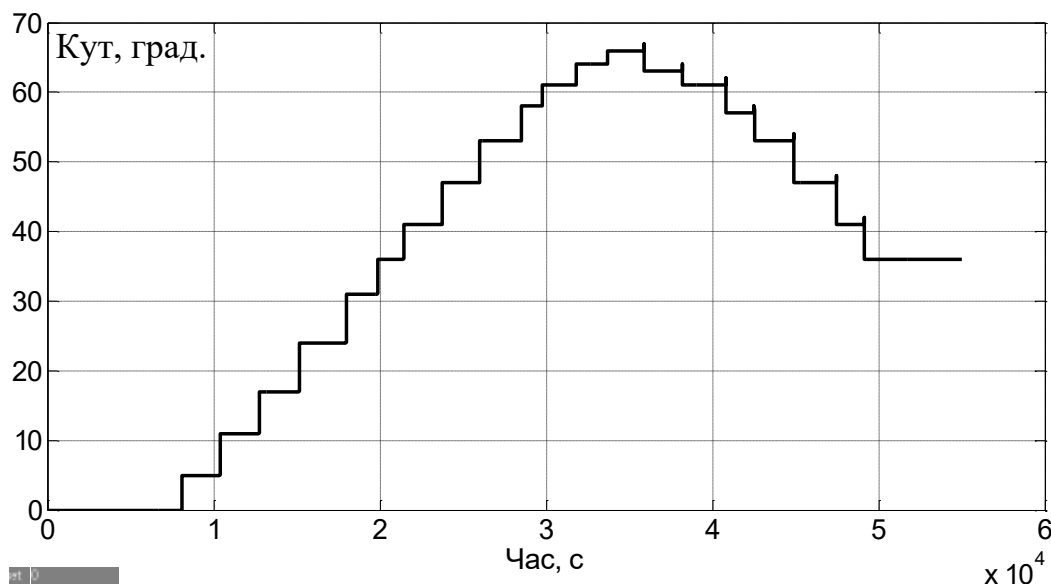
Це підтверджують також рис. 7 і 8. Як бачимо, фактично характеристики на цих рисунках відображають зміну положення сонця в часі, і це логічно, оскільки, згідно із запропонованим алгоритмом, панель постійно «йде» за сонцем, повторюючи його траєкторію руху в небі, щоб його промені падали на поверхню панелі під кутом, близьким до 90 градусів. Єдина відмінність – за умови хмарної погоди збільшилися



**Рис. 6.** Зміна в часі потужності, генерованої сонячною фотоелектричною установкою: пунктирна лінія – нерухоме положення панелі; суцільна лінія – рухоме положення панелі (за наявності хмарності)



**Рис. 7. Зміна в часі кута обертання панелі в горизонтальній площині (за наявності хмарності)**



**Рис. 8. Зміна в часі кута обертання панелі в вертикальній площині (за наявності хмарності)**

періоди коригування положення панелі (періоди зміни кутів), що також цілком логічно, оскільки через закриття сонця хмарами не завжди виходить коригувати положення панелі вчасно, коли потужність виходить із діапазону зміни значень  $\pm 2,5\%$ .

#### **Висновки**

1. Розроблена модель сонячної фотоелектричної установки як об'єкта автоматизації. Вхідними величинами моделі є кути обертання сонячної панелі, а вихідною величиною – потужність, генерована панеллю. При цьому збуренням є постійна зміна максимального екстремуму залежностей потужності від кутів

обертання панелі через постійне переміщення Сонця. В основі моделі закладені відомі астрономічні закони, які дають змогу визначати положення Сонця відносно Землі та розраховувати кут падіння сонячних променів на поверхню землі.

2. У роботі вперше запропонований алгоритм автоматичного керування положенням сонячної панелі за критерієм забезпечення максимальної потужності, генерованої панеллю, протягом усього дня. На відміну від відомих трекерних систем, у запропонованому алгоритмі не визначається кут нахилу сонячних променів відносно поверхні Землі залежно від астрономічного



часу, геолокації тощо, а відбувається періодичний пошук максимального екстремуму потужності у функції кута обертання спочатку в горизонтальній площині, а потім у вертикальній. Таким чином, сонячна панель фактично сама є давачем, що дає змогу забезпечити зворотний зв'язок у системі керування через замірювання потужності в умовах незмінного навантаження.

3. Дослідження роботи сонячної фотоелектричної установки за допомогою розробленої

імітаційної моделі системи автоматичного керування дало змогу підтвердити ефективність запропонованого алгоритму автоматичного керування положенням сонячної панелі. Як у сонячний день, так і в хмарну погоду потужність, генерована панеллю, змінювалась у вузькому діапазоні значень 97–100%, а характер зміни кутів обертання панелі в горизонтальній і вертикальній площинах повторював траєкторію руху сонця в небі.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Савчук Є. В. Перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні. *WORLD SCIENCE*. 2019. Режим доступу: <https://rsglobal.pl/index.php/ws/article/download/182/174/> (дата звернення: 21.01.2024).
2. Данко В. М., Смутко С. В., Поліщук О. С. Розробка конструкції трекерної системи для сонячних панелей. *Herald of Khmelnytskyi national university*. 2017. Режим доступу: <http://surl.li/npplt> (дата звернення: 21.01.2024).
3. Даффет-Сміт П. (1982) Практична астрономія з калькулятором. 176 с.
4. Торопцев Г. (2019). Автоматизація процесу керування сонячною фотоелектричною установкою. Національний технічний університет «Дніпровська політехніка». 71 с.

#### REFERENCES:

1. Savchuk, Ye.V. (2019). Perspektyvy rozvytku soniachnoi enerhetyky v Ukraini [Prospects for the development of solar energy in Ukraine]. *WORLD SCIENCE*. URL: <https://rsglobal.pl/index.php/ws/article/download/182/174/> [in Ukrainian].
2. Danko, V.M., Smutko, S.V., Polishchuk, O.S. (2017). Rozrobka konstruktsii trekernoi systemy dlia soniachnykh panelei [Development of the design of the tracker system for solar panels]. *Herald of Khmelnytskyi National University*. URL: <http://surl.li/npplt> [in Ukrainian].
3. Daffet-Smit, P. (1982). Praktychna astronomiia z kalkuliatorom [Practical astronomy with a calculator]. 176 p.
4. Toroptsev, H. (2019). Avtomatyzatsiia protsesu keruvannia soniachnoiu fotoelektrychnoiu ustanovkoiu [Automation of the process of controlling a solar photovoltaic installation]. *Natsionalnyi tekhnichniy universytet «Dniprovska politekhnika»*. 71 p.