

Хмельницький національний університет  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр  
Освітній рівень

Програмно-технічний засіб відслідковування положення сонця

Назва теми

КвРКІ.180118.18.01.15 ПЗ  
Шифр

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»  
Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»  
Шифр, назва

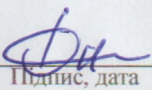
Освітня програма «Комп'ютерна інженерія»  
Назва

Виконав: студент IV курсу, група КІ-18-1

  
Підпис

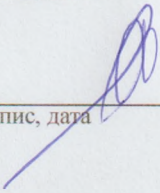
Н. Р. Смоленюк  
Ініціали, прізвище

Керівник

  
Підпис, дата

М. В. Федула  
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

С.М. Лисенко  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри комп'ютерної  
інженерії та інформаційних  
систем

  
Підпис

Т.О. Говорущенко  
Ініціали, прізвище

«     » червня 2022 р.

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Освітній рівень БАКАЛАВР

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма ОСВІТНЯ ПРОГРАМА «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорущенко

“ 11 ” 01 2022 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Смоленюку Назарію Руслановичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Програмно-технічний засіб відслідковування положення сонця

Керівник проекту (роботи) Федула М.В., к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 06.01.2022 р. № 1

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 07.06.2022 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на дипломне проектування

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) \_\_\_\_\_

Огляд літератури з питань керування рухом сонячних панелей за різними критеріями

Аналіз методів дослідження енергоефективності функціонування сонячних панелей

Розробка системи позиціонування сонячних панелей

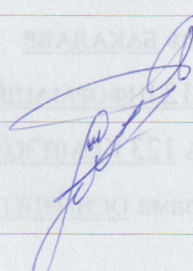
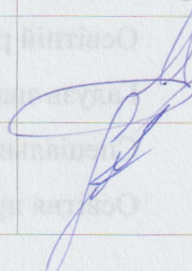
5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) \_\_\_\_\_

Креслення 1 – «блок-схема алгоритму корекції траєкторії стеження» та «Блок-схема алгоритму стеження за сонцем»

Креслення 2 – «Динамічні характеристики при переміщенні на 1, 2, 3 градуси»

Креслення 2 – «Діаграми контрольованих перемінних»

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

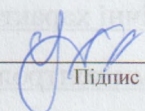
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КПП		
Антиплагіат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КПП		

7. Дата видачі завдання « 06 » 09 2021 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

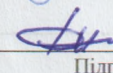
№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	11.01.2022	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2022	виконано
3	Робота над розділом 1 – Огляд літератури з питань керування рухом сонячних панелей за різними критеріями	01.03.2022	виконано
4	Робота над розділом 2 – Аналіз методів дослідження функціонування сонячних панелей	01.04.2022	виконано
5	Робота над розділом 3 – Розробка системи позиціонування сонячних панелей	30.04.2022	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	31.05.2022	виконано
7	Попередній захист ВКР	02.06.2022	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2021 року	

Студент

  
Підпис

Н.Р. Смоленюк  
Ініціали, прізвище

Керівник проекту (роботи)

  
Підпис

М.В. Федула  
Ініціали, прізвище



## АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Програмно-технічний засіб відслідковування положення сонця».

Автор роботи: Смоленюк Назарій Русланович.

Керівник роботи: Федула Микола Васильович.

Пояснювальна записка: 66 с., 34 рис., 9 табл., 4 дод., 18 джерел.

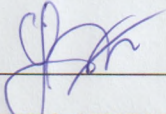
Графічна частина: 10 презентаційних слайдів.

Ключові слова: сонячна батарея, сонячний трекер, енергоефективність, системи стеження, слідкуючий електропривод.

Метою роботи є розробка програмно-технічного засобу відслідковування положення сонця.

У цій роботі було вирішено завдання по підвищенню енергетичної ефективності технологічного процесу виробництва електричної енергії автономною фотоелектричною енергоустановкою (АФЕУ). Підвищено енергетичну ефективність виробництва електричної енергії в АФЕУ шляхом розробки автоматизованої системи управління (АСУ) стеження СБ за Сонцем з безперервно-дискретним принципом стеження, який дозволив реалізувати максимальну ефективність виробництва енергії за рахунок забезпечення заданої точності стеження при мінімізації витрат електричної енергії під час стеження за Сонцем.



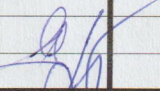
Ключові слова: сонячна батарея, сонячний трекер, енергоефективність, системи стеження, слідкуючий електропривод.

  
Підпис студента

09.06.2022  
Дата

## ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ .....	4
ВСТУП .....	5
1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ З ПИТАНЬ КЕРУВАННЯ РУХОМ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ЗА РІЗНИМИ КРИТЕРІЯМИ .....	8
1.1 Призначення і область застосування слідкуючих електроприводів .....	8
1.2 Огляд систем управління актуаторами трекерів .....	10
1.2.1 Управління за допомогою декількох фотоприймачів.....	10
1.2.2 Управління згідно азимутальних і зенітних кутів.....	12
1.2.3 Управління за програмою розрахунку місця розташування Сонця	13
1.2.4 Механізми повороту і нахилу батарей в залежності від напрямку сонячних променів.....	13
1.3 Огляд існуючих фотоелектричних енергоустановок спостереження за Сонцем .....	14
1.4 Датчики положення Сонця для керування рухом автономних фотоелектричних енергетичних установок.....	20
1.5 Вплив вітрового навантаження на автономну фотоелектричну енергетичну установку .....	23
1.6 Вимоги до систем стеження автономних фотоелектричних енергетичних установок як об'єкта АСУТП і основні напрямки дослідження .....	27
1.7 Висновки до першого розділу .....	31
2. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.....	32
2.1 Дослідження функціональної та структурної схеми системи стеження сонячних батарей за Сонцем.....	32
2.2 Дослідження та розробка алгоритму стеження сонячних батарей за Сонцем з використанням датчика положення Сонця .....	41

КвРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ						
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		
Виконав		Смоленок Н.Р.			Програмно-технічний засіб відслідковування положення сонця Пояснювальна записка	
Перевір.		Федула М.В.				
Н.контр.		Лисенко С.М.			Літера	
Затвер.		Говорушенко Т.О.			Аркуш	Аркушів
					2	62
					ХНУ, КІ-18-1	

2.3	Мінімізація енергоспоживання електромеханічним виконавчим механізмом в позиційній системі стеження сонячних батарей за Сонцем.....	44
2.4	Визначення добової сумарної споживаної енергії виконавчим механізмом з КД установки АФЕУ .....	47
2.5	Висновки до другого розділу.....	48
3.	РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ .....	50
3.1	Розробка алгоритму функціонування системи .....	50
3.2	Аналіз структур й математичне забезпечення слідкуючих систем.....	50
3.3	Система управління положенням в режимі стеження.....	54
3.4	Вибір системи електроприводу й моделювання режимів роботи пристрою стеження за траєкторією руху Сонця.....	56
3.5	Висновки до третього розділу .....	59
	ВИСНОВКИ.....	60
	ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	61
	Додаток А копії креслень «Блок-схема алгоритму корекції траєкторії стеження» та «Блок-схема алгоритму стеження за сонцем».....	63
	Додаток Б копії креслень «Динамічні характеристики при переміщенні на 1, 2, 3 градуси» .....	64
	Додаток В копії креслень «Діаграми контрольованих перемінних».....	65
	Додаток Г «Лістинг системи <i>MATLAB</i> ».....	66
	Додаток Д «Автономна фотоелектрична енергоустановка (АФЕУ)» .....	67

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

АСУ – автоматизована система управління

АСУ ТП – автоматизована система управління технологічним процесом

АФЕУ – автономна фотоелектрична енергоустановка

АЦП – аналого-цифровий перетворювач

БДПС – блок датчика положення Сонця

ВДЕ – відновлювальні джерела енергії

ВМ – виконавчий механізм

ДВН – датчик вітрового навантаження

ДКД – драйвер крокового двигуна

ДПР – датчик положення ротора

ДПС – датчик положення Сонця

ЕОМ – електронна обчислювальна машина

ЕРС – електрорушійна сила

ЗП – задаючий пристрій

КД – кроковий двигун

КСС – контролер стеження за Сонцем

ККД – коефіцієнт корисної дії

ОУ – об'єкт управління

ПЗ – програмне забезпечення

РП – регулюючий пристрій

СБ – сонячна батарея

САУ – систему автоматичного управління

СЕС – сонячна електростанція

СФЕС – сонячна фотоелектрична станція

					КвРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		4

## ВСТУП

В даний час у зв'язку з багатьма факторами, такими як виснаження енергоресурсів, збільшення їх вартості та загальний негативний вплив традиційної енергетики на навколишнє середовище, все більш гостро постає питання про знаходження нових, чистих та відновлюваних джерел енергії.

В області відновлюваних джерел енергії одним із найперспективніших напрямків є сонячна енергетика, оскільки сонячна енергія найбільш поширена і є невичерпною.

Основним недоліком енергоустановок із сонячними батареями, особливо автономних фотоелектричних енергоустановок, є низький коефіцієнт корисної дії (ККД). Для більш ефективного використання сонячних батарей (СБ) у сонячних енергетичних установках застосовують різні методи підвищення їхньої енергетичної ефективності:

- Використання фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) з поліпшеними технічними характеристиками (підвищеним коефіцієнтом корисної дії);
- Наявність системи безперервного автоматичного відстежування сонячних батарей за Сонцем;
- Наявність системи регулювання максимуму потужності за вольтамперною характеристикою сонячної батареї;

Наявність системи автоматичного стеження сонячних батарей за Сонцем може забезпечити значне підвищення енергетичної ефективності автономних фотоелектричних енергетичних установок (АФЕУ).

Метою та задачею дослідження є підвищення рівня енергетичної ефективності технологічного процесу виробництва електричної енергії АФЕУ шляхом розробки автоматизованої системи управління (АСУ), яка забезпечує за рахунок стеження за Сонцем максимальну енергетичну ефективність сонячних батарей при мінімізації енергоспоживання і управління при врахуванні сторонніх впливів, в тому числі вітрового навантаження.

Для реалізації поставленої мети визначені наступні задачі дослідження:

					КвРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		5

– аналіз конструкцій наземних фотоелектричних енергоустановок, систем автоматизованого управління режимом стеження сонячних батарей за Сонцем, застосованих електромеханічних виконавчих механізмів, датчиків положення Сонця (ДПС);

– формування вимог до АСУ стеження АФЕУ за Сонцем з метою підвищення їх енергетичної ефективності та аналіз принципів роботи рухомих фотоелектричних систем;

– розробка математичної моделі одноконтурного стежучого електроприводу сонячної фотоелектричної станції та системи управління зі змінною структурою стежучого електроприводу СФЕС;

– дослідження та розробка структурної, функціональної схеми і алгоритмів керування АСУ стеження фотоелектричних енергоустановок за Сонцем з двокоординатними електромеханічними виконавчими механізмами;

– забезпечення заданої точності спостереження при мінімізації споживання електричної енергії двокоординатними електромеханічними виконавчими механізмами під час стеження за Сонцем, з урахуванням змін поточної освітленості або випадкового навантаження.

При проектуванні та створенні автономної фотоелектричної енергетичної установки має вирішуватись завдання забезпечення максимального вироблення електричної енергії СБ шляхом розробки автоматизованої системи управління технологічним процесом (АСУТП) виробництва електричної енергії АФЕУ.

Це можливо за допомогою високоефективного керування фотоелектричною установкою, для чого потрібна розробка АСУ стеження СБ за Сонцем та екстремального регулятора заряду акумуляторної батареї.

АСУ стеження за Сонцем має забезпечувати:

- максимальний відбір потужності з одиниці площі сонячної батареї;
- мінімальне споживання потужності електромеханічними виконавчими механізмами під час стеження за Сонцем;
- зміна положення рами з СБ до АФЕУ при надходженні зовнішніх сигналів.

					КвРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		6

У цій роботі поставлено та вирішено завдання підвищення енергетичної ефективності АФЕУ за рахунок зменшення витрат енергії на процес стеження та управління не менше ніж на 30%. Це відбувається шляхом реалізації АСУ стеження з безперервно-дискретним автоматичним стеженням СБ за Сонцем при мінімізації споживаної енергії електромеханічними виконавчими механізмами системи стеження.

Завдання системи у даному випадку – це створення високоефективного (з погляду енергетичної ефективності АФЕУ) управління процесом стеження фотоелектричних енергетичних установок за Сонцем з урахуванням особливостей об'єкта управління, впливу зовнішніх навантажень, забезпечення максимальної енергетичної ефективності при мінімізації витрат енергії на стеження за Сонцем та реалізації передачі управління системою АФЕУ людині (оператору) в аварійних та пуско-налагоджувальних режимах (реалізація людино-машинної системи).

Предметом дослідження є підвищення рівня енергетичної ефективності АФЕУ за рахунок зменшення витрат енергії, шляхом реалізації АСУ з автоматичним стеженням СБ за Сонцем зменшуючи споживану енергію електромеханічними виконавчими механізмами системи стеження.

Методи дослідження базуються на загальних положеннях теорії електричних ланцюгів, теорії автоматичного управління, обчислювальних методах і використанні сучасних інструментальних систем і методів математичного моделювання MATLAB (Simulink). Перевірка основних теоретичних положень здійснювалася шляхом математичного моделювання.

Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та висновків роботи підтверджується порівнянням розрахункових даних з результатами моделювання та фізичного експерименту.

					КвРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		7

# 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ З ПИТАНЬ КЕРУВАННЯ РУХОМ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ЗА РІЗНИМИ КРИТЕРІЯМИ

## 1.1 Призначення і область застосування слідкуючих електроприводів

Після початку використання сонячних батарей для виробництва електроенергії в промислових масштабах інженери і проектувальники стали шукати способи підвищення ефективності таких електростанцій. Загальна дисперсія світла Сонця, яка визначається зміною напрямку падіння сонячних променів на панелі, не дозволяла раціонально використовувати сонячні батареї протягом усього світлового дня. Виходом з такої ситуації стало встановлення сонячних панелей на рухомому підставі, підключеному до системи стеження за траєкторією переміщення Сонця.

Для отримання максимальної потужності від сонячних батарей необхідно, щоб сонячні промені потрапляли на площину батарей перпендикулярно. При такому напрямку променів ККД сонячних батарей може досягати 50–55%. Для стаціонарно встановлених батарей цей показник може знижуватися до 10–15% через зміну кута падіння сонячних променів.

Освітленість сонячних батарей повинна підтримуватися на оптимальному рівні. Для підтримання цього рівня розроблені різноманітні системи спостереження – від найпростіших аналогових до аналогово-цифрових.

Слідкуючі електроприводи або системи управління положенням представляють собою замкнуті електроприводи, керуючі переміщенням і забезпечуючи стабілізацію положення об'єкта регулювання відносно деякої базової системи координат.

При цьому регульована величина (положення об'єкту) з тим або іншим ступенем точності повинна відповідати прикладеному до системи керуючому впливу. Слідкуючі електроприводи можуть забезпечувати як лінійне, так і кутове переміщення регульованого об'єкта. Наприклад, це може бути система наведення сонячної батареї.

					КвРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		8

Система стеження за сонцем – це пристрій для орієнтування панелі сонячних батарей або для утримання сонячного відбивача поверненим до Сонця. Відомо, що максимальна енергія може бути прийнята фотоелектричним модулем від сонця при умові розташування панелі фотоелементів перпендикулярно до напрямку сонячного випромінювання. Навіть невеликі відхилення (від 5 до 15 градусів) відносно перпендикулярної орієнтації можуть призводити до зменшення генерованої потужності на 25 відсотків або більше.

Таким чином для отримання високої ефективності відбору енергії від фотоелектричного модуля необхідною є реалізація програмно-технічного засобу відслідковування положення сонця, який забезпечить постійну підтримку кута між поверхнею ФМ та напрямом сонячного випромінювання, максимально близького до 90 градусів.

На рисунку 1.1 схематично зображено процес відслідковування положення сонця з підтримкою кута 90 градусів та показано три оптимальні положення фотоелектричного модуля для різного часу доби. Стрілками показано напрям руху сонця.

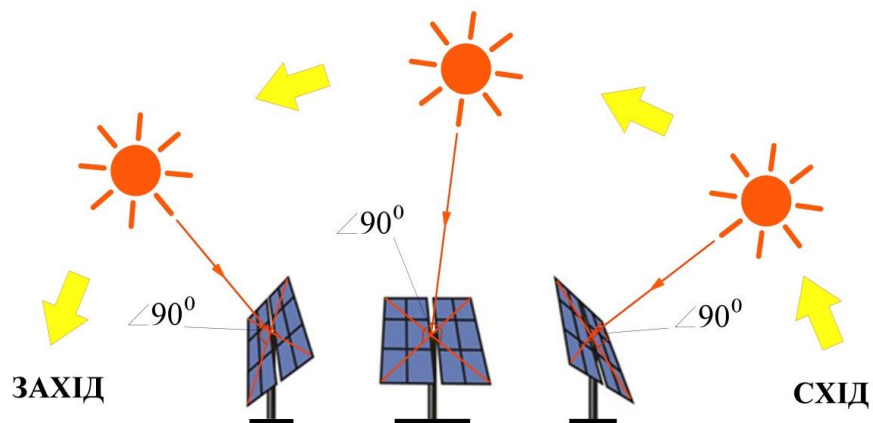


Рисунок 1.1 – Процес відстежування положення сонця

Для досягнення максимальної продуктивності робочих поверхонь систем необхідна їх точна орієнтація до Сонця. Завдання відстежувального пристрою (трекера) – зменшити кут падіння сонця на робочу поверхню сонячних батарей. Положення рухомої частини трекера можна змінювати за допомогою ручного приводу або за допомогою так званих приводів-пристроїв, виготовлених на

					КвРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		9

електродвигунах. Таким чином, трекер задає кути нахилу робочої поверхні приладів, орієнтуючи її строго по Сонцю. Іншими словами, сонячні промені повинні падати перпендикулярно площині сонячної панелі.

Трекери можуть бути реалізовані на основі різних принципів:

- одноосьові трекери, що мають один ступінь свободи, яким є вісь обертання. Такі трекери поділяються на горизонтальні, вертикальні та похилі;
- трекери з горизонтальною віссю. Їх вісь обертання орієнтована горизонтально відносно землі. Такі пристрої забезпечують високу ефективність у весняно-літній період, коли сонце стоїть високо на небі;
- трекери з вертикальною віссю. Вісь обертання орієнтована вертикально відносно землі. Ці трекери обертаються зі сходу на захід протягом дня. Вертикальні одноосьові системи обертаються тільки навколо вертикальної осі, панелі закріплені вертикально під фіксованим, регульованим кутом;
- трекери з однією похилою віссю обертання. Це все трекери з осями обертання між горизонтальною та вертикальною;
- трекери з двома осями обертання мають два ступені свободи, які виконують роль осей обертання. Як правило, ці осі не з'єднані між собою, а працюють разом. Головна вісь закріплена відносно землі. Іншу вісь можна вважати другорядною, і навпаки.

За різними оцінками експертів, ефективність сонячних панелей зростає до 60%, якщо їх повертати за сонцем за допомогою систем сонячного моніторингу.

Загалом пристрій для відстеження руху Сонця складається з двох основних частин: схеми управління, яка визначає положення Сонця та механізмів повороту та нахилу батареї залежно від напрямку сонячного світла.

## 1.2 Огляд систем управління актуаторами трекерів

### 1.2.1 Управління за допомогою декількох фотоприймачів

Такий пристрій має два або більше фотодіодів. При русі сонця освітленість фотодіодів стає різною, пристрій аналізує освітленість і передає керуючі сигнали

					КвРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		10

на актуатори до моменту, коли потік світла на всіх фотоелементах буде однаковий. При цьому, електродвигун повертає сонячну батарею із заходу на схід.

