

M&MS 2023, 19-20 October, Kharkiv, UKRAINE



VII International Conference
MANUFACTURING
&
MECHATRONIC
SYSTEMS

УДК: 005:004.896:62-65:338.3

Виробництво & Мехатронні Системи 2023: матеріали VII-ої Міжнародної конференції, Харків, 19-20 жовтня 2023 р.: тези доповідей / [редкол. І.Ш. Невлюдов (відповідальний редактор)].-Харків: [електронний друк], 2023 - 163с.

У збірник включені тези доповідей, які присвячені сучасним тенденціям розвитку технологій та засобів виробництва та мехатронних систем, передовому досвіду та впровадженню їх в галузях систем промислової автоматизації та керування виробництвом; системній інженерії; CAD/CAM/CAE системах; мехатроніці (електро-механічних системах, електронних інструментах систем керування, механічних CAD системах); робототехніці та засобах інтелектуалізації; MEMS (сучасних матеріалів та технологіях виготовлення MEMS) та компонентах і технологіях автоматизації видобутку, переробки та транспортування нафти та газу.

Редакційна колегія: І.Ш. Невлюдов, В.В. Євсєєв.

Manufacturing & Mechatronic Systems 2023: Proceedings of VIIst International Conference, Kharkiv, October 19-20, 2023: Theses of Reports / [Ed. I.Sh. Nevlyudov (chief editor).] .- Kharkiv .: [electronic version], 2023. - 163 p.

The collection includes the theses of reports on modern trends in the development of technologies and means of production and mechatronic systems, top experience and implementation of them in fields of: industrial automation and production management systems; systems engineering; CAD/CAM/CAE systems; mechatronics (electrical and mechanical systems, electronic control tools, mechanical CAD systems); robotics and intellectual tools; MEMS (modern materials and manufacturing technologies MEMS) and components and technologies for the automation of oil, gas and oil extraction, processing and transportation.

Editorial board: Igor.Sh. Nevlyudov, Vladyslav.V. Yevsieiev

© Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій,
автоматизації та робототехніки (KITAP),
ХНУРЕ,2023

Міністерство освіти і науки України (МОНУ)
Харківський національний університет радіоелектроніки (ХНУРЕ)
Варшавський університет сільського господарства (WULS - SGGW)
Азербайджанський державний університет нафти і промисловості
Національний університет «Львівська політехніка»
Festo Didactic Україна
Jabil Circuit Ukraine Limited
ТОВ «Науково-виробниче підприємство «УКРІНТЕХ»»
Факультет автоматики і комп'ютеризованих технологій (АКТ)
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР),
Державне підприємство «Науково-дослідний технологічний інститут приладобудування»
Державне підприємство «Південний державний проектно-конструкторський та науково-дослідний інститут авіаційної промисловості»

МАТЕРІАЛИ

VII-ої Міжнародної Конференції
ВИРОБНИЦТВО
&
МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ 2023
(19-20 жовтня 2023)
Харків, Україна



ОРГАНІЗАТОРИ



Міністерство
освіти і науки
України

Міністерство освіти і науки України (МОНУ)
The Ministry of Education and Science of Ukraine



NURE
Kharkiv National University
of Radioelectronics

Харківський національний університет
радіоелектроніки (ХНУРЕ)

Kharkiv National University of Radioelectronics



**WARSAW UNIVERSITY
OF LIFE SCIENCES
- SGGW**

Варшавський університет сільського
господарства (WULS - SGGW)

Warsaw University of Life Sciences WULS - SGGW



Азербайджанський державний університет
нафти і промисловості

Azerbaijan State Oil and Industry University



Festo Didactic Україна

Festo Didactic Ukraine



ТОВ «Науково-виробниче підприємство
«УКРІНТЕХ»»

Research and Production Enterprise
"UKRINTECH" Ltd



Національний університет «Львівська
політехніка»