Загальна схема трекера на фотоелементах наведена на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Трекер на фотоелементах

Протягом дня платформа з сонячною батареєю буде повертатися слідом за рухом сонця. З настанням сутінків система перейде в режим очікування. Принципові схеми таких пристроїв нескладні та недорогі. Але у них є один істотний недолік: у похмуру погоду і забрудненні фотоприймачів працездатність системи погіршується.

Найпростіша типова схема пристрою стеження за рухом сонця (SolarTracker) наведена на рис. 1.3.

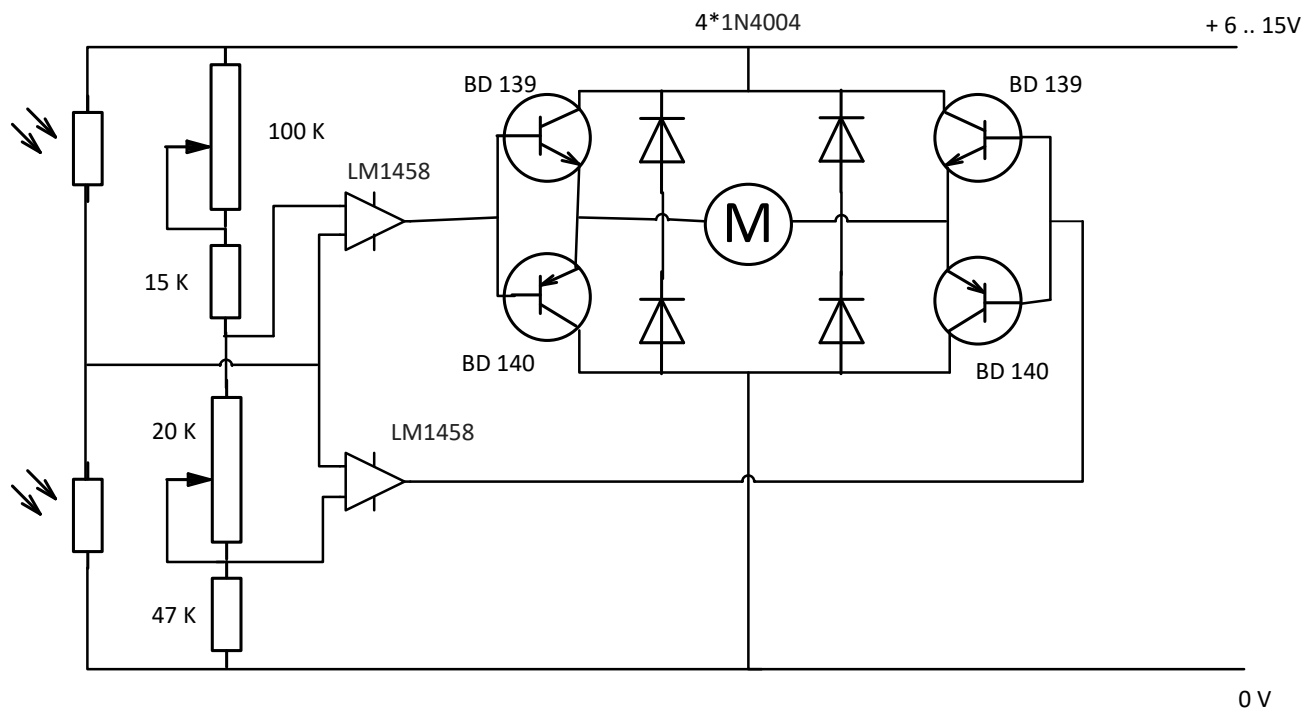


Рисунок 1.3 – Схема пристрою стеження на фоторезисторах

Для визначення позиції Сонця, використовуються два фоторезистори.

В склад схеми трекера входять:

- електричний двигун актуатора М;
- мікросхема операційного підсилювача LM1458 (К140УД20);
- транзистори BD139 (КТ815Г, КТ961А) і BD140 (КТ814Г,КТ626В);
- фоторезистори LDR;
- діоди 1N4004 (КД243Г);
- прості й підстроювальні резистори.

### 1.2.2 Управління згідно азимутальних і зенітних кутів

Ідея роботи таких пристроїв заснована на тому, що для правильного позиціонування сонячних панелей, потрібно компенсувати два переміщення Землі:

- добове переміщення, пов'язане з обертання Землі навколо своєї осі;
- річне переміщення, пов'язане з обертання Землі навколо Сонця.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

До складу такого пристрою входить таймер. Актуатори починають свою роботу з добовою програмою таймера (при бажанні, і з річною програмою). Але точність орієнтації за допомогою таких пристроїв невелика, так як Сонце протягом року постійно змінює час, місце сходу і заходу, зенітний кут.

### 1.2.3 Управління за програмою розрахунку місця розташування Сонця

Такий спосіб можна вважати найбільш ефективним. За внутрішнім годинником пристрою програма видає інформацію про значення азимута і зенітного кута (рис. 1.4) на блок управління. При цьому обов'язково буде враховуватися місце розташування трекера, тобто такі параметри як широта, довгота і висота над рівнем моря. Після цього розраховується нове (необхідне) положення трекера і проводиться його переорієнтація.

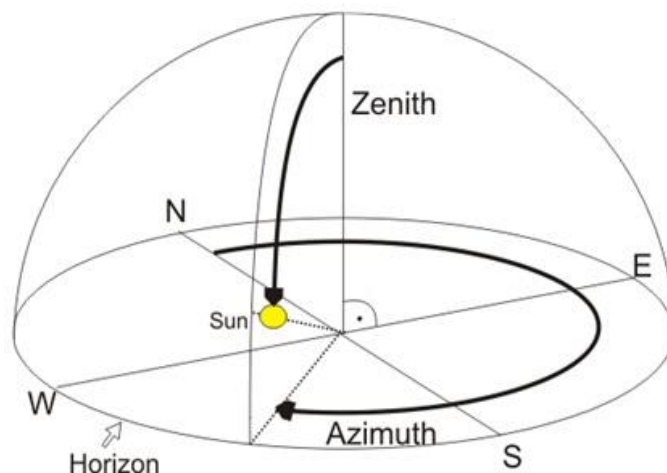


Рисунок 1.4 – Схема визначення положення сонця за азимутом і зенітним кутом

### 1.2.4 Механізми повороту і нахилу батарей в залежності від напрямку сонячних променів

Механізм нахилу дозволяє використовувати такі системи стеження в будь-яких географічних широтах: при встановленні сонячних батарей в місцевості, яка відповідає 320 градусам північної широти, вісь пристрою повинна бути повернена на 320 градусів по відношенню до горизонту.

Приводи всіх механізмів системи стеження будуються на базі електродвигунів, на які і впливає система управління. Живлення електродвигунів і системи управління здійснюється від самих сонячних батарей, тому такі установки автономні.

Таким чином, схема і пристрій сонячного трекера досить прості. Природно, що в промислових масштабах використовують більш складні системи, однак подібну схему можна зібрати самостійно для побутової установки з виробництва електроенергії на основі сонячних батарей.

Інформаційна мережа містить не малу кількість готових схем і рішень з систем стеження за Сонцем. Так що, якщо виникла потреба удосконалити конструкцію сонячних батарей і підвищити їх продуктивність, завжди є можливість зробити це самостійно.

### 1.3 Огляд існуючих фотоелектричних енергоустановок спостереження за Сонцем

Основний напрямок підвищення енергетичної ефективності АСУТП вироблення електричної енергії АФЕУ – це створення та використання двокоординатної системи стеження АФЕУ за Сонцем, яка забезпечує підвищення енергетичної ефективності не менше ніж на 30–50% порівняно з енергетичними установками, що не мають систем стеження за Сонцем.

На сьогодні виробництвом фотоелектричних електростанцій на сонячних батареях займається ряд відомих компаній: DITRAS (Україна), Altek (Україна), Sunpower (США), First Solar (США), Konza Portable Solar Trackers (США), Sunpower20 Tracker (США), Merlin Power Systems (США), Eco-Smart (США), Canadian Solar (Канада), Gintech (Китай), Yingli Green Energy (Китай), Motech (Тайвань), Titan Tracker (Іспанія), TRAXLE (Чехія) та інші.

На рисунку 1.5 наведено фотографію енергетичної установки фірми DITRAS. В установці фірми DITRAS використовується датчик положення Сонця та забезпечується точність стеження до 1 градуса. У системі передбачено можливість нарощування кількості СБ.

					КВРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		14

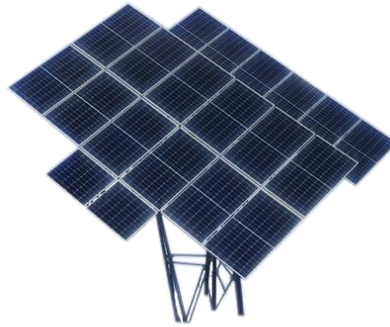


Рисунок 1.5 – Енергетична установка фірми DITRAS

На рисунку 1.6 наведено фотографії енергетичних установок фірми Altek. На установці можна розташувати сонячні батареї площею  $6\text{ м}^2$ . У системі стеження використовуються електроприводи постійного струму, контролер стеження та датчики положення Сонця. Точність стеження (наведення) 1 градус. При вазі СБ більше 50кг необхідно встановлювати противаги, що збільшує витрати енергії на стеження.

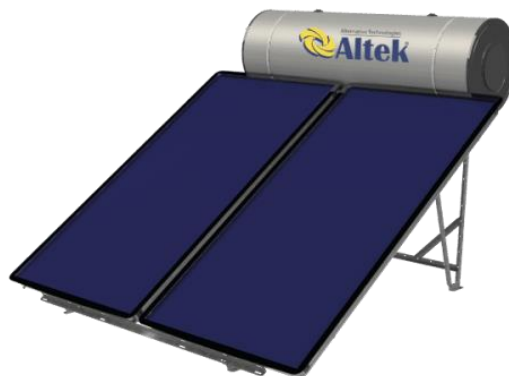


Рисунок 1.6 – Енергетична установка фірми Altek

Фірма Konza Portable Solar Trackers (США) займається випуском сонячних енергетичних установок, які можуть перевозитися на причепі. На рисунку 1.7 наведено фотографію енергетичної установки. Стеження здійснюється за датчиком положення Сонця.

					КВРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		15



Рисунок 1.7 – Енергетична установка фірми Konza Portable Solar Trackers

Фірма Merlin Power Systems (США) займається випуском сонячних енергетичних установок, що відрізняються тим, що вони мають підставу у вигляді регульованої по висоті триноги, що дозволяє легко встановлювати конструкцію в будь-яких умовах. Мобільність і швидке складання установки дозволяють задовольнити потреби військової техніки, використовувати у місцях стихійних лих. Установки можуть бути підключені паралельно або послідовно і використовуватися в гібридних системах. На рисунку 1.8 наведено фотографію сонячної енергоустановки фірми Merlin Power Systems.



Рисунок 1.8 – Енергетична установка фірми Merlin Power Systems

У компанії Eco-Smart (США) розроблено різні сонячні фотоелектричні установки. На рисунку 1.9 наведені фотографії використаних сонячних енергоустановок (одно- та двокоординатні системи стеження установок на Сонці). Типи використаних двигунів та датчиків положення Сонця не вказані.

					КвРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		16



Рисунок 1.9 – Енергетична установка фірми Eco-\$mart

На рисунку 1.10 наведено фотографію енергетичної установки фірми Titan Tracker (Іспанія). В установці Titan Tracker використовується велика кількість сонячних панелей загальною площею до близько 220м<sup>2</sup>. Спостереження ведеться по двох осях. Про мінімізацію енергоспоживання під час стеження не повідомляється, невідомий тип двигуна.



Рисунок 1.10 – Енергетична установка фірми Titan Tracker

У Малайзійському університеті (University Malaysia Sarawak (UNIMAS), Sarawak, Malaysia) розроблена сонячна установка з однією сонячною панеллю. На рисунку 1.11 наведено фотографію сонячної енергоустановки. В установці використовується система стеження, що містить лінійні механізми переміщення. Стеження здійснюється за заздалегідь заданою траєкторією. У системі використовують двигуни постійного струму.

					КвРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		17



Рисунок 1.11 – Енергетична установка University Malaysia Sarawak

У АФЕУ розрізняють конструкції на основі гетероструктурних фотоперетворювачів та концентраторів випромінювання (сонячних модулів), фотоелектричних панелей, фотоелектричних панелей в поєднанні з плоскими дзеркальними концентраторами та інші.

В таблиці 1.1 наведені технічні характеристики сонячних енергоустановок кількох фірм. Причому деякі важливі технічні характеристики сонячних енергоустановок не вказуються в технічній документації зарубіжних фірм. З проведеного аналізу технічних характеристик АФЕУ випливає, що при створенні АФЕУ використовуються різні типи двокоординатних електромеханічних виконавчих механізмів, в тому числі з двигунами постійного струму (ДПС), з двигунами змінного струму, з кроковими двигунами, з синхронно-реактивними двигунами, а також з лінійними двигунами. В якості силового перетворювача використовуються тиристорні і транзисторні перетворювачі, в тому числі перетворювачі з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) на польових або IGBT-транзисторах.

Для отримання хороших статичних і динамічних характеристик застосовують багатоконтурні системи управління з різними регуляторами положення, швидкості і струму. Для забезпечення високої точності стеження використовуються багато-розрядні датчики положення, високоточні датчики положення Сонця, а також багатодвигунні системи для компенсації люфта редуктора.

					КвРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		18

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики сонячних енергоустановок

Характеристика	Установка фірми Altek	Установка фірми DITRAS	Установка фірми Titan Tracker	Установка фірми TRAXLE
Кути переміщення по азимуту і по куту місця, град.	По азимуту – 180град.,  по куту місця – 70 град.	По азимуту – 360град.,  по куту місця – 90 град.	По азимуту – 360град.,  по куту місця – 75 град.	По азимуту – 360град.,  по куту місця – 90 град.
Тип виконавчого двигуна	Постійного струму	Не вказано	Не вказано	Постійного струму
Точність стеження, град.	1	1	0,01	Не вказано
Вихідна потужність, кВт; площа ФП, м <sup>2</sup>	Площа до 6 м <sup>2</sup>	Потужність 0,3 кВт, Площа 2 м <sup>2</sup>	Площа до 216 м <sup>2</sup>	Площа до 45 м <sup>2</sup>
Система стеження за Сонцем	Безперервна, по датчику положення Сонця	Безперервна, по датчику положення Сонця	Безперервна, по датчику положення Сонця	Не вказано

#### 1.4 Датчики положення Сонця для керування рухом автономних фотоелектричних енергетичних установок

В даний час для АСУ стеження розроблено велику кількість різноманітних датчиків положення Сонця, заснованих на різних принципах визначення положення Сонця, в тому числі щілинні сонячні датчики, датчики на ефекті Саньяка, геліотрекери різних конструктивних виконань, а також інші оригінальні пристрої та конструкції.

В якості чутливих щільових сонячних елементів датчиків використовуються кремнієві фотодіоди. Суть функціонування цих датчиків основана на порівнянні сигналів, що надходять з кожного фотодіода, які розташовані кожен у своїй щілині, і виявлення максимального сигналу (рисунок 1.12). Датчик розташований таким чином, що при переміщенні Сонця по екліптиці один з фотодіодів освітлений, а інші в цей час знаходяться в тіні, створеною перегородками.



Рисунок 1.12 – Щілинні сонячні датчики

Таким чином, сигнал з найбільш освітленого фотодіода буде максимальний, що являється системою управління і подається команда повороту СБ на кут, відповідний положенню цього фотодіода, тобто датчики формують релейні сигнали наявності Сонця в заданих полях огляду. Основними недоліками щілинних датчиків є висока вартість і складність конструкції, необхідність використання складної системи контролю і управління. Принцип дії оптичного гіроскопа оснований на ефекті Саньяка. По круговому оптичному шляху, завдяки розщеплення променя, світло поширюється у двох протилежних напрямках.

					КВРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		20

Якщо при цьому площина СБ перпендикулярна до променів Сонця, то обидва світлових променя поширюються зустрічно по оптичному шляху однакової довжини. Тому при додаванні променів в розщеплювачі по завершенні шляху немає фазового зсуву. Однак, коли Сонце переміщається з кутовою швидкістю, між світловими хвилями виникає різниця фаз. Це явище і називається ефектом Саньяка.

Геліотрекер дослівно можна перекласти як «відстежувач шляху Сонця». Завдання його бути постійно спрямованим на Сонце. Один з варіантів показаний на рисунку 1.13. Він складається з фотоприймача, контролера і виконавчого механізму у вигляді двох двигунів з редукторами, що повертають СБ і закріплений на ньому фотоприймач. Фотоприймач являє собою невелику плату і закріпленими на ній 4 фотодатчиками.

Всі фотодатчики розділені між собою хрестоподібною перегородкою. При орієнтації на Сонце висвітлені всі чотири фотодатчика.

Сонце в процесі свого руху по небосхилу змінює освітленість фотоприймача, тому 2 або 3 фотодатчика перебувають в тіні.

В алгоритмі роботи датчика всього 9 команд в залежності від положень фотоприймача.

Всі можливі варіанти освітлення датчиків представлені в таблицях 1.2 і 1.3.

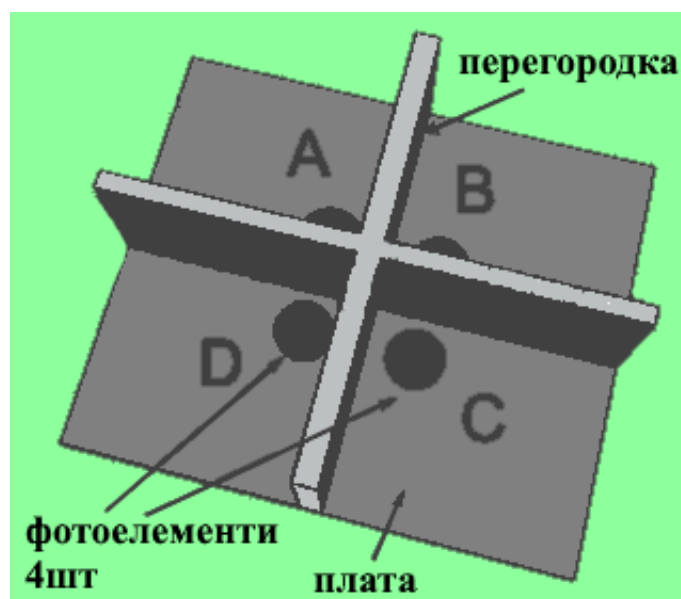


Рисунок 1.13 – Геліотрекер на фотоеlementах

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Таблиця 1.2 – Можливі варіанти освітлення датчиків для двокоординатної системи стеження

Датчик А	1	0	1	1	0
Датчик В	0	1	1	0	0
Датчик С	0	0	0	0	1
Датчик D	0	0	0	1	0
Примітка	Сонце вище з заходу	Сонце вище з сходу	Сонце вище	Сонце з заходу	Сонце нижче з сходу
Вертикальний рух	Вгору	Вгору	Вгору	Стоїть	Вниз
Горизонтальний рух	На захід	На схід	Стоїть	На захід	На схід

Таблиця 1.3 – Можливі варіанти освітлення датчиків для двокоординатної системи стеження

Датчик А	0	0	0	1
Датчик В	1	0	0	1
Датчик С	1	1	0	1
Датчик D	0	1	1	1
Примітка	Сонце з сходу	Сонце нижче	Сонце нижче з заходу	Точно на Сонце
Вертикальний рух	Стоїть	Вниз	Вниз	Стоїть
Горизонтальний рух	На схід	Стоїть	На захід	Стоїть

У таблицях 1.2 і 1.3 прийняті наступні позначення:

1 – датчик освітлений;

0 – датчик в тіні перегородки.

Групою розробників з малайзійського університету (UNIMAS) розроблений датчик положення Сонця, конструкція якого близька до вищезазначеного геліотрекеру, але особливістю є використання фоторезисторів в якості чутливого елемента.

Датчик складається з чотирьох фоторезисторів (LDRs), які закріплені в пірамідоподібному блоці. Коли Сонце висвітлює центр системи, фоторезистори отримують однакову кількість світла і мають однаковий опір. Коли Сонце зміщується, перегородка, розташована між фоторезисторами, створює тінь, що викликає зміну інтенсивності світла, яке вимірюється за допомогою датчиків LDR. На рисунку 1.14 показаний фотодатчик. Система стеження має 10-розрядний АЦП.

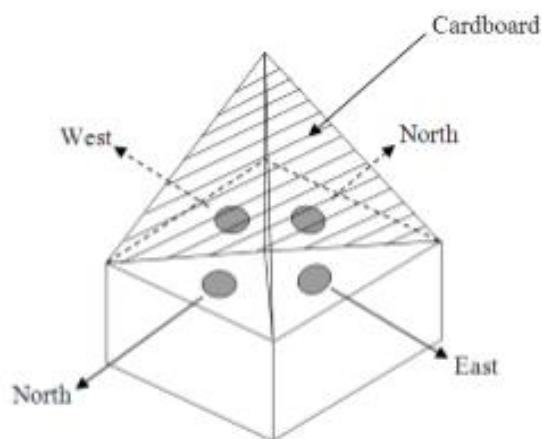


Рисунок 1.14 – Датчик положення Сонця

### 1.5 Вплив вітрового навантаження на автономну фотоелектричну енергетичну установку

Вітрове навантаження істотно впливає на момент навантаження, що прикладається до валу електромеханічного виконавчого механізму АФЕУ. Великі вітрові навантаження можуть не дозволити здійснити стеження рами з СБ за Сонцем, а в електромеханічному виконавчому механізмі з КД за браком моменту, що розвивається КД, ураганний вітер (більше 25м/с) може вивести з ладу виконавчий механізм стеження фотоелектричної енергоустановки.

					КвРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		23

Розрахунок вітрового навантаження для конкретної установки є складним завданням, оскільки необхідно враховувати не тільки метеорологічні особливості району, де планується розміщення установки, але також особливості місцевості, наявність сусідніх будівель і споруд, штучних і природних перешкод, вплив деталей і елементів конструкції самої фотоелектричної енергоустановки на розподіл вітрового потоку.

Враховуючи вище сказане, доцільно поставити завдання узагальненого для різних варіантів виконання розрахунку вітрових навантажень в рамках обраних умов. Такий підхід дозволить спростити розрахунки, не вдаючись до конкретних особливостей місцевості та варіанту виконання установки.

Нормативне значення середньої складової вітрового впливу визначається за формулою:

$$W_m = W_0 k C, \quad (1.1)$$

де  $W_0$  – нормоване значення вітрового тиску;  $k$  – коефіцієнт, що враховує зміну вітрового тиску по висоті;  $C$  – аеродинамічний коефіцієнт.

При цьому нормативне значення вітрового тиску  $W_0$ , яке визначається для певної місцевості шляхом використання даних метеостанцій, слід визначати за формулою:

$$W_0 = 0.16 V_0^2, \quad (1.2)$$

де  $V_0$  – швидкість вітру (м/с).

Нормативне значення вітрового тиску  $W_0$  слід приймати в залежності від вітрового району за даними таблиці 1.4. Коефіцієнт  $k$ , що враховує зміну вітрового тиску по висоті ( $z$ ), визначається по таблиці 1.5 в залежності від типу місцевості.

Встановлено такі типи місцевості:

					КвРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		24

А – відкриті узбережжя морів, озер і водосховищ, пустелі, степи, лісостепи, тундра;

В – міські території, лісові масиви та інші місцевості, рівномірно покриті перешкодами висотою більше 10м;

С – міські райони з будинками висотою більше 25м.

Споруда вважається розташованою в місцевості даного типу, якщо ця місцевість зберігається з вітряної сторони споруди на відстані  $30h$  при висоті споруди  $h$  до 60м і 2км – при більшій висоті.

Таблиця 1.4 – Нормативне значення вітрового тиску

Вітрові райони	Ia	I	II	III	IV	V	VI	VII
$W_0$ , кПа (кгс/м <sup>2</sup> )	0,17 (17)	0,23 (23)	0,30 (30)	0,38 (38)	0,48 (48)	0,60 (60)	0,73 (73)	0,85 (85)

Таблиця 1.5 – Коефіцієнт  $k$  в залежності від типу місцевості

Висота $z$ , м		$\leq 5$	10	20	40	60	80	100	150	200	250	300	350
Тип місцевості	A	0,75	1	1,25	1,5	1,7	1,85	2	2,25	2,45	2,65	2,75	2,75
	B	0,5	0,65	0,85	1,1	1,3	1,45	1,6	1,9	2,1	2,3	2,5	2,75
	C	0,4	0,4	0,55	0,8	1	1,15	1,25	1,55	1,8	2	2,2	2,35

В АСУ стеження в АФЕУ в електромеханічній частині при дії вітрового навантаження необхідно або збільшувати максимальний момент двигуна (ставити двигун з більшою потужністю і моментом), або вводити додатковий контур управління зі зв'язком по датчикам, що визначає момент від дії вітрового навантаження, щоб реалізувати компенсацію впливу цього моменту, якщо дозволяє потужність двигуна.

Це можливо шляхом установки на АФЕУ, зміною алгоритму роботи контролера стеження за Сонцем і блоку управління електромеханічними

					КВРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ				Арк.
									25
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата					

виконавчими механізмами, що забезпечують компенсацію моменту вітрового навантаження.

В енергетичній установці, розробленій в МЕІ, в електромеханічній частині використовується ДПС, в систему управління введений додатковий контур зі зворотним зв'язком по спеціальному датчику вітрового навантаження.

На рисунку 1.15 наведена зазначена вище функціональна схема системи стеження, на якій прийняті наступні позначення:

- $\alpha$  – кут неузгодженості;
- Д – двигун;
- Р – редуктор;
- РР – релейний регулятор положення;
- ВМ – виконавчий механізм;
- ПП – пристрій перетворення;
- ДН – датчик неузгодженості;
- БП – блок перетворення;
- ДВН – датчик вітрового навантаження.

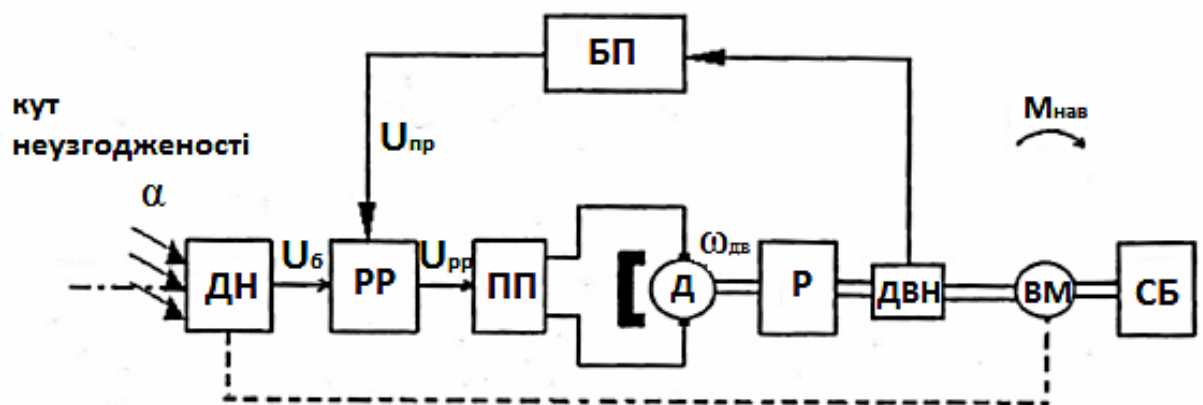


Рисунок 1.15 – Функціональна схема системи стеження з урахуванням вітрового навантаження

Компенсація вітрового навантаження в даній системі стеження здійснюється шляхом збільшення заданого моменту на ДПС за допомогою регулятора струму і датчика вітрового навантаження. У цій системі встановлюється складний датчик тиску.

Для захисту сонячної електростанції від високих вітрових навантажень запропоновано відстежувати швидкість вітру і при необхідності переміщати СБ в горизонтальне положення. Система захисту від вітру складається з датчика вітру і контролера управління. В АСУ стеження додатково відбувається опитування датчиків в реальному часі і контролер стеження оцінює ці дані. СБ переміщується в горизонтальне положення, коли швидкість вітру перевищує 47 км/год.

На рисунку 1.16 показаний датчик вітру. Датчик вітру включає в себе додатково інтегрований нагрівач, щоб забезпечити безперервну роботу системи стеження навіть при низьких температурах.



Рисунок 1.16 – Датчик вітру

З огляду на вищесказане, необхідно для АФЕУ розрахувати величину додаткового моменту в електромеханічній частині з КД від дії вітрового навантаження і розробити алгоритм управління в АСУ стеження, що забезпечує зменшення впливу вітрового навантаження на електромеханічну частину з КД при реалізації режиму стеження за Сонцем.

1.6 Вимоги до систем стеження автономних фотоелектричних енергетичних установок як об'єкта АСУТП і основні напрямки дослідження

Аналіз відомих технічних рішень в області АФЕУ показує, що для найбільш ефективного виробництва електричної енергії за допомогою СБ необхідно створювати АСУ стеження за Сонцем при мінімізації витрат електричної енергії на управління і стеження.

					КвРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		27

Визначена необхідна точність стеження АФЕУ за Сонцем для забезпечення мінімальних втрат енергії, що виробляється СБ. Відносна величина втрат енергії  $\Delta E$  в залежності від помилок стеження по азимуту і куту місця визначається за такою формулою:

$$\Delta E = 1 - \cos \Delta \alpha \cdot \cos \Delta \beta, \quad (1.3)$$

де помилка стеження  $\Delta \alpha$  – по азимуту, а  $\Delta \beta$  – за кутом місця.

У таблиці 1.6 наведені втрати енергії від СБ при різних точностях стеження сонячних батарей за Сонцем.

Таблиця 1.6 – Втрати енергії від СБ при різних точностях стеження

Помилка під час стеження СБ за Сонцем, градус	0,5	1	2	3	4	5
Втрати енергії від СБ під час стеження,%	0,0076	0,03	0,12	0,27	0,48	0,76

З таблиці 1.6 видно, що зменшувати помилку (підвищувати точність) менше одного градуса при спостереженні СБ за Сонцем немає необхідності, так як підвищення точності до 0,5 градуса забезпечує несуттєве зменшення втрати потужності за рахунок помилки стеження (зменшення втрати енергії від СБ на 0,0224%).

Технічні вимоги, що представлені системою АФЕУ до датчика положення Сонця:

- виконання стеження за двома координатами (по азимуту і кута місця), причому датчик повинен бути виготовлений відразу як двокоординатний (для виключення неточності за координатами) під час монтажу системи стеження і для забезпечення однакової температури у вимірювальних фотоелементах датчика;
- наявність режиму вимірювання освітленості датчиком при зміні інтервалу освітленості не менше ніж 1:10 (для можливості стеження СБ за Сонцем при зменшенні освітленості в 10 разів);

– визначення з урахуванням чутливості датчика і діапазону зміни освітленості заданої розрядності АЦП спеціалізованого контролера стеження виходячи з режиму регулювання (для забезпечення заданої точності стеження);

– чутливість датчика не менше 0,25 градуса за положенням по обох координатах для забезпечення точності стеження в 1 градус;

– мінімальні габарити, простота виготовлення і мінімальна вартість датчика.

На рисунку 1.17 показаний графік втрат енергії від похибки стеження.

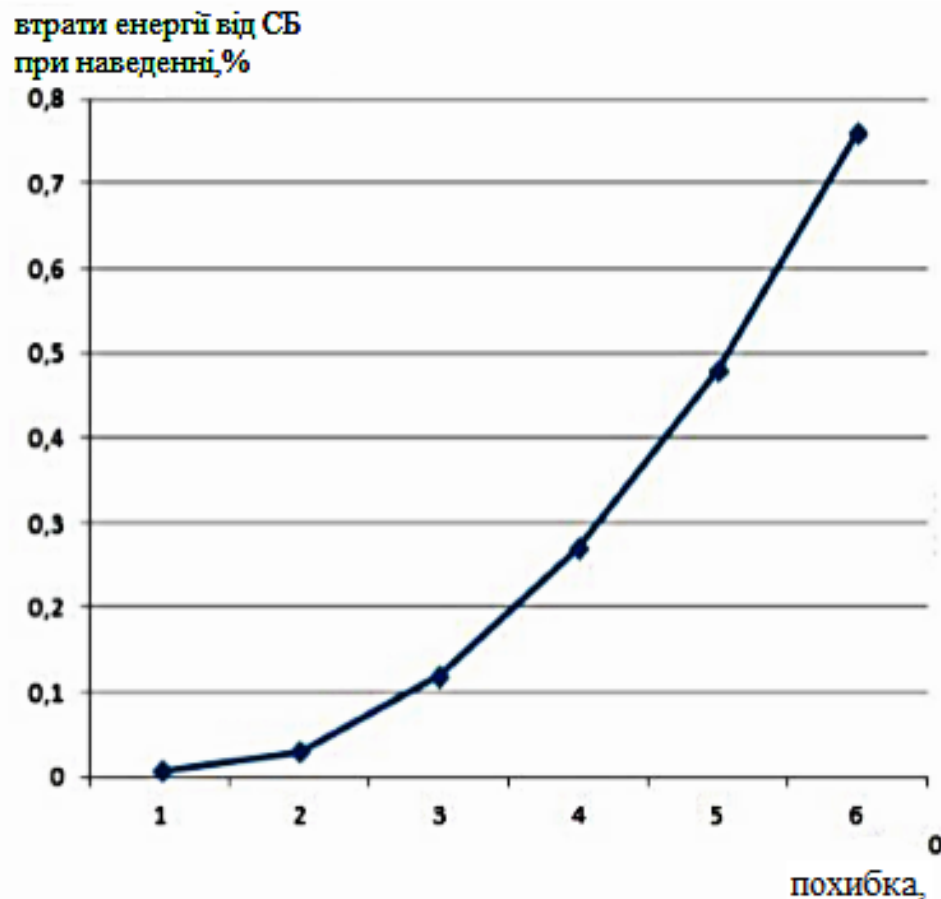


Рисунок 1.17 – Графік втрат енергії від помилки стеження

Технічні вимоги АСУ стеження, що представленні до конструкцій АФЕУ, автоматизованої системи управління, мікропроцесорної системи управління електромеханічним виконавчим механізмом установки:

– задана точність спостереження СБ за Сонцем має бути менше одного градуса за положенням;

- механічна конструкція і автоматизоване управління системою АФЕУ повинні забезпечувати розворот рами з СБ на 270 градусів по азимуту і 90 градусів за кутом місця;
- мікропроцесорна АСУ стеження повинна забезпечувати багатофункціональність роботи: режим автоматичного стеження за Сонцем; режим ручного наведення на Сонце (для пусконаладжувального режиму); режим управління стеженням за Сонцем від зовнішнього комп'ютера;
- АСУ стеження повинна мати безперервну самодіагностику: діагностику всієї системи; діагностику силового драйвера КД і самого КД; діагностику контролера заряду акумуляторної батареї;
- має бути забезпечена мінімізація енергоспоживання електромеханічним виконавчим механізмом установки під час стеження АФЕУ за Сонцем;
- двокоординатний електромеханічний виконавчий механізм АФЕУ повинен забезпечувати задані режими переміщення (стеження) по обох координатах, в тому числі при дії значного вітрового навантаження;
- швидкодія і розрядність мікроконтролера, необхідну кількість входів – виходів контролера стеження повинні забезпечувати управління по двох координатах одночасно із заданою точністю стеження та можливість підключення зовнішнього комп'ютера та блоку зв'язку з GPRS;
- в АСУ стеження повинна бути передбачена можливість переведення рами з СБ в горизонтальне (захисне) положення при ураганних вітрах, при цьому зв'язок в контролері стеження повинна бути по GPRS від МНС або іншого аварійного розповсюджувача інформації;
- зовнішній комп'ютер повинен забезпечувати: контроль параметрів переміщення по азимуту і кута місця; завдання параметрів обмежень по швидкості, прискоренні і ривка в траєкторії переміщення; завдання параметрів нелінійного струму в двигуні; завдання параметрів в алгоритмі управління стеженням при використанні датчика положення Сонця;
- апаратура, закріплена на рамі фотоелектричної енергоустановки (двигуни, датчики, кінцеві вимикачі, редуктори), повинна бути захищена від зовнішніх впливів і витримувати перепад температур від -40 до +60 ° С.

					КвРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		30

## 1.7 Висновки до першого розділу

1. Проведені дослідження підтверджують необхідність розробки і створення СЕП для СФЕС. Підтверджується необхідність виконання роботи з пошуку оптимального режиму управління СЕП з метою економії електричної енергії та реалізації максимального ККД СФЕС. Для оптимізації СФЕС наведення на Сонце представляється необхідним розгляд покрокового режиму авто-супроводження Сонця. Переваги пошукових систем управління – висока точність підтримки екстремуму при мінімальній кількості датчиків незалежно від типу двигуна.

2. Проведений аналіз наземних АФЕУ, систем стеження, датчиків положення Сонця, електропривод стеження дозволив сформулювати технічні вимоги, що представлені АСУ стеження АФЕУ за Сонцем до функціональної схеми системи стеження двокоординатним електромеханічним виконавчим механізмом, датчикам положення Сонця, спеціалізованому контролеру стеження.

3. Для АФЕУ доцільно використовувати в електромеханічних виконавчих механізмах крокові двигуни, в системі стеження за Сонцем доцільно використовувати двокоординатний датчик положення Сонця на основі фотоелементів, що забезпечують задану точність і ефективність стеження.

4. Структура АСУ стеження СБ за Сонцем повинна забезпечувати безперервно-дискретне стеження з регульованим циклом переміщення і мати нелінійний алгоритм стеження СБ за Сонцем, забезпечуючи при цьому задану точність спостереження до 1 градуса і підвищення енергетичної ефективності АФЕУ за рахунок збільшення вироблення електричної енергії СБ і зменшення витрат електричної енергії в електромеханічних виконавчих механізмах з КД під час стеження СБ за Сонцем до 30%.

5. Для зменшення дії вітрового навантаження на АФЕУ, збільшення плавності і безперервності руху рами з СБ в процесі стеження необхідно розробити і дослідити структуру і параметри контуру управління амплітудою струму в електромеханічному виконавчому механізмі, керовані в функції від непрямої помилки положення та її похідної.

					КвРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		31

## 2. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

### 2.1 Дослідження функціональної та структурної схеми системи стеження сонячних батарей за Сонцем

Аналіз досліджень, проведений в першому розділі, показав, що для створення енергетично ефективної АСУТП виробництва електричної енергії в АФЕУ потужністю 3–5 кВт необхідно розробити структурну і функціональну схеми системи стеження з двокоординатним електромеханічним виконавчим механізмом з КД і з двокоординатним датчиком положення Сонця. АСУ стеження СБ за Сонцем повинна забезпечувати багатофункціональність, самодіагностику, зв'язок і управління з зовнішнім оператором в аварійних режимах. При цьому система стеження управління повинна забезпечувати задану точність спостереження СБ за Сонцем при мінімізації витрат електричної енергії, що витрачається двокоординатним електромеханічним виконавчим механізмом з КД на стеження СБ за Сонцем.