National University Lviv Polytechnic

Державне підприємство «Харківський науково-
дослідний інститут технології машинобудуван-
ня», м. Харків, Україна

State Enterprise «Kharkiv Scientific-Research
Institute of Mechanical Engineering Technology»,
Kharkiv, Ukraine



Державне підприємство «Південний державний
проектно-конструкторський та науково-
дослідний інститут авіаційної промисловості»,
м. Харків, Україна

State Enterprise «National Design & Research
Institute of Aerospace Industries», Kharkiv,
Ukraine



Jabil Circuit Ukraine Limited

КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

МІЖНАРОДНИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

- Ігор Шакирович Невлюдов** голова комітету конференції, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР), Харківського національного університету радіоелектроніки, Україна
- Олександр Іванович Филипенко** заступник голови комітету конференції, доктор технічних наук, професор, декан факультету Автоматики і комп'ютеризованих технологій (АКТ), Харківського національного університету радіоелектроніки, Україна.
- Мурад Анвер огли Омаров** доктор технічних наук, професор, проректор з міжнародного співробітництва, Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна
- Владислав В'ячеславович Євсєєв** секретар, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (КІТАР), Харківського національного університету радіоелектроніки, Україна.
- Andrzej Chochowski** доктор технічних наук, професор Варшавського університету сільського господарства (WULS - SGGW), Польща
- Pawel Obstawski** доктор технічних наук, професор Варшавського університету сільського господарства (WULS - SGGW), Польща.
- Сергій Богомолів** лектор/доцент, доктор філософії (комп'ютерні науки), Дослідницька школа комп'ютерних наук, Коледж інженерії та комп'ютерних наук, Австралійський національний університет, Австралія.
- Микола Васильович Замірець** доктор технічних наук, професор, директор Державного підприємства Науково-дослідного технологічного інституту приладобудування, Україна
- Михайло Васильович Лобур** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри систем автоматизованого проектування Національного університету «Львівська політехніка», Україна.
- Євген Сергійович Риженко** керівник відділу дидактики ДП «Фесто», Україна
- Сергій Володимирович Демченко** директор ТОВ «Науково-виробничого підприємства «УКРІНТЕХ»», Україна.

- Самед Імамалі огли Юсіфов** кандидат технічних наук, доцент, декан факультету інформаційних технологій та управління, Азербайджанський державний університет нафти і промисловості, Азербайджан.
- Фарід Гаджі огли Агасв** кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри управління та системної інженерії, Азербайджанський державний університет нафти і промисловості, Азербайджан.
- Віктор Васильович Косенко** доктор технічних наук, доцент, директор Державного підприємства «Харківського науково-дослідного інституту технології машинобудування», Україна.
- Володимир Вікторович Козирський** доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту енергетики, автоматики та енергозбереження, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.
- Віталій Пилипович Лисенко** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматики та робототехнічних систем ім. акад. І.І. Мартиненка, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.
- Юрій Францевич Зіньковський** доктор технічних наук, професор кафедри радіоконструювання і виробництва радіоапаратури, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна.
- Володимир Митрофанович Свищ** доктор технічних наук, професор, радник директора Державного науково-виробничого підприємства «Об'єднання Комунар», Україна.
- Віталій Євгенович Овчаренко** доктор технічних наук, професор, заступник директора з наукової роботи Державного підприємства «Науково-дослідний технологічний інститут приладобудування», Україна.
- Лариса Сергіївна Глоба** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційно-комунікаційних мереж, Інститут телекомунікаційних систем Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна.
- Анатолій Олександрович Андрусевич** доктор технічних наук, професор, начальник Криворізького коледжу Національного авіаційного університету, Україна.
- Роман Володимирович Артюх** кандидат технічних наук, директор Державного підприємства «Південний державний проектно-конструкторський інститут авіаційної промисловості», Україна.