При дослідженні функціональної і структурної схеми АСУ стеження для АФЕУ використовувалися:

- спеціалізований контролер стеження, що забезпечує функціонування механізму безперервно-дискретного стеження АФЕУ за Сонцем з заданою точністю, який реалізує несиметричний режим позиціонування і управління периферійними пристроями з діагностикою всієї системи;
- сучасні фотоелектричні панелі (СБ) з високими техніко-економічними показниками;
- контролер заряду акумуляторних батарей з реалізацією режиму відбору максимальної потужності з СБ;
- двокоординатний фотоелектричний датчик положення Сонця, що володіє високою чутливістю, для забезпечення високої точності стеження АФЕУ;
- конвертор для зв'язку контролера стеження з зовнішньої ЕОМ, що має оптичну розв'язку;

					КвРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		32

- однофазний інвертор з синусоїдальним виходом для живлення споживачів;
- кінцеві вимикачі, що забезпечують обмеження переміщення рами по двох координатах і можливість перекладу рами в горизонтальне положення;
- GPRS-модуль зв'язку для віддаленого управління АФЕУ при виникненні екстремальних умов;
- КД для забезпечення заданого переміщення по обох координатах.

З урахуванням вищевикладеного функціональна схема АСУТП виробництва електричної енергії АФЕУ, наведена на рисунку 2.1. На функціональній схемі прийняті наступні позначення: СБ – сонячна батарея (що складається з декількох фотоелектричних панелей); КСС – контролер стеження за Сонцем; ДКД1, ДКД2 – драйвери управління кроковими двигунами; ДПС1, ДПС2 – датчики положення Сонця по азимуту і куту місця; КВ1-КВ5 – кінцеві вимикачі; Д1, Д2 – крокові двигуни; Р1-Р4 – редуктори; КЗАБ – контролер заряду акумуляторної батареї; І – інвертор; АБ1, АБ2 – акумуляторні батареї, конвертор (тип І-7561) – пристрій зв'язку комп'ютера з контролером по каналу RS 485; GPRS – блок зв'язку з каналом GPRS.

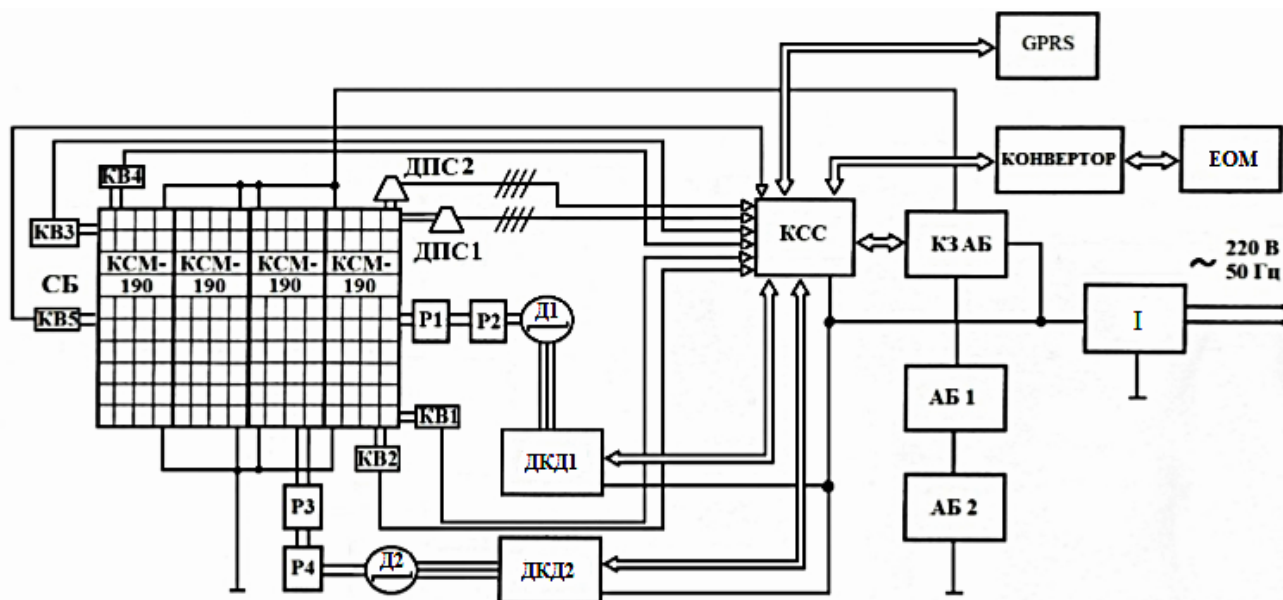


Рисунок 2.1 – Функціональна схема АСУТП виробництва електричної енергії АФЕУ

Використання при управлінні АФЕУ даних і команд, які приймаються і передаються по модулю GPRS, забезпечує реалізацію людино-машинної системи. При цьому реалізується контроль за станом системи АФЕУ шляхом діагностики всієї системи і відправки повідомлення оператору при наявності несправності в системі АФЕУ, а також здійснюється переміщення рами з СБ в горизонтальне (захисне) положення при впливі вітрового навантаження, що перевищує максимально допустиму (ураганного вітру).

При дослідженні розроблено функціональну схему двокоординатної системи стеження СБ за Сонцем з використанням КД і датчиків положення Сонця, наведено на рисунку 2.2.

На рисунку 2.2 прийняті наступні позначення: НЛ1, НЛ2 – нелінійні ланки; РП1, РП2 – регулятори положення; ДКД1, ДКД2 – драйвери крокового двигуна; КД1, КД2 – крокові двигуни; Р1, Р2 – редуктори; ВМ1, ВМ2 – виконавчі механізми;  $\alpha_{зад}$  – заданий (необхідний в даний момент часу) положення механізму по азимуту;  $\beta_{зад}$  – заданий (необхідний в даний момент часу) положення механізму по куту місця; ДПС1, ДПС2 – датчики положення Сонця;  $\Delta\alpha$  – помилка по куту стеження (по азимуту);  $\alpha_{дійсн}$  – дійсний стан механізму по азимуту;  $\Delta\beta$  – помилка по куту стеження (кут місця);  $\beta_{дійсн}$  – дійсний стан механізму по куту місця.

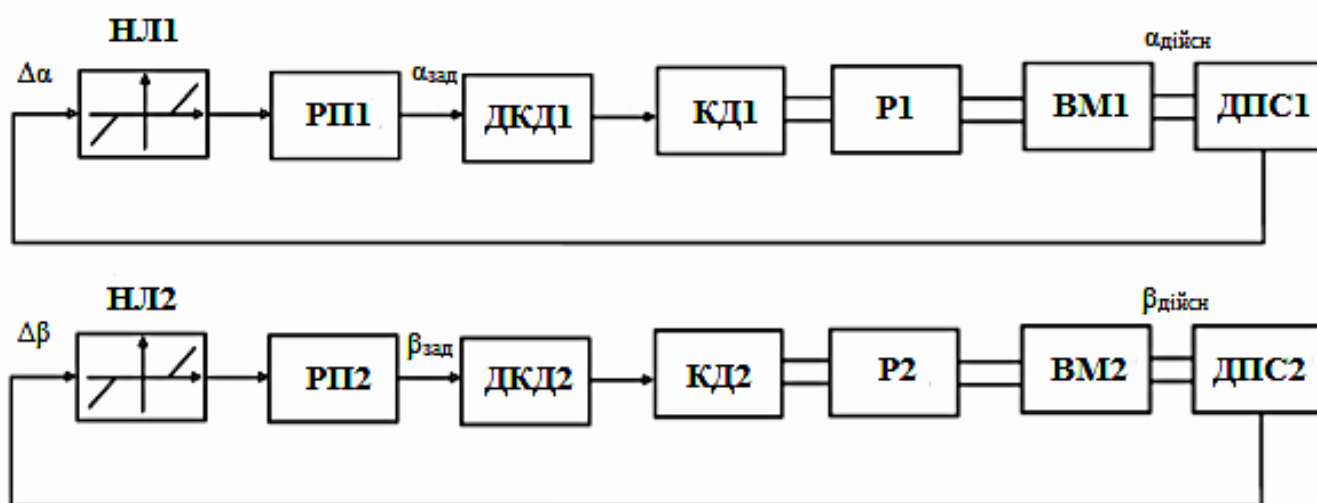


Рисунок 2.2 – Функціональна схема системи стеження з КД

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Виходячи з вимог до системи стеження СБ за Сонцем, вищеописаної розробленої структурної та функціональної схем АСУ стеження для АФЕУ визначено два завдання створення управління системою стеження СБ за Сонцем, що забезпечує:

- спостереження за Сонцем по двох координатах із заданою точністю;
- мінімізацію енергоспоживання електромеханічним виконавчим механізмом під час стеження.

Перше завдання – забезпечення стеження СБ за Сонцем з заданою точністю, вирішується таким шляхом:

- розробкою нелінійного алгоритму стеження за Сонцем, що враховує специфічні вимоги до систем АФЕУ;
- забезпеченням підвищення статичної точності переміщення при використанні КД (досягається підвищенням розвинутого моменту КД);
- використанням спеціалізованого контролера стеження за Сонцем, спеціального двокоординатного датчика положення Сонця, двокоординатного електромеханічного виконавчого механізму з КД.

Друге завдання – мінімізація енергоспоживання електромеханічним виконавчим механізмом з КД під час стеження фотоелектричної енергоустановки за Сонцем, вирішується таким шляхом:

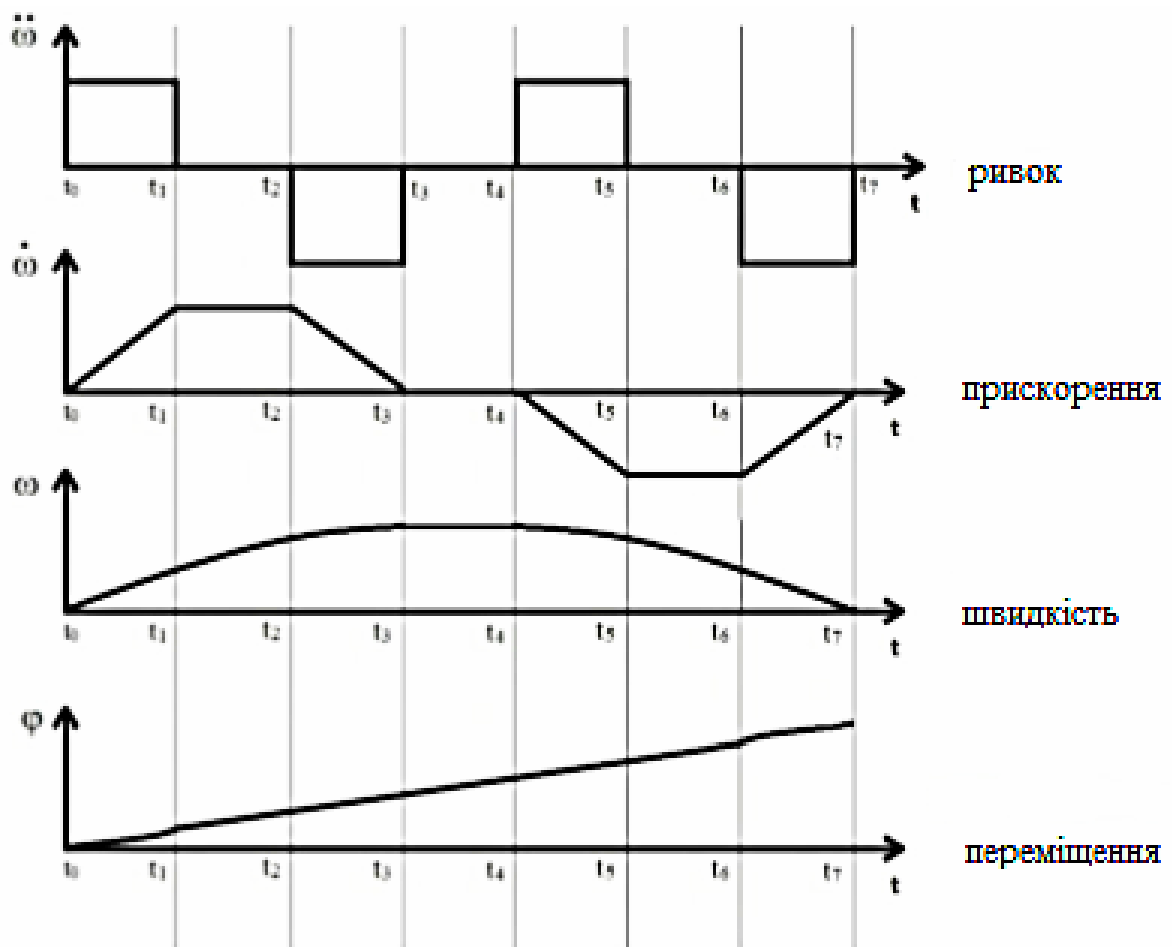
- створенням нелінійного управління величиною амплітуди струму в КД під час переміщення в режимі позиціонування;
- переходом від безперервного спостереження за Сонцем до безперервно-дискретного стеження зі змінним кроком переміщення і винятком споживання струму КД під час відсутності переміщення рами з СБ;
- по закону управління, що забезпечує максимальне за швидкістю переміщення рами з СБ при обмеженнях по швидкості, прискорення і ривка в управлінні КД (створення заданої траєкторії переміщення в режимі позиціонування).

При класичному управлінні КД реалізується наступний алгоритм управління: збереження амплітуди струму КД в статичному режимі після закінчення режиму переміщення.

					КвРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		35

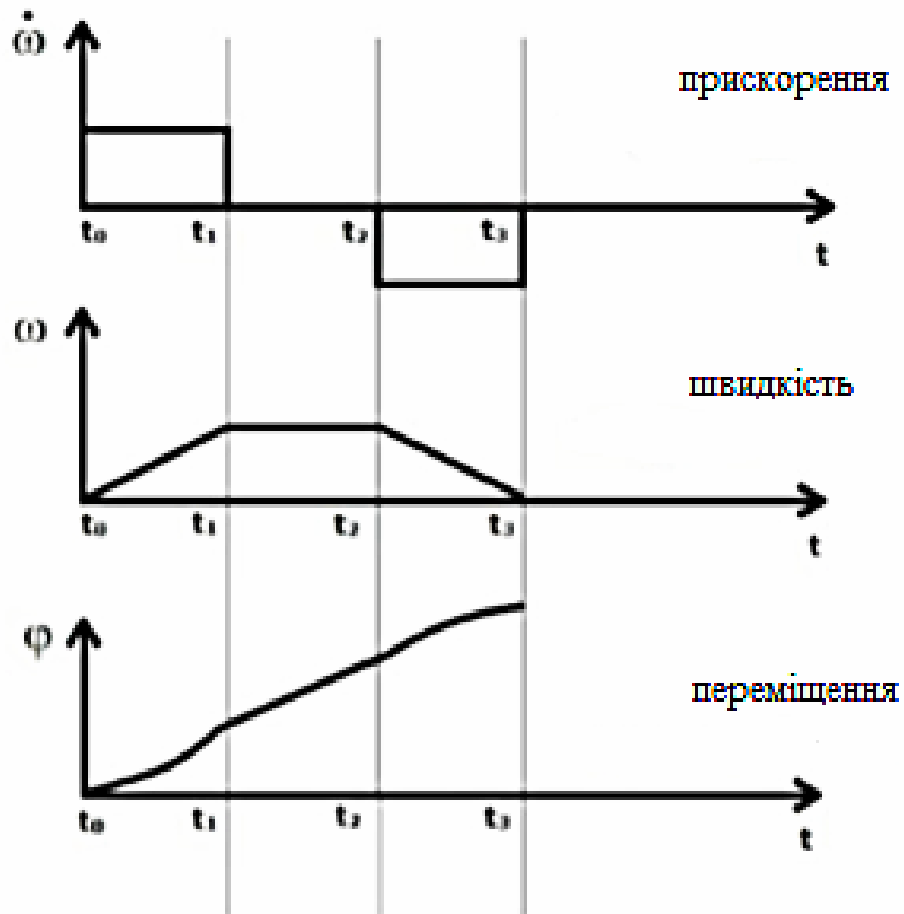
Це необхідно для підтримки утримуючого моменту КД. Є інші варіанти управління КД (закладені в деяких драйверах управління КД): зменшення амплітуди струму в КД в статичному режимі до 0,6 від номінальної амплітуди струму.

Безперервно-дискретне стеження за Сонцем – це переміщення на необхідний (заданий) кут з подальшою зупинкою КД. Під час інтервалу переміщення реалізується максимальне за швидкодією рух рами з СБ (в системі стеження використовується релейний регулятор положення), тобто режим позиціонування з обмеженням прискорення, швидкості і ривка. При цьому здійснюється симетричний режим розгону і гальмування. На рисунку 2.3 показані діаграми двох режимів позиціонування в системі стеження – максимальне переміщення по швидкодії з обмеженням по швидкості, прискорення і ривка (рисунок 2.3, а) і з обмеженням по швидкості і прискорення (рисунок 2.3, б).



а)

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата



б)

Рисунок 2.3 – Діаграма симетричного режиму позиціонування

Запропоновано принцип безперервно-дискретного стеження СБ за Сонцем: алгоритм безперервно-дискретного стеження СБ за Сонцем зі змінним кроком переміщення в функції поточної освітленості СБ. Це необхідно реалізовувати, виходячи з таких положень:

- чим вище точність стеження СБ за Сонцем, тим більше СБ виробляє електричної енергії та в системі АФЕУ підвищення точності стеження відбувається шляхом зменшення кроку переміщення в електромеханічному виконавчому механізмі;

- для зменшення витрат електричної енергії в електромеханічному виконавчому механізмі з КД під час стеження необхідно збільшувати дискретний крок переміщення (зменшення кроку переміщення призводить до збільшення споживання електричної енергії електромеханічним виконавчим механізмом);

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

– при зменшенні освітленості (в кілька разів) вироблення енергії СБ падає і підвищення точності стеження в системі не призводить до істотного збільшення вироблення енергії.

Виникає парадокс у вирішенні завдання: підвищення точності стеження веде до збільшення енергоспоживання електромеханічним виконавчим механізмом, а збільшення кроку переміщення під час стеження веде до зменшення точності стеження. Таким чином, виникає необхідність пошуку найкращого вирішення даного завдання.

З вищенаведеного аналізу слідує, що чим вище освітленість, тим менше необхідно робити крок переміщення, наприклад при максимальній освітленості робити крок переміщення 1 градус, при зменшенні освітленості в 5 раз збільшувати дискретність переміщення до 3 градусів. На рисунку 2.4 наведено графік зміни дискретного кроку переміщення в залежності від освітленості.

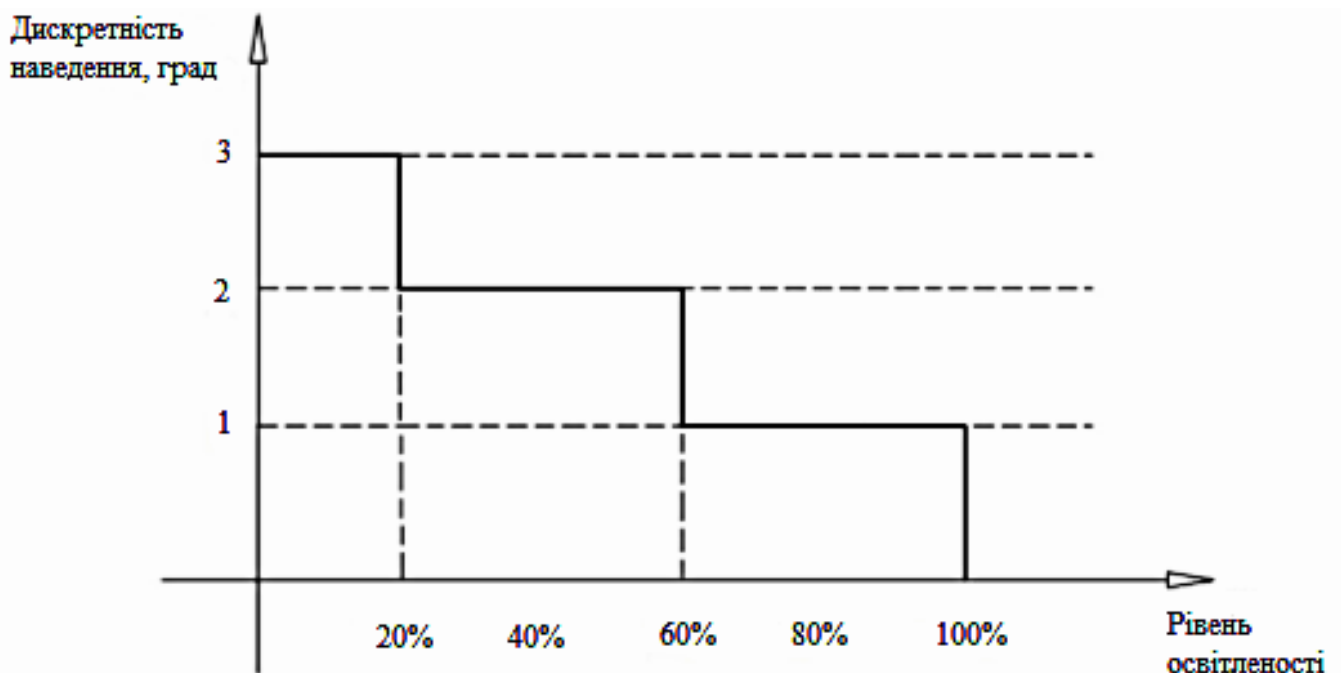


Рисунок 2.4 – Графік зміни дискретного кроку переміщення

При зменшенні освітленості в п'ять разів дискретний крок переміщення збільшується з одного до трьох градусів. Величина зменшення освітленості в 5 разів обумовлена низьким значенням енергії, що виробляється СБ після цього значення.

Експериментально зняті вольт-амперні характеристики СБ КСМ-160 показують, що при освітленості менше 20% від максимальної може не відбуватися заряд акумуляторної батареї через низьку напругу та струм, що виробляється СБ. Тому обмеження зміни дискретного кроку переміщення закладено на рівні 20% від максимальної освітленості.

У таблицях 2.1 та 2.2 для прикладу наведені енергетичні характеристики системи АФЕУ-1 при зміні дискретного кроку переміщення, що показують зменшення величини дискретного кроку переміщення (кута переміщення) призводить до збільшення споживаної електричної енергії.

Таблиця 2.1 – Споживання енергії механізмом з КД при переміщенні на 180 градусів по азимуту (при дискретному кроці переміщення СБ на 2, 3, 5 градусів)

№	Швидкість (Гц)	Прискорення (крок/с <sup>2</sup> )	Гальмування (крок/с <sup>2</sup> )	Час (с)	Робочий струм (А)	Пусковий струм (А)	Споживана потужність (Вт)	Споживана Енергія (Вт/год)
1	3000	3000	3000	0,9	1	1,4	29,4	0,92
2	3000	3000	3000	1,3	1	1,4	29,4	0,63
3	3000	3000	3000	1,67	1	1,4	29,4	0,49

Таблиця 2.2 – Розрахункові величини втрати енергії для двох СБ типу КСМ-160 при різній дискретності переміщення

Помилка під час стеження СБ за Сонцем, градус	0,5	1	2	3	4	5
Втрати енергії від СБ під час стеження, %	0,0076	0,03	0,12	0,27	0,48	0,76
Величина втрати потужності в СБ, мВт	2,432	9,6	38,4	86,4	157,2	243,2
Добова втрата енергії в СБ, Вт/год	0,29	1,15	4,6	10,36	18,86	29,18

У таблиці 2.2 наведені розрахункові величини втрати енергії (потужності) для двох СБ типу КСМ-160 (установка АФЕУ-1) при різній дискретності переміщення і максимальній освітленості.

На рисунку 2.5 наведені графік втрати потужності (крива 1) і графік добової втрати енергії від помилки стеження (крива 2).

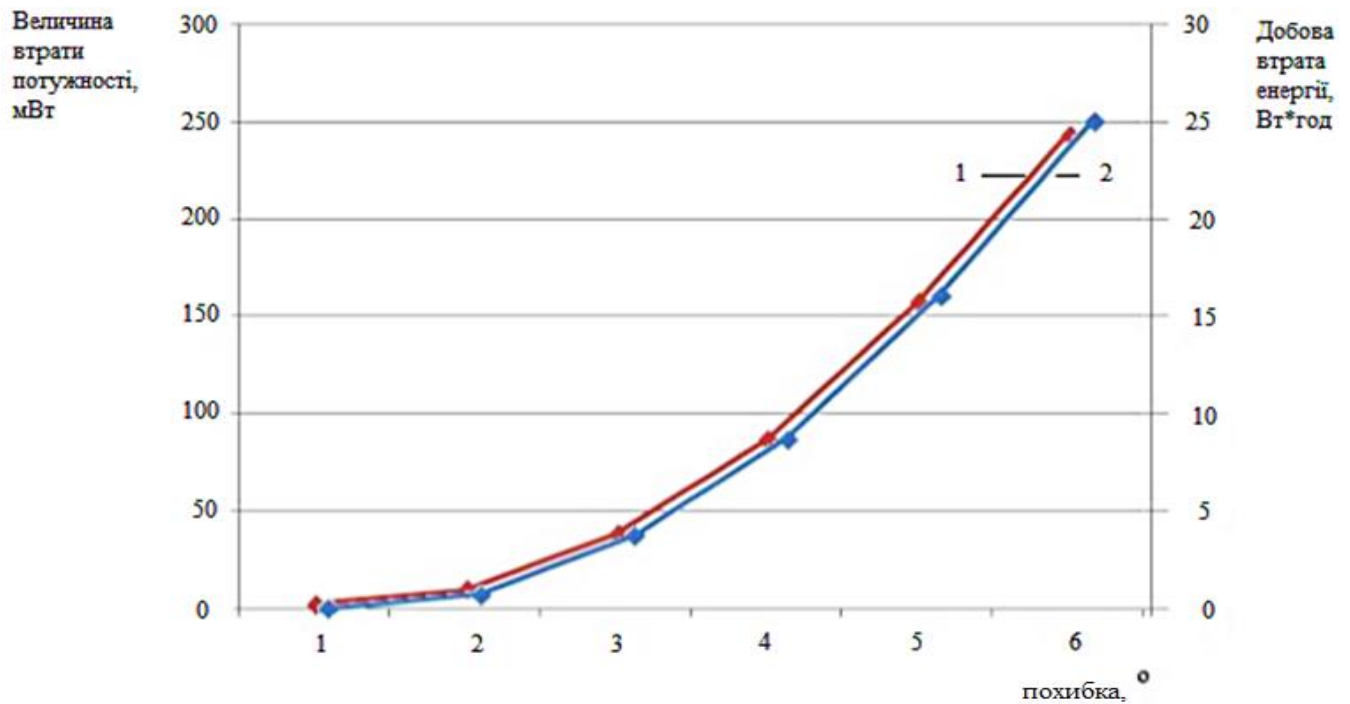


Рисунок 2.5 – Залежність втрат енергії від помилки стеження

Таким чином, запропоновані структура і алгоритм управління АСУ стеження для АФЕУ з безперервно-дискретним стеженням СБ за Сонцем з регульованим дискретним кроком переміщення в функції поточної освітленості, що забезпечують збільшення швидкодії системи, підвищення точності стеження та поліпшення енергетичних характеристик системи АФЕУ (мінімізацію енергоспоживання електромеханічним виконавчим механізмом з КД під час стеження СБ за Сонцем).

## 2.2 Дослідження та розробка алгоритму стеження сонячних батарей за Сонцем з використанням датчика положення Сонця

Розворот рами з СБ по азимуту здійснюється при максимальній швидкості обертання КД. При підході до заданого положення (коли похибка зменшується до 0,5 градуса) відбувається гальмування зі зниженням швидкості та прискорення.

Коефіцієнт зони нечутливості може вибиратися виходячи з 5–10% зони при визначенні закінчення перехідного процесу по керуючому впливу. Однак при переміщенні на 1 градус і коефіцієнті зони нечутливості 5–10% потрібно забезпечити чутливість датчика положення Сонця 0,05–0,1 градуса, що важко піддається реалізації в датчиках положення Сонця.

На рисунку 2.6 показана функціональна схема системи стеження.

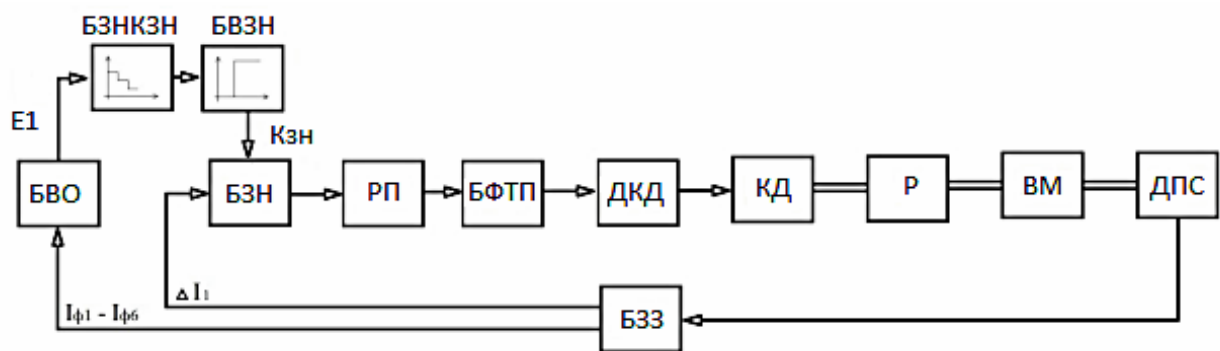


Рисунок 2.6 – Функціональна схема системи стеження з урахуванням зміни коефіцієнта зони нечутливості

На рисунку 2.6 прийняті наступні позначення: БЗНКЗН – блок завдання нелінійного коефіцієнта зони нечутливості; ДКД – драйвер крокової двигуна; КД – кроковий двигун; Р – редуктор; ВМ – виконавчий механізм; ДПС – датчик положення Сонця; БЗЗ – блок зворотного зв'язку; БВО – блок визначення освітленості; БВЗН – блок визначення зони нечутливості; БЗН – блок завдання нелінійного коефіцієнта; РП – регулятор положення; БФТП – блок формування траєкторії позиціонування;  $K_{zn}$  – коефіцієнт зони нечутливості;  $E1$  – середня поточна освітленість, розрахована по ДПС;  $\Delta I_1$  – відносна величина помилки положення по азимуту;  $I_{\phi 1}, I_{\phi 2}, I_{\phi 3}, I_{\phi 4}$  – струми в похилих площинах ДПС.

При переміщенні рами з СБ закінчення режиму переміщення на заданий кут в режимі позиціонування може випереджати або відставати від часу закінчення розрахункової траєкторії.

Тому запропонований алгоритм корекції траєкторії, що забезпечує істотне зменшення регулювання по положенню. Алгоритм корекції траєкторії наведено в додатку А: копії креслення «Блок-схема алгоритму корекції траєкторії стеження».

В алгоритмі постійно відбувається оцінка помилки в переміщенні в режимі реального часу і порівнюється з зоною нечутливості (в релейному регуляторі). Як тільки значення помилки в переміщенні дедалі менше значення зони нечутливості (навіть якщо позиціонування не завершено), відбувається припинення переміщення шляхом відключення драйверів КД. У цьому випадку не буде регулювання по положенню.

Якщо позиціонування завершено, але значення помилки в переміщенні більше значення зони нечутливості, необхідно провести корекцію положення рами шляхом введення додаткового завдання на переміщення. Пропонується введення коригувальну траєкторію, рівну 0,5 градуса за матеріальним становищем. Завдання на коригувальну траєкторію можливо формувати кілька разів в мікроциклі стеження до повної компенсації помилки по положенню. Загальний алгоритм стеження за Сонцем наведено в додатку А: копії креслення «Блок-схема алгоритму стеження за Сонцем».

Для уточнення параметрів регулятора положення, блоку формування траєкторії позиціонування необхідно провести моделювання динамічних характеристик системи стеження з урахуванням об'єкта регулювання. В даний час для моделювання електромеханічних систем використовуються різноманітні системи.

Модель найбільш просто реалізується при використанні пакета прикладних програм MATLAB (Simulink), який дозволяє моделювати складні динамічні системи, забезпечуючи автоматизацію всіх етапів розробки на основі чисельних методів розв'язання математичних задач, використання графічного інтерфейсу користувача і персональних комп'ютерів.

					КвРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		42



Зазначене вище дозволило розробити алгоритм стеження СБ за Сонцем при використанні датчика положення Сонця, що має нелінійну характеристику блоку зони нечутливості при визначенні необхідності режиму переміщення.

### 2.3 Мінімізація енергоспоживання електромеханічним виконавчим механізмом в позиційній системі стеження сонячних батарей за Сонцем

При стандартному (загальноприйнятому) включенні драйвера і КД при автосупроводженні СБ за Сонцем КД завжди знаходиться під номінальним струмом. В цьому режимі виходить велике споживання струму КД. Тому доцільно стеження СБ за Сонцем в АФЕУ робити безперервно-дискретним, тобто виконувати переміщення на один – три градуси за матеріальним становищем і далі робити зупинку.

Наступне переміщення СБ за Сонцем, наприклад на три градуси, в АФЕУ відбуватиметься через 10–20 хвилин. Для зменшення ривків і хитань при переміщенні рами з СБ і скорочення споживання енергії КД при безперервно-дискретному стеженні розроблений несиметричний режим позиціонування, в якому закладені різні обмеження по струму при пуску і гальмуванні (реалізація нелінійного режиму задана амплітуда струму КД, мінлива під час переміщення). Це необхідно для зменшення коливань при гальмуванні (при досягненні заданого положення), для зменшення величини регулювання за положенням.

Пропонується в режимі позиціонування збільшити амплітуду струму КД, після подолання початкового моменту сухого тертя амплітуду струму КД можна знизити. Це дозволяє усунути збої при пуску КД і в цілому зменшити споживання струму двигуном під час мікроциклу стеження. Збільшувати пусковий струм в КД доцільно в режимі позиціонування при позитивному значенні прискорення (рисунок 2.11, а). Можливе застосування більш складного алгоритму позиціонування: на додаток до діаграми рисунок 2.11, а при гальмуванні доцільно зменшувати амплітуду струму КД – рисунок 2.11, б.

					КвРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		44

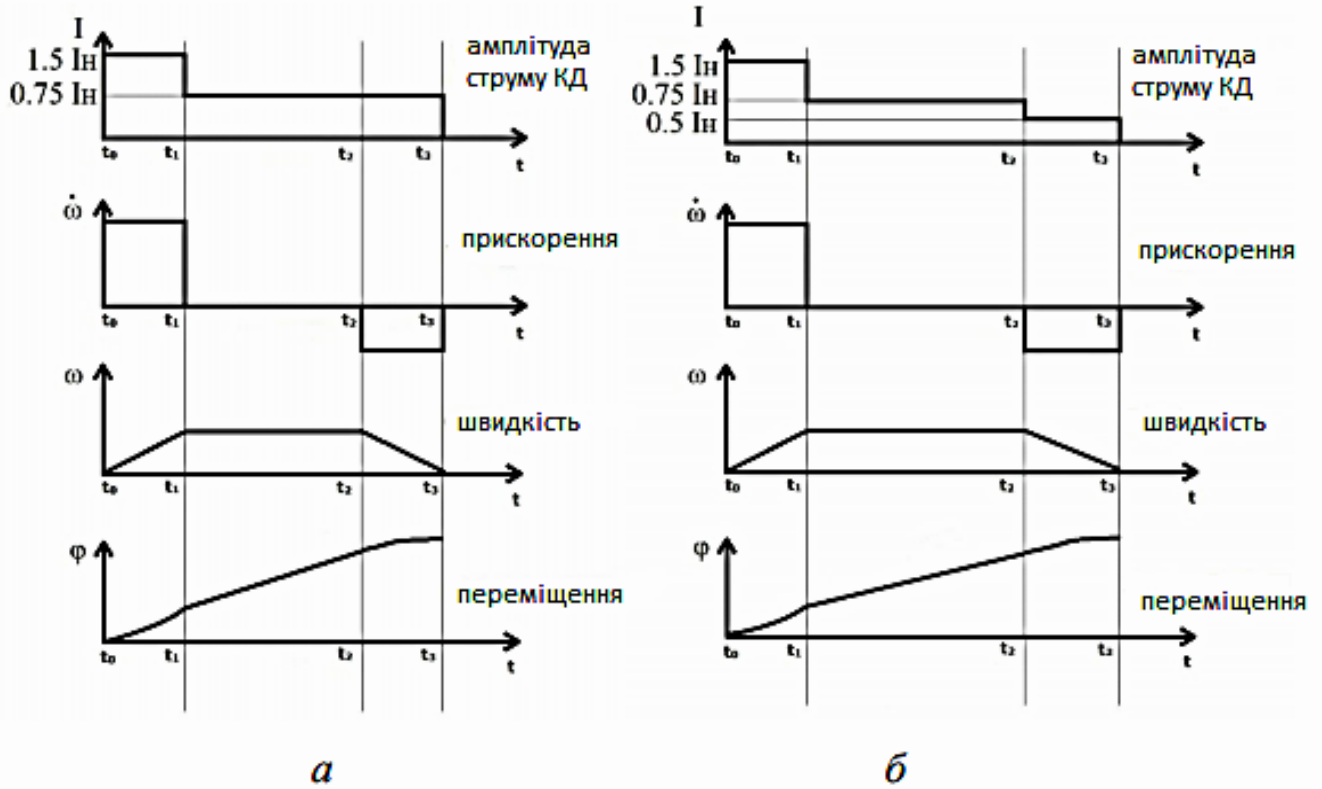


Рисунок 2.11 – Діаграма режиму позиціонування

Зменшувати амплітуду струму КД необхідно для зменшення коливань при гальмуванні, а також для подолання нелінійного моменту сухого тертя і мінімізації споживаного струму КД в режимі переміщення, так як у механізмі переміщення (рама з СБ) великий момент інерції. Наведений до валу момент інерції механізму може бути на порядок вище, ніж момент інерції крокового двигуна. В цілому це може привести до зменшення споживаного струму КД при позиціонуванні.

Розрахунок споживання енергії КД при позиціонуванні можна виконати за допомогою моделювання в MATLAB (Simulink). На рисунку 2.12 наведена схема моделі.

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
------	------	---------	--------	------

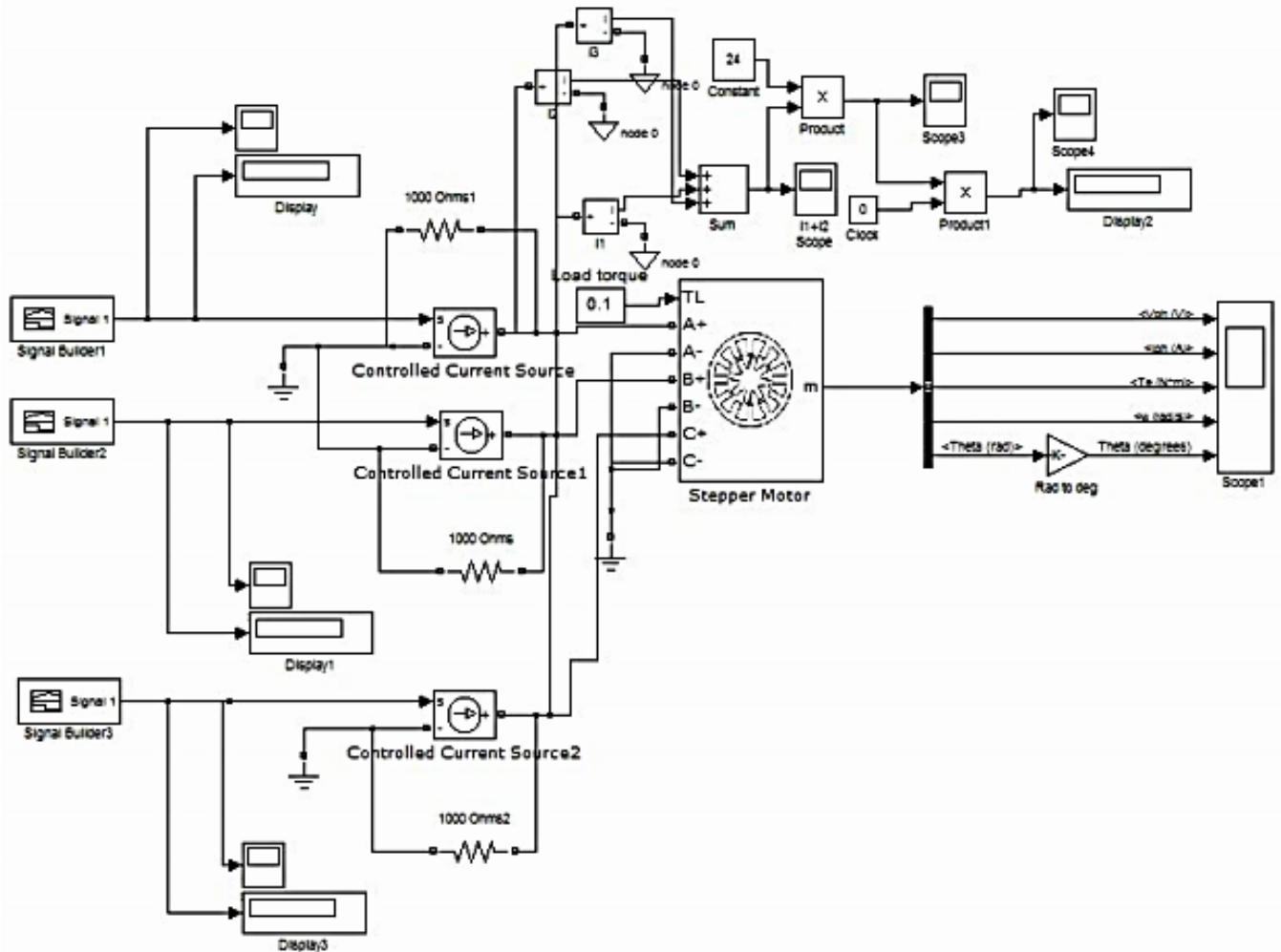


Рисунок 2.12 – Модель для розрахунку енергоспоживання в КД

Для мінімізації енергоспоживання КД при безперервно-дискретному стеженні СБ за Сонцем в системі пропонується після здійснення циклу переміщення СБ вимикати силові драйвери КД і вимикати споживання енергії КД за відсутності переміщення.

У таблиці 2.3 наведені результати розрахунків споживчої енергії для КД по азимуту і кута місця при номінальному струмі  $I_n$  утримання КД і 0,6 від номінального струму утримання КД для установки АФЕУ з використанням експериментальних даних.

З таблиці 2.3 видно, що теоретичне значення добового споживання потужності двох КД в режимі очікування досягає 1-1,7 кВт/год., що порівняно з виробленням двох СБ протягом від 3 до 4,8год. за добу при максимальній освітленості. Тому необхідно при безперервно-дискретному стеженні вимикати КД за допомогою драйвера після закінчення циклу переміщення.

Таблиця 2.3 Розрахунки споживаної енергії КД в режимі очікування

Характеристика переміщення	Переміщення по азимуту на 180 градусів		Переміщення по куту місця на 70 градусів	
	Струм двигуна в режимі утримання I, А	3	1,8	3
Напруга двигуна U, В	24	24	24	24
Час переміщення рами на 3 градуси t,с	1,67		3,22	
Час переміщення рами на 180 градусів по азимуту t, с (хв.)	100,2 (1,67)			
Час переміщення рами на 70 градусів за кутом місця t, с (хв.)			75,13 (1,25)	
Час відсутності переміщення (при 12- годинній роботі системи) t, хв.	718,33		718,75	
Потужність P, Вт	72	43,2	72	43,2
Споживана енергія КД в режимі очікування, Вт/год. (кВт/год.)	862 (0,862)	517 (0,517)	862,5 (0,862)	517,5 (0,517)
Споживання енергії для двох КД в режимі очікування при струмі утримання I <sub>н</sub> , кВт/год.	1,724			
Споживання енергії для двох КД в режимі очікування при струмі утримання 0,6 I <sub>н</sub> , кВт/год.	1,034			

2.4 Визначення добової сумарної споживаної енергії виконавчим механізмом з КД установки АФЕУ

Добова споживана енергія виконавчим механізмом з КД по азимуту визначається робочим (дискретно-безперервним) переміщенням на 180 градусів і неробочим (безперервним) переміщенням на 180 градусів (повернення рами з СБ в початкове положення).

					КВРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
						47
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Добова споживана енергія виконавчим механізмом з КД по азимуту становить 1,25 Вт/год. при дискретному переміщенні на 2 градуси; 0,937 Вт/год. при дискретному переміщенні на 3 градуси; 0,79 Вт/год. при дискретному переміщенні на 5 градусів.

Добова споживана енергія виконавчим механізмом з КД за кутом місця визначається подвійним робочим (дискретно-безперервним) переміщенням на 70 градусів. При цьому раму з СБ виконавчий механізм з КД протягом доби повертає в початкове положення. Добова споживана енергія виконавчим механізмом з КД за кутом місця становить 1,48 Вт/год. при переміщенні на 2 градуси; 1,17 Вт/год. при переміщенні на 3 градуси; 1,11 Вт/год. при дискретному переміщенні на 5 градусів. Сумарна добова споживана енергія двома виконавчими механізмами з КД під час стеження СБ за Сонцем становить від 1,8 Вт/год. (крок переміщення 5 градусів) до 2,5 Вт/год. (крок переміщення 2 градуси).

## 2.5 Висновки до другого розділу

1. Створення енергетично ефективного виробництва електричної енергії АФЕУ ґрунтується на АСУ стеження СБ за Сонцем з використанням КД в електромеханічному виконавчому механізмі і реалізується на основі:

- безперервно-дискретного стеження СБ за Сонцем з регульованим дискретним кроком переміщення під час стеження в функції поточної освітленості;

- створення максимального за швидкістю переміщення в циклі безперервно-дискретного стеження (режим позиціонування) з урахуванням обмежень по швидкості, прискорення і ривка;

- створення нелінійного режиму позиціонування зі зміною амплітуди струму КД в циклі переміщення, що забезпечує зменшення енергоспоживання на 13–25%.

2. Для забезпечення підтримки заданої точності стеження АФЕУ при зміні поточної освітленості і зовнішніх умов запропонований алгоритм стеження СБ за Сонцем, що полягає в наступному:

					КвРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		48

– введено відключення режиму переміщення, коли помилка по положенню менша зони нечутливості, навіть якщо режим позиціонування не закінчений, що забезпечує зменшення регулювання по положенню;

– введена додаткова коригуюча траєкторія руху (0,5 градуса), якщо помилка по положенню більша зони нечутливості, а режим позиціонування закінчений, що забезпечує зменшення регулювання по положенню.

3. Мінімізація енергоспоживання електромеханічним виконавчим механізмом АФЕУ при безперервно-дискретному стеженні досягається:

– при несиметричному режимі позиціонування, в якому забезпечується збільшення до 1,5 від номінального значення амплітуди імпульсу струму КД в момент дії позитивного прискорення і зменшення до 0,75 від номінального значення амплітуди імпульсу струму КД, що дозволяє скоротити витрати енергії в виконавчому механізмі з КД в режимі позиціонування від 10 до 30%;

– вимиканням силових драйверів КД після здійснення циклу переміщення що дозволяє зменшити добові витрати енергії в АФЕУ при максимальній освітленості.

4. Результати цифрового моделювання позиційної системи стеження показали, що в системі стеження забезпечується задана точність позиціонування без додаткових регулювань за положенням.

5. Запропоновано функціональну схему і алгоритм стеження АФЕУ за Сонцем, що включають регулятор положення з нелінійною характеристикою зони нечутливості, що змінюється в залежності від поточної освітленості та корекцією заданої траєкторії позиціонування на АФЕУ в залежності від помилки стеження, які забезпечують підтримування заданої точності стеження при зміні поточної освітленості і зовнішніх умов.

					КвРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
						49
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

### 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

#### 3.1 Розробка алгоритму функціонування системи

Розроблювана система повинна виконувати в першу чергу опитування датчиків освітлення, які встановлені на сонячних панелях, при цьому також розраховуються Зенітний і Азимутальний кути. Ці показання відображаються на дисплей. Далі поточні показання порівнюються з прописаними в пам'яті трекера значеннями і панелі за допомогою двигунів розташовуються так, щоб сонячні промені падали під прямим кутом на поверхню.

З урахуванням нашої поставленої задачі складаємо алгоритм роботи системи позиціонування, яка проектується. Робота проектованої системи починається з ініціалізації. Наступним кроком починається опитування підключених датчиків до трекера, яке працює циклічно. Для отримання інформації з датчиків здійснюється опитування портів вводу-виводу мікроконтролера. Показання записуються в пам'ять системи. Після опитування всіх датчиків та отримання від них інформації, система виконує обробку даних. В результаті цього обчислюються Азимутальний і Зенітний кути. В залежності від поточної дати та часу, система порівнює їх із заданими в пам'яті, і якщо вони відрізняються, мікроконтролер дає команду серводвигунам, які змінюють кути нахилу трекера до поки вони не стануть дорівнювати кутам розташування Сонця.

Систему можна умовно поділити на декілька частин: блок збору показань, блок обробки значень, пристрій відображення інформації. Датчики потрібні для виміру фізичних величин, які постійно аналізуються та порівнюються.

Пристрій обробки даних є головним вузлом системи, який керує опитуванням датчиків, обробляє отриману інформацію, передає її на пристрій виведення інформації та керує підключеним до нього навантаженням.

Механізмом, який здійснює поворот платформи із сонячними панелями є два актуатора. Вони отримують сигнали на виконання руху від мікроконтролера.

					КвРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		50

### 3.2 Аналіз структур й математичне забезпечення слідкуючих систем

Одним з найважливіших пристроїв геліостанції є привод слідкуючих систем позиціонування, який орієнтує панелі геліостанцій на напрям сонячного випромінювання і, своєю роботою, забезпечує до 40% отриманої енергії.

На рисунку 3.1 показано схему дії приводу позиціонування приймача, на якому:  $i$  – кут падіння сонячних променів на поверхню приймача;  $\theta$  – кут падіння сонця;  $\alpha$  – азимутальний кут орієнтації приймача;  $w$  – кутове відхилення що має відпрацьовувати слідкуючий привод; СПП – система приводу позиціонування приймача (трекер).

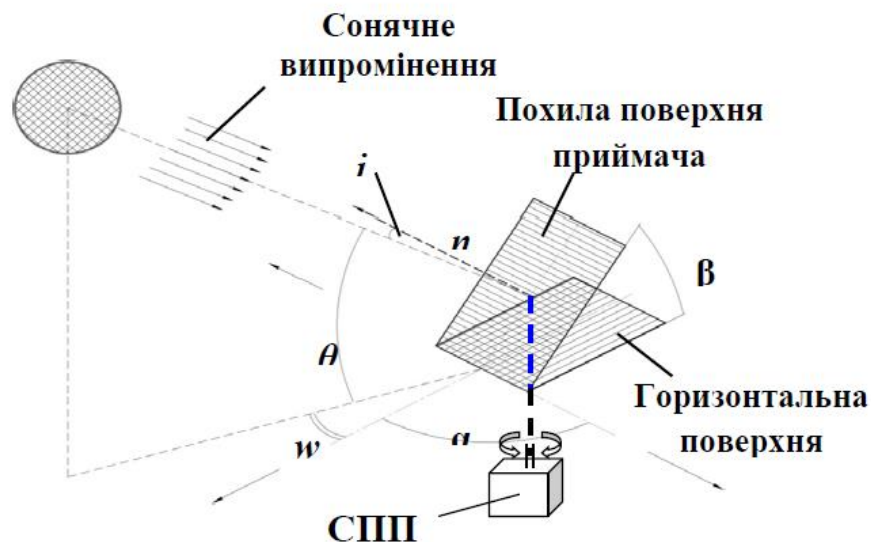


Рисунок 3.1 – Схема дії приводу позиціонування приймача.

В системах позиціонування приймачів використовуються силові системи пристроїв до складу яких входять електричні двигуни, електромеханічні передачі лінійного переміщення та повороту (мотор-редуктори), пневматичні та гідравлічні приводи, та інші виконавчі пристрої, які утворюють слідкуючі системи геліостанцій або трекари.

Особливості структури, складу та функцій приводів позиціонування панелей геліостанцій є наслідком суперпозиції режимів їх експлуатації, умов використання та енергетичної доцільності. Перелічені фактори набувають додаткової ваги для автономних геліостанцій.

Основними з таких факторів є відсутність резервних джерел енергії і тривалі періоди відсутності сонячного випромінювання, неможливість технічного обслуговування впродовж всього експлуатаційного циклу, підвищенні вимогами до надійності з урахуванням змін сезонних умов експлуатації (температури, вологості, опадів та ін.).

В загальному випадку система позиціонування розробляється індивідуально з врахуванням витрат енергії на керування, спостереження і позиціонування, що призводить до необхідності збільшення кількості панелей для компенсації власних енергопотреб геліостанції. Наслідком вказаного є обмеження функціональних можливостей і енергетичного потенціалу геліостанцій. У багатьох випадках слідкуючі електроприводи будуються за принципом підлеглого регулювання на основі двигунів постійного струму, колекторних або вентильних.

Функціональна схема приводу представлена на рис. 3.2, де позначено:

РП - регулятор положення;

РС - регулятор швидкості;

ОР - об'єкт регулювання;

РТ - регулятор струму;

Д - двигун;

ДП, ДС, ДТ - датчики відповідно положення, швидкості і струму.

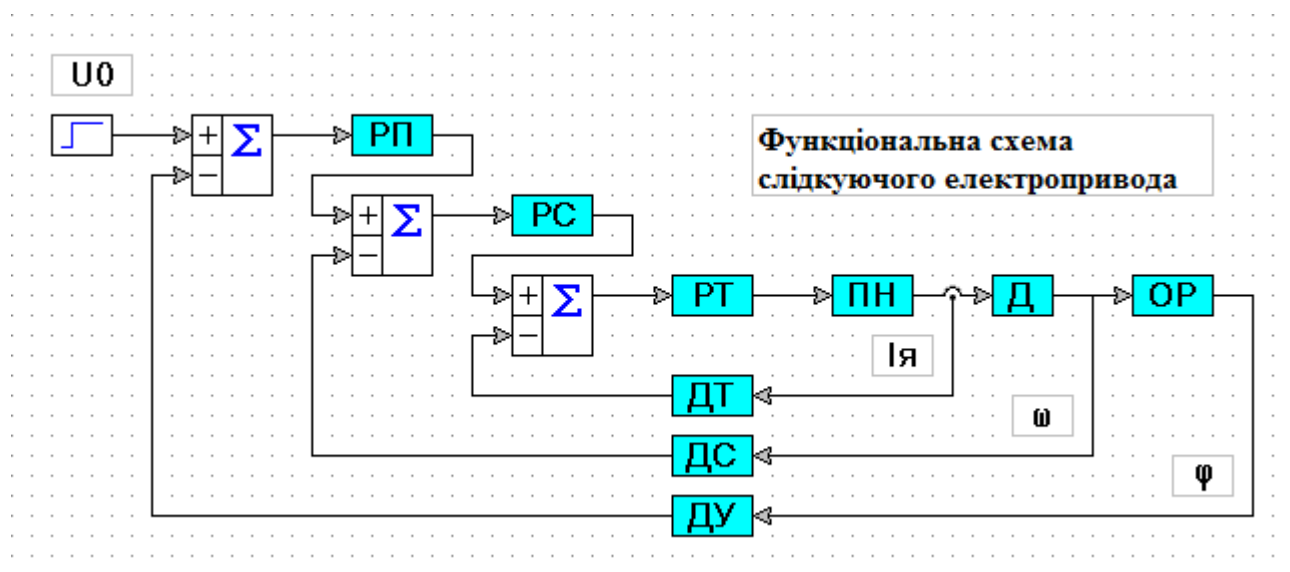


Рисунок 3.2 – Функціональна схема слідкуючого електропривода

Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Як видно з рисунка електропривод містить три контури регулювання: положення, швидкості і струму. Внутрішні контури регулювання (швидкості і струму) будуються також, як і для систем регулювання швидкості. Зовнішній контур містить датчик положення об'єкта відносно базової системи координат. Це може бути датчик кутового положення або будь-який датчик лінійного переміщення.

Сигнал з виходу ДУ порівнюється з керуючим сигналом  $U_0$ , що визначає положення об'єкта. За результатом порівняння РП - виробляється сигнал  $U_{pc}$  регулювання швидкості, який, в кінцевому рахунку, забезпечує обертання двигуна і переміщення ОР – на заданий кут або відстань.

У слідкуючому електроприводі розрізняють два режими роботи: позиціонування і стеження.

У режимі позиціонування привід повинен забезпечити переміщення робочого органу з одного початкового положення в інше за час не більше заданого.

При цьому траєкторія руху найчастіше не має значення, хоча іноді можуть висуватися вимоги по монотонності перехідного процесу, тобто відсутності перерегулювання.

У багатьох випадках в режимі позиціонування висуваються жорсткі вимоги до точності підтримки робочого органу в заданому положенні при наявності зовнішніх збурень.

У режимі стеження привід повинен забезпечити переміщення робочого органу згідно з керуючим впливом, що змінюються за довільним законом, при похибці, що не перевищує заданого значення.

У загальному випадку якість електроприводу оцінюється по точності позиціонування або стеження, запасу стійкості і стійкості до різних чинників.

На сьогодні стосовно сонячних електростанцій застосовуються обидва варіанта. Якщо використовується актуатор працює в кроковому режимі, тоді найбільш доцільно забезпечити перший варіант. Якщо необхідно безперервне стеження за траєкторією руху Сонця, то відповідно потрібен другий варіант.

					КвРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		53

### 3.3 Система управління положенням в режимі стеження

Оцінка якості слідкуючого приводу здійснюється за наступними показниками: точності стеження, запасу стійкості і перешкодостійкості.

Повна кількісна оцінка точності системи може бути реалізована в результаті розгляду її роботи в умовах спільного керуючого і збурюючого впливу. Крім того, на точність слідкуючого електроприводу впливають: інструментальна похибка датчика завдання і датчика положення об'єкта, кінематична похибка виготовлення редуктора, люфт, дрейф нуля підсилювачів, та ін. При розгляді принципів побудови системи доцільно розділити її реакцію: на основне обурення і на керуючий вплив в умовах відсутності перешкод.

Також як і системи регулювання швидкості, що стежать можуть бути багатоконтурними (див. рис. 3.2), так і одноконтурними, з замиканням по куту положення об'єкта. Розглянемо найпростішу одноконтурну систему з пропорційним регулятором і зі структурною схемою (рис. 3.3), в якій всі ланки прямого каналу об'єднані в еквівалентну ланку з передавальною функцією  $W_{пк}$ , а зв'язок між швидкістю вихідного вала і його кутовим положенням врахована інтегруючою ланкою.

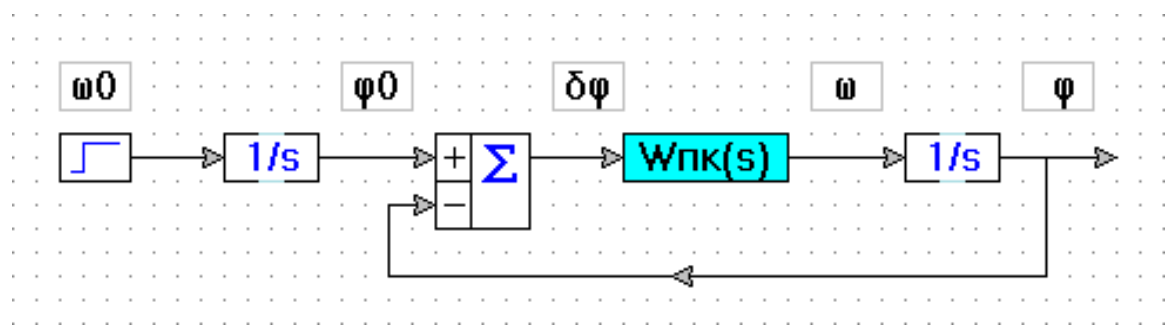


Рисунок 3.3 – Перетворена структурна схема одноконтурної слідкуючої системи

Варто відзначити, що можливості підвищення точності системи за рахунок підвищення передавального відношення або порядку астатизму обмежені. Тому розглянемо ще один метод побудови систем: з комбінованим керуванням, при якому поряд із завданням переміщення в систему вводиться одна або кілька похідних від нього, як це показано на рис. 3.4.

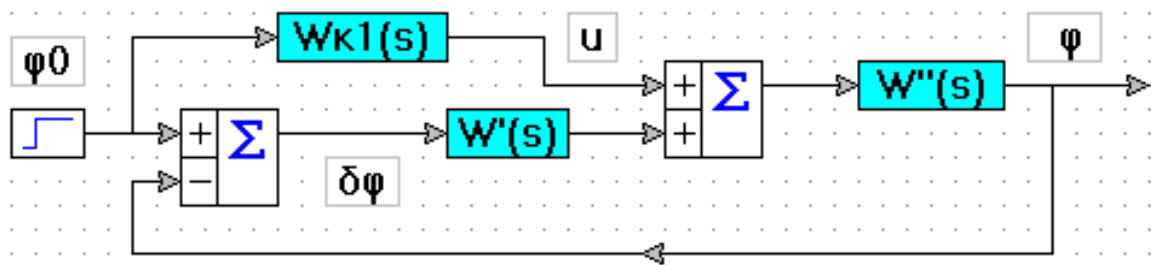


Рисунок 3.4 – Структурна схема системи з комбінованим керуванням

Таким чином, в даній системі крім керуючого сигналу необхідно мати першу і другу похідні від нього. Фізично внаслідок того, що замкнений контур швидкості являє собою не аперіодичну ланку, а складну динамічну систему, повна інваріантність не досягається. Однак викладена методика дозволяє істотно зменшити помилку слідкуючої системи по керуванню.

Ще одним із способів зменшення помилки по керуванню є застосування двоканального приводу, структурна схема якого представлена на рис. 3.5.

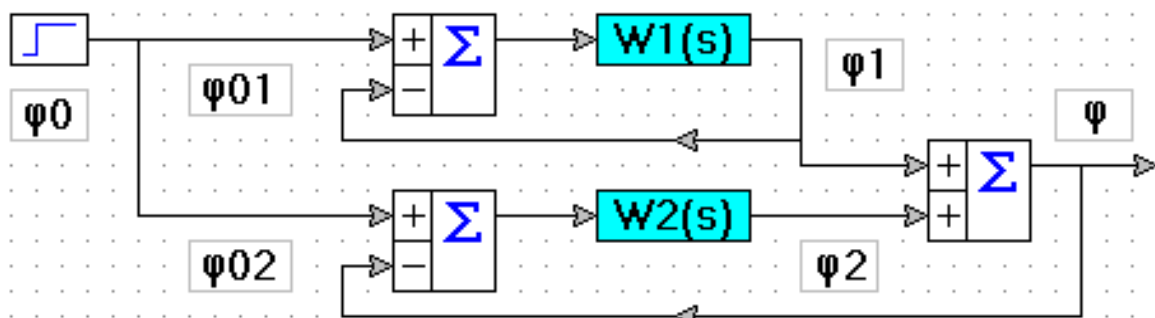


Рис. 3.5 – Структурна схема двоканального приводу

Двоканальний привід може бути реалізований на основі двох двигунів з механічним диференціалом. Кожен двигун живиться від свого перетворювача і має власну систему управління. При цьому один датчик кута встановлюється на виході системи, а інший в вихідному каналі одного з двигунів до диференціала.

### 3.4 Вибір системи електроприводу й моделювання режимів роботи пристрою стеження за траєкторією руху Сонця

З урахуванням вищевикладеного матеріалу, обираємо систему слідкуючого електроприводу на базі двигуна постійного струму ME215 зі збудженням від постійних магнітів. Цільове призначення цього двигуна – привод антени, тому він повністю підходить в якості приводного двигуна системи стеження.

Застосовуємо сучасну структуру системи керування з одним універсальним ПІД-регулятором на вході. В якості контрольованого технологічного параметру обираємо кут повороту трекера.

Функціональна схема слідкуючого електроприводу за системою транзисторний перетворювач-двигун ТрП-Д наведена на рис. 3.6.

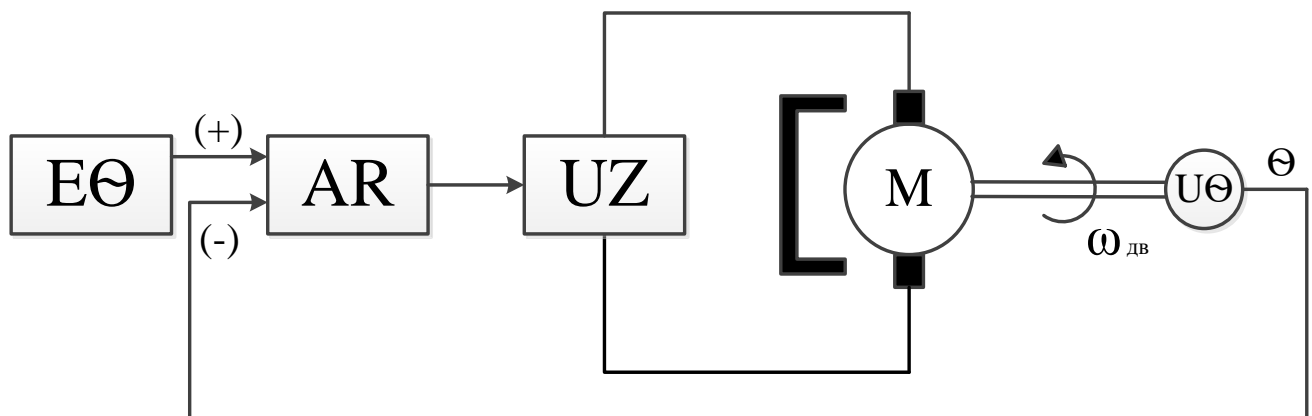


Рисунок 3.6 – Функціональна схема слідкуючого електроприводу за системою ТрП-Д

На схемі позначені наступні елементи:

*M* - двигун постійного струму зі збудженням від постійних магнітів;

*UZ* - керований транзисторний перетворювач;

*AP* - регулятор положення;

*UΘ* - виконавчий механізм переміщення;

*EΘ* - вузол завдання траєкторії руху сонця.

Побудована відповідна структурна схема, зображена на рис. 3.7.

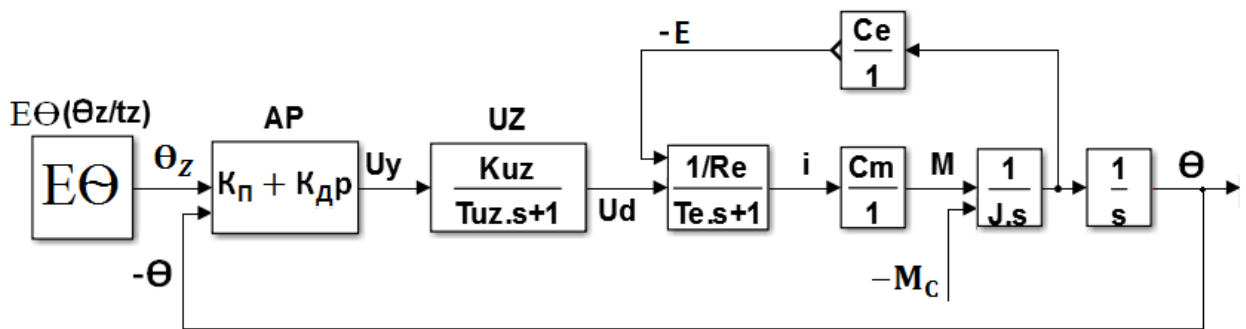


Рисунок 3.7 – Структурна схема слідкуючого електроприводу за системою ТрП-Д

Блок  $E\Theta$  формує сигнал заданого кута руху сонця  $\Theta_z$ . Регулятор положення  $AP$  для прийнятої структури згідно правил підлеглого регулювання є пропорційно-диференціюючим регулятором з коефіцієнтом  $K_p$  пропорційної частини й коефіцієнтом  $K_d$  диференціюючої частини.

Перетворювач  $UZ$  представлений аперіодичною ланкою першого порядку з коефіцієнтом передачі  $K_{тп}$  та малою сталою часу  $T_{\mu}$ . Передатна функція якірного кола двигуна також є аперіодичною ланкою першого порядку з урахування еквівалентного опору  $R_e$  та еквівалентної сталої часу  $T_e$ . Коефіцієнт  $C_m$  реалізує пропорційний зв'язок між струмом  $i$  та моментом  $M$  двигуна, а коефіцієнт  $C_e$  враховує пропорційність між кутовою швидкістю  $\omega$  та електрорушійною силою  $E$  двигуна. Момент інерції  $J$  відповідає повному моменту інерції системи.

На базі розглянутої структурної схеми в пакеті MATLAB-Simulink синтезована структурна модель, котра показана на рис. 3.8.

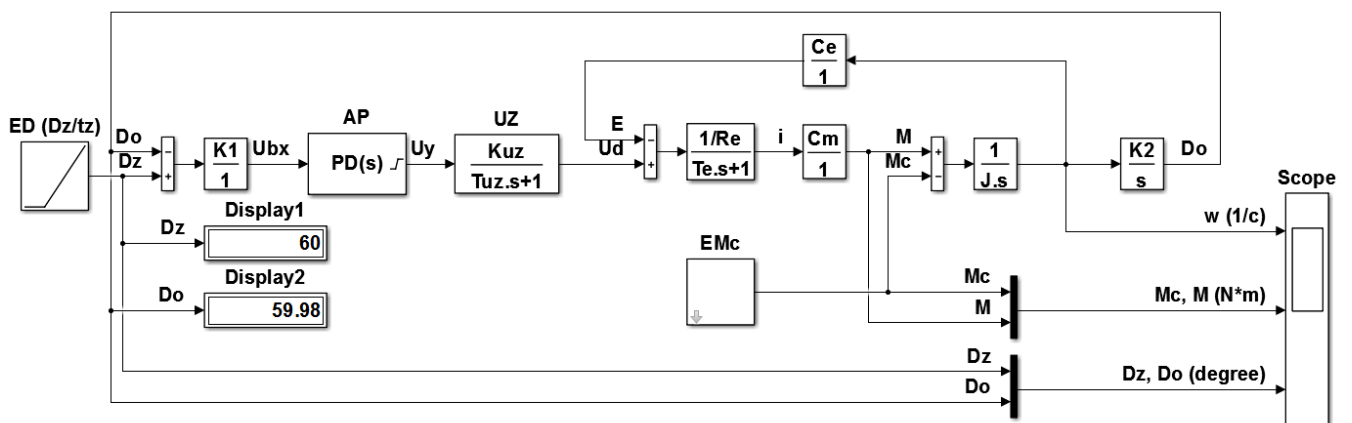


Рисунок 3.8 – Структурна модель слідкуючого електроприводу з системою ТрП-Д

В моделі додатково введені два коефіцієнта:  $K1$  – зв'язує кутове переміщення  $Dz$ ,  $Do$  (град) з вхідним сигналом  $U_{bx}$  (В) в каналі керування,  $K2$  – прив'язує кутову швидкість двигуна  $\omega$  до кута повороту  $Do$  вала виконавчого механізму. Блоки *Display1*, *Display2* фіксують чисельні значення відповідно заданого кута  $Dz$  руху сонця та кута повороту  $Do$  сонячної батареї.

Віртуальний осцилограф *Scope* забезпечує візуалізацію перемінних за трьома каналами: кутової швидкості  $\omega$  (1/с), заданого блоком *EMc* статичного навантаження  $Mc$  (Нм) та моменту  $M$  (Нм) двигуна, заданого кута  $Dz$ (град) руху сонця й фактичного кутового переміщення  $Do$  (град) сонячної батареї.

Для прив'язки руху сонця до переміщення сонячної батареї прийнята швидкість руху сонця 15 град/год, котра знайдена виходячи з того, що сонце обертається на 360 градусів за сутки, тобто маємо  $360/24=15$ .

Приймаємо для сонячних батарей робочий діапазон за часом 10.00–14.00, оскільки на початку сходу сонця і наприкінці сонячного заходу сонячні батареї практично не працюють за рахунок малих кутів нахилу сонця до горизонту й незначної освітленості.

Цьому відрізку часу відповідає кутове переміщення сонця  $(14-10) \cdot 15=60$ .

Таким чином, в якості вихідних даних отримаємо: кутове переміщення сонця 60 град за час 14400 с (відповідає прийнятому часу руху 4 години).

Отримані в результаті моделювання діаграми контрольованих перемінних а також поведінку системи в момент запуску ілюструють розтягнуті за часом діаграми наведені у додатку В: «Діаграми контрольованих перемінних».

Всі потрібні вихідні дані, застосовані розрахункові формули, чисельні значення параметрів та перемінних структурної моделі подані у листингу та у вигляді m-файлу, котрий зображено у додатку Г: «Лістинг системи *MATLAB*».

Кутові переміщення сонця і трекера відповідають завданню (60 град за 14400 с) і практично співпадають. Похибка відпрацювання траєкторій на основі показань блоків *Display* становить всього:  $100 \cdot (60-59,98)/60 = 0,033 \%$  .

Діаграми показують, що швидкість плавно виходить на номінальний рівень, а пусковий момент має припустиме значення. Час запуску складає близько 30 с.

					КвРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		58

### 3.5 Висновки до третього розділу

1. Для забезпечення плавності і безперервності руху АФЕУ в процесі стеження при дії зовнішніх збурень, а саме вітрового і випадкового навантаження, запропонована нова функціональна схема контуру управління струмом електромеханічного виконавчого механізму з КД. Проведено дослідження алгоритму управління контуром струму електромеханічного виконавчого механізму при дії вітрового навантаження в функції від непрямої помилки стеження та її похідної, яка визначається по датчику положення Сонця.

2. У структурі нелінійного управління амплітудою струму в КД функції від непрямої помилки стеження та її похідної запропоновано використовувати ПІ-регулятор з нелінійним задатчиком інтенсивності на вході. Результати цифрового моделювання системи стеження з КД при дії зовнішнього (вітрового) навантаження показали, що в КД відсутні збої при дворазовому збільшенні зовнішнього навантаження.

3. Підвищення надійності роботи АСУ стеження при дії вітрового навантаження (ураганного вітру) досягається наступними рішенням: введенням в схему системи АФЕУ п'ятого кінцевого вимикача на механічну раму з СБ по куту місця на 90 градусів з підключенням його до контролера стеження.

4. Розроблено математичні і комп'ютерні моделі, за допомогою яких проведено експерименти та підтверджено теоретично очікувані результати. В якості контрольованого технологічного параметру обрано кут повороту трекера. Розроблена функціональна схема слідкуючого електроприводу за системою транзисторний перетворювач-двигун ТрП-Д.

					КВРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		59

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання роботи було вирішено завдання по підвищенню енергетичної ефективності технологічного процесу виробництва електричної енергії АФЕУ. Проведені дослідження дозволили отримати наступні основні результати:

1. Підвищено енергетичну ефективність виробництва електричної енергії в АФЕУ шляхом розробки АСУ стеження СБ за Сонцем з безперервно-дискретним принципом стеження, який дозволив реалізувати максимальну ефективність виробництва енергії за рахунок забезпечення заданої точності стеження при мінімізації витрат електричної енергії під час стеження за Сонцем.

2. Запропоновано структуру АСУ з безперервно-дискретним стеженням АФЕУ за Сонцем з регульованим дискретним кроком переміщення під час стеження в функції поточної освітленості, що забезпечує задану точність спостереження, підвищення енергетичної ефективності сонячних батарей.

3. Розроблено спосіб і алгоритм управління виконавчим механізмом, що працює в режимі позиціонування, який забезпечив зменшення споживання енергії виконавчим механізмом в режимі стеження сонячних батарей за Сонцем.

4. Розроблено математичні та комп'ютерні моделі, за допомогою яких проведено експерименти та підтверджено теоретично очікувані результати.

Для мінімізації енергоспоживання виконавчим механізмом з КД при безперервно-дискретному стеженні СБ за Сонцем запропоновано після здійснення циклу переміщення СБ вимикати силові драйвери КД.

					КВРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм..	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		60

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Коваль В., Івасечко Р., Козак К.. Енергетична ефективність систем позиціонування плоских сонячних панелей. Енергозбереження, 2015, випуск 135.
2. Бабієв Г. М. Перспективи впровадження нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні. *Запоріжжя: ВАТ "Гамма"*, 2008. №1. С. 63-64.
3. Комарова О. Альтернативні джерела енергії в Україні. Енергія природи: інформаційний портал про альтернативні джерела енергії у світі та Україні.
4. H.Mousazadeh, A. Keyhani, A. Javadi, H. Mobli, K. Abrinia. A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019.
5. Z.Hafez, H.Shazly, B.Eteiba. Comparative evaluation of optimal energy efficiency designs for solar tracking systems. *Proc. of the Third Intl. Conf. on Advances Science and Environmental Engineering*. 2015, pp.134–141.
6. A. Al-Mohamad. Efficiency improvements of photo-voltaic panels using a Sun-tracking system. *Applied Energy*. 2014. vol. 79, pp. 345–354.
7. C. Sungur. Multi-axes sun-tracking system with PLC control for photovoltaic panels in Turkey. *Renewable Energy* 2017. vol. 34, pp. 119- 125.
8. S. Ray, A. K. Tripathi. Design and development of Tilted Single Axis and Azimuth-Altitude Dual Axis Solar Tracking systems. 2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES). 2016. P. 1-6.
9. Tracing the Sun: Dual Axis Solar Tracker System URL: <https://electronicsforu.com/electronics-projects/hardware-diy/dual-axis-solar-tracker-system>

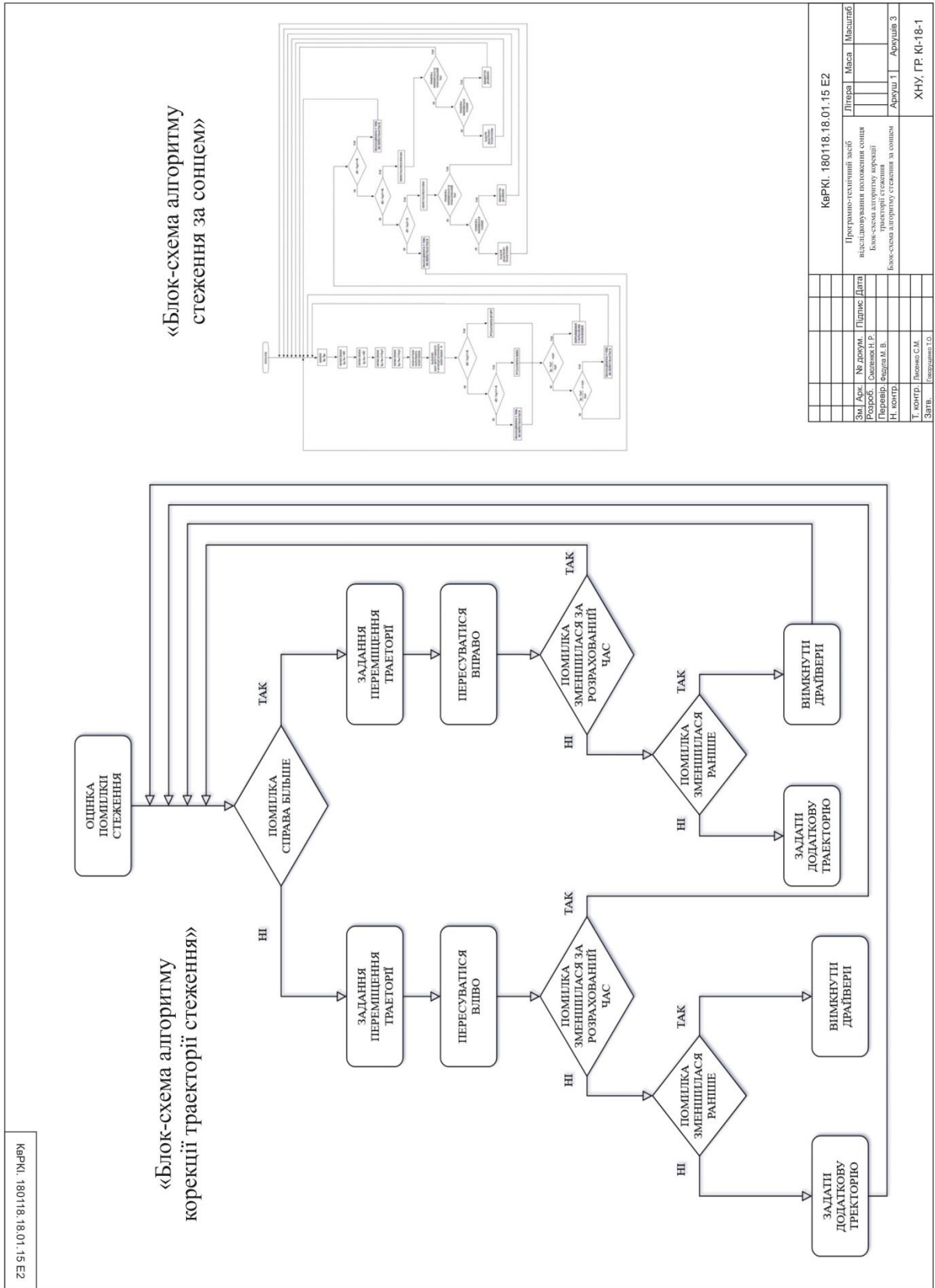
					КВРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		61

10. Home Solar Panels, Commercial & Utility-Scale Solar Solutions. URL: <http://www.us.sunpower.com>
11. A collection of resources for the photovoltaic educator. URL: <http://www.pveducation.org>
12. Сонячні панелі, батареї та енергоустановки ALTEK. URL: <https://altek.ua/>
13. DITRAS. URL: [http://www.suninfocus.com.ua /ru/products/index.html](http://www.suninfocus.com.ua/ru/products/index.html)
14. TITAN TRACKER. URL: <http://www.titantracker.es>
15. TRAXLE products and technology. URL: <http://www.solar-trackers.com>
16. SOLAR POWER TRACKING. URL: <http://www.merlin-power-systems.com/products/productscommercial/products-commercial>
17. One Stop Green Construction and Remodeling Supply. URL: <http://www.ecosmartinc.com/index.php>
18. Опис руху сонця. URL: <https://prel.prom.ua/a279654-sonyachnij-treker-scho.html>

					КВРКІ. 180118.18.01.15 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		62

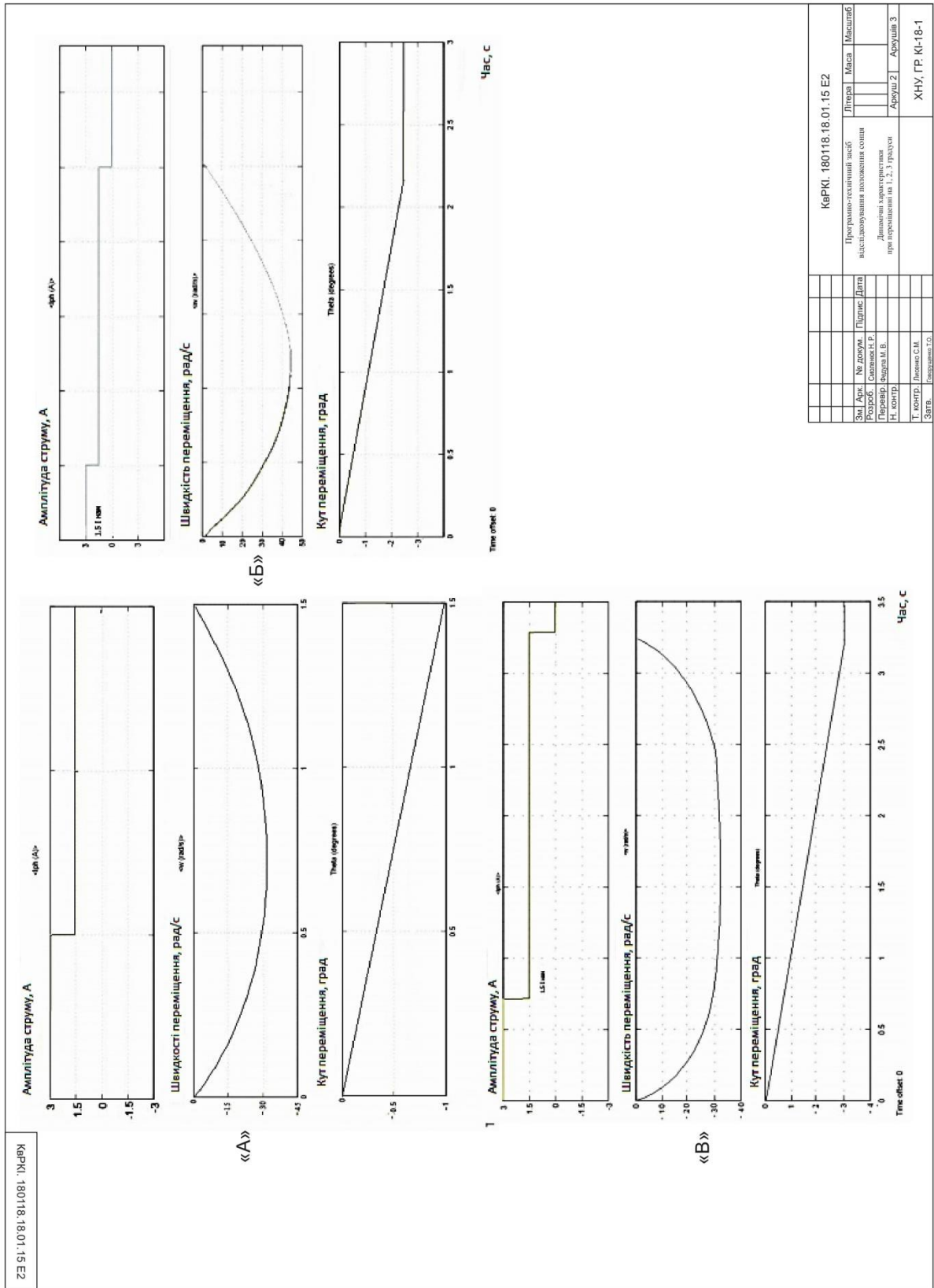
# Додаток А (обов'язковий)

Копії креслень «Блок-схема алгоритму корекції траєкторії стеження» та  
«Блок-схема алгоритму стеження за Сонцем»



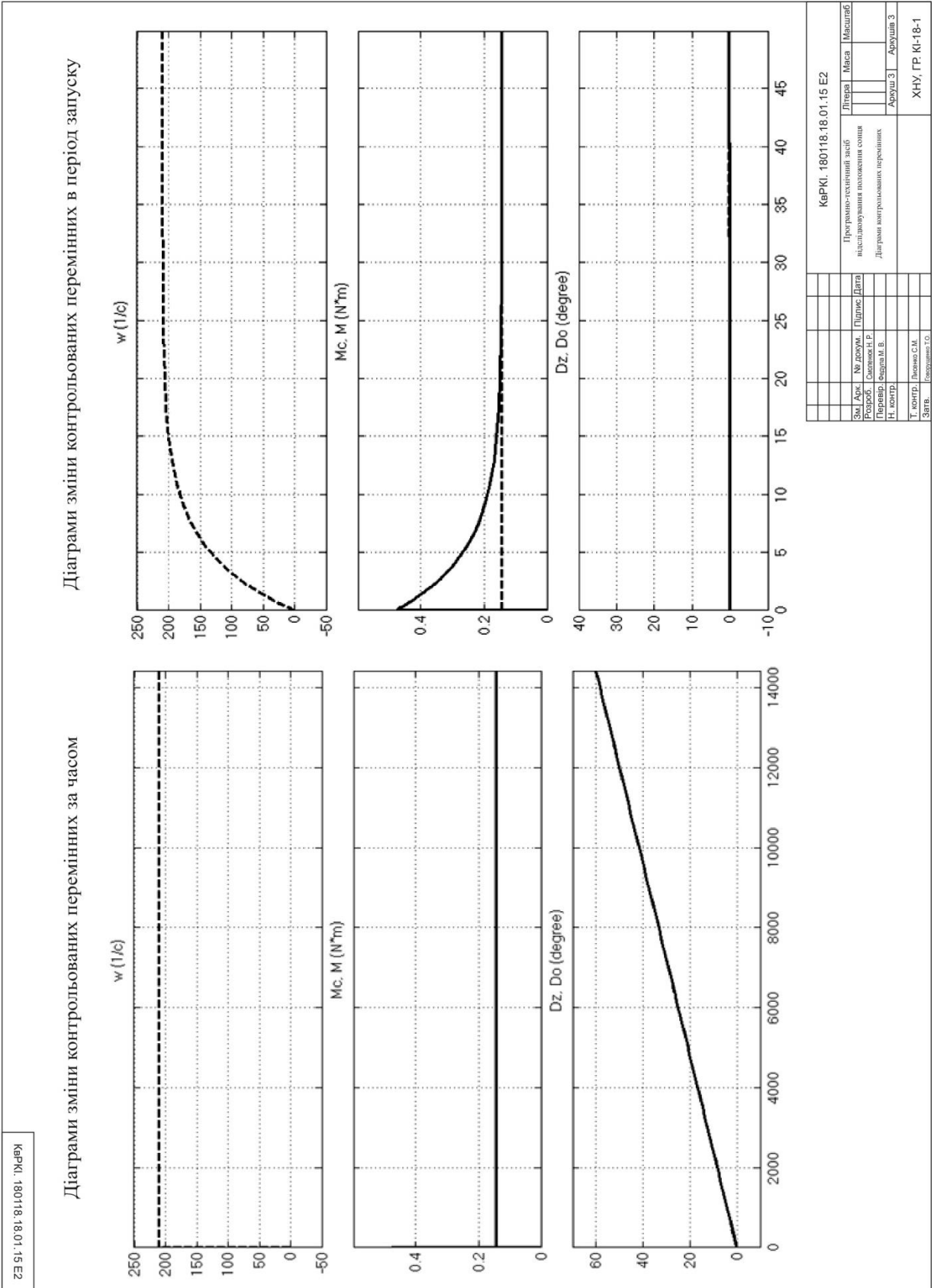
## Додаток Б (обов'язковий)

Копії креслень «Динамічні характеристики при переміщенні на 1, 2, 3 градуси»



## Додаток В (обов'язковий)

Копії креслень «Діаграми контрольованих перемінних»



## Додаток Г

(обов'язковий)

Лістинг системи MATLAB:

```
% Вихідні дані
Dz=60, tz=14400
% Електричний двигун МЭ215
Pn=30, Un=12, Nn=2000, pp=2
In=6.25, Jdv=0.004
Re=0.57, Le=0.0023
% Тиристорний перетворювач
Kuz=Un/10, Tuz=0.01
% Розрахунок параметрів структурної схеми
wn=0.105*Nn, Mn=Pn/wn
Te=Le/Re, J=2*Jdv
Ce=(Un-In*Re)/wn, Cm=Mn/In
K1=10/Dz, K2=1*Dz/(wn*tz), ap=2
Kp=Cm/(ap*Tuz*Kuz*K1*K2)
Kd=J*Re/(ap*Tuz*Kuz*K1*K2*Cm)
```

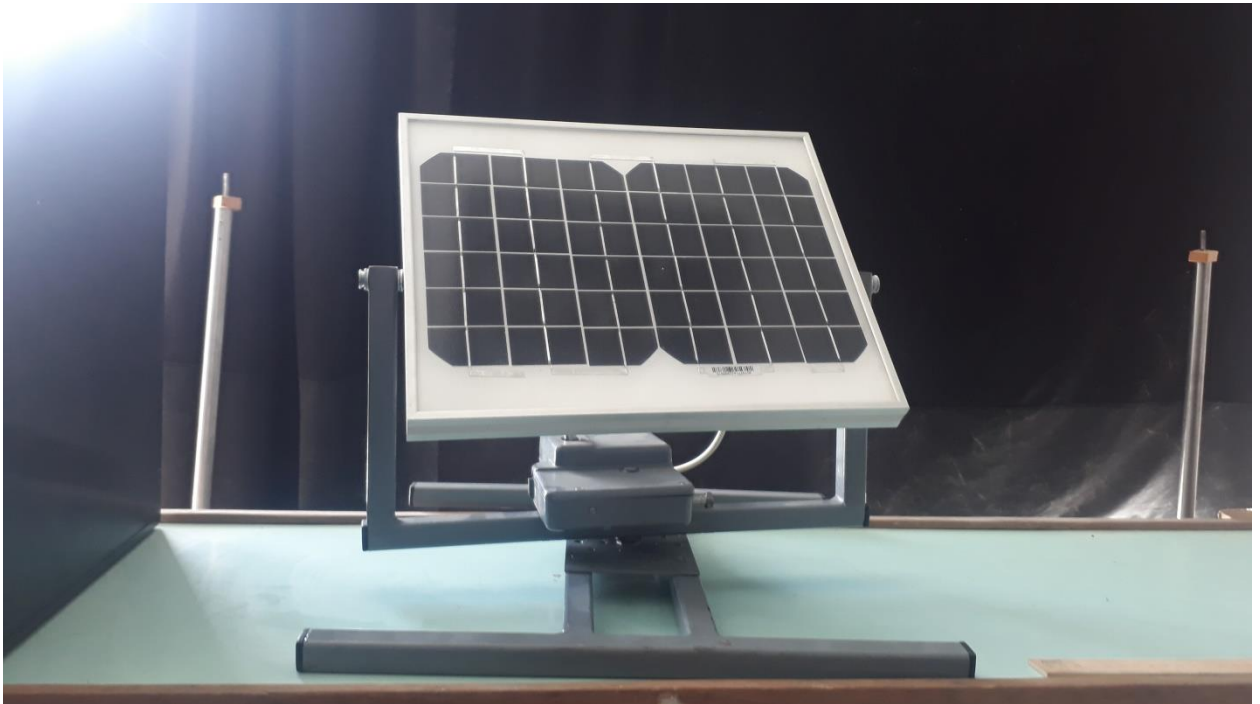
М-файл до структурної моделі

ap	2
Ce	0.0402
Cm	0.0229
Dz	60
In	6.2500
J	0.0080
Jdv	0.0040
K1	0.1667
K2	1.9841e-05
Kd	2513700
Kp	288000
Kuz	1.2000
Le	0.0023
Mn	0.1429
Nn	2000
Pn	30
pp	2
Re	0.5700
Te	0.0040
Tuz	0.0100
tz	14400
Un	12
wn	210

Чисельні значення параметрів та перемінних структурної моделі

Додаток Д  
(обов'язковий)

Автономна фотоелектрична енергоустановка (АФЕУ)



Ім'я користувача:  
Кафедра КІ

ID перевірки:  
1011525717

Дата перевірки:  
09.06.2022 18:30:14 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
09.06.2022 18:41:05 EEST

ID користувача:  
100005591

Назва документа: Смоленюк\_Програмно-технічний засіб відслідковування положення сонця

Кількість сторінок: 60 Кількість слів: 10058 Кількість символів: 77195 Розмір файлу: 2.31 MB ID файлу: 1011399151

## 17.9% Схожість

Найбільша схожість: 6.32% з Інтернет-джерелом ([https://otherreferats.allbest.ru/physics/00799404\\_0.html](https://otherreferats.allbest.ru/physics/00799404_0.html))

17% Джерела з Інтернету

38

Сторінка 62

0.95% Джерела з Бібліотеки

73

Сторінка 62

## 0.06% Цитат

Цитати

2

Сторінка 63

Не знайдено жодних посилань

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

20

**Anti-Plagiarism v-15.257****Максимальное совпадение с одним документом 8.0%**

Словари проверки: en\_US, ru\_RU, uk\_UA. Ошибок в документах: 10%

ID: 104953 Название: Програмно-технічний засіб відслідковування положення сонця Додано в БД: 2022-06-10 Автор: Н. Р. Сметюк Руководитель: М. В. Федута Консультант: Опоненты:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
	Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
	71888	531	10570 (14%)	124 (23%)

## Источники плагиата

ID	Описание	Наличие плагиата в документе	
		Символы	Лексемы

## РЕЦЕНЗІЯ

на бакалаврську кваліфікаційну роботу студента групи КІ-18-1  
Смоленюка Назарія Руслановича на тему: “ Програмно-технічний засіб  
відслідковування положення сонця ”

Бакалаврська кваліфікаційна робота присвячена розробці програмно-технічного засобу для відслідковування положення сонця фотоелектричним сонячним модулем.

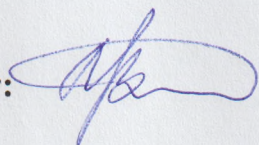
Розроблено програмно-технічний засіб, який дозволяє підвищити ефективність відбору електричної енергії від фотоелектричного сонячного модуля шляхом відслідковування положення сонця відносно поверхні сонячної панелі. Побудовано алгоритм відслідковування, який дозволяє підтримувати значення кутів нахилу поверхні сонячної панелі максимально близькими до  $90^0$  відносно напрямку сонячного випромінювання.

Всі розділи бакалаврської роботи виконанні сумлінно та на достатньому технічному рівні.

До недоліків роботи можна віднести недостатній аналіз результатів імітаційного моделювання розробленого програмно-технічного засобу.

Вважаю, що бакалаврська кваліфікаційна робота Смоленюка Н.Р. заслуговує оцінки «добре», а він заслуговує присвоєння кваліфікації бакалавр з комп'ютерної інженерії.

Рецензент:



Мартинович В.В.

Завідувачу кафедри КІСП  
д-ру техн.наук, проф. Говорущенко Т. О.

Смоленюка Н.Р.

---

ІІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ-18-1

### ЗАЯВА

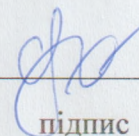
З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

10.06.2022

дата

  
підпис

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ**  
**КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ**  
**ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Програмно-технічний засіб відслідковування положення сонця

Автор: Смоленюк Назарій Русланович

Спеціальність: 123 – Компютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Федула Микола Васильович, к.т.н, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

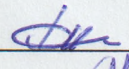
- 1) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.
- 2) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з 15-20 джерелами на один фрагмент речення;
- 3) в якості запозичень в окремих місцях системою зафіксовано послідовності чотирьохрозрядних двійкових кодів, які є вхідними даними до великої кількості задач і не можуть розглядатися як об'єкт авторських прав і, відповідно, їх порушення;
- 4) запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ідентичності/схожості, складає 5.25% і адресується до 401 першоджерела, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи

Гарант ОП

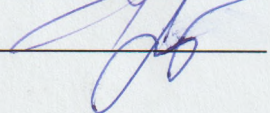
Завідувач кафедри КІС

  
\_\_\_\_\_

М. В. Федула

  
\_\_\_\_\_

С. М. Лисенко

  
\_\_\_\_\_

Т. О. Говорущенко