- Glen Kurtwitz** генеральний менеджер Titan Machinery Limited, Шотландія.
- Liu Shan** генеральний менеджер Titan Machinery Limited, Китай.
- Володимир Андрійович Павлиш** кандидат технічних наук, професор, перший проректор Національного університету «Львівська політехніка», Україна
- Сергій Іванович Осадчий** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації виробничих процесів, Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна.
- Анатолій Афанасійович Єфіменко** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електронних засобів та інформаційно-комп'ютерних технологій, Одеський національний політехнічний університет, Україна
- Анатолій Петрович Ладанюк** доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації та інтелектуальних систем, Національний університет харчових технологій, Україна.
- Володимир Михайлович Решетюк** кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики та робототехнічних систем ім. акад. І.І. Мартиненка, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна.

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ КОНФЕРЕНЦІЇ

- Олександр Михайлович Цимбал** заступник голови конференції з організаційних питань, доктор технічних наук, професор комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (KITAP), Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.
- Сергій Павлович Новоселов** кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (KITAP), Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.
- Євген Анатолійович Разумов-Фризюк** кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (KITAP), Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.
- Наталія Павлівна Демська** кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки (KITAP), Харківський національний університет радіоелектроніки, Україна.

Вирішення задачі зворотної кінематики для рухливих кінцівок робототехнічної платформи

Дмитро Гурін¹

1. Кафедра КІТАМ, Харківський національний університет радіоелектроніки, УКРАЇНА,
Харків, пр. Науки. 14., email: dmyrto.gurin@nure.ua

Анотація: В даному матеріалі наведено вирішення задачі зворотної кінематики для рухомої кінцівки робототехнічної платформи

Ключові слова: зворотня кінематика, робототехніка, FreeCAD.

Вступ

Дослідження в галузі робототехніки є одним із перспективних напрямків у розробці мобільних роботів, що спрямовані на вчасне та вдале здійснення пошукових операцій у різних потенційно небезпечних та несприятливих для людей умовах, таких як гетерогенні катастрофи, природні катастрофи, інциденти локального чи індивідуального масштабу тощо. В даний час різко зростає кількість роботів, розроблених із метою пошуку постраждалих від природних та штучних катастроф. В основному такі засновані на необхідності подолання таких перешкод, для яких рятувальники, пошукові тварини та літаючі дрони були б менш ефективними. Дуже часто такі роботи мають за основу способи руху як від живих істот, так і від вже створеними у минулому механізмів.

Провідні робототехнічні компанії та розробники університеті Карнегі-Меллон iRobot, Boston Dynamics, Pliant Energy Systems, Hydranalix, VideoRay: та їх моделі PackBot, Snakebot, Atlas, Velox, EMILY, Mission Specialist тощо, займаються відповідними дослідженнями в цієї галузі та виробляють моделі роботів для пошукових робіт, що наразі використовуються як і по призначенню, так і для аналізу та прототипування подальших робототехнічних проектів..

Корегування платформи за рахунок зворотної кінематики

Щоб полегшити користувачам переміщення кінцевого елемента кінцівок робота в певні положення, потрібен метод зворотного кінематичного руху. У цьому методі використовуються вхідні координати позиції у формі X , Y і Z . Вихідні дані зворотної кінематики – це кут, який утворився на з'єднанні.

На рисунках 1 та 2 (де інструментами FreeCAD для розрахунків зворотної кінематики виміряні початкові значення, що занесені у таблицю 1) чотириногий робот має по 3 суглоби на кожній нозі. Кут є утворений суглобом, тобто маються кут тазу (A_0), кут стегна (A_1), кут гомілки (A_2).

У самому кодї керування значення цих кутів перетворюються на значення ШІМ для переміщення сервоприводу через драйвер серводвигунів.

Зворотні кінематичні функції, за якими будуть вестись розрахунки вимагають введення осей координат X , Y та Z у такому виді: вісь X представляють рухи робота вперед і назад, вісь Y означає рухи робота праворуч і ліворуч, вісь Z означає рухи робота вгору та вниз.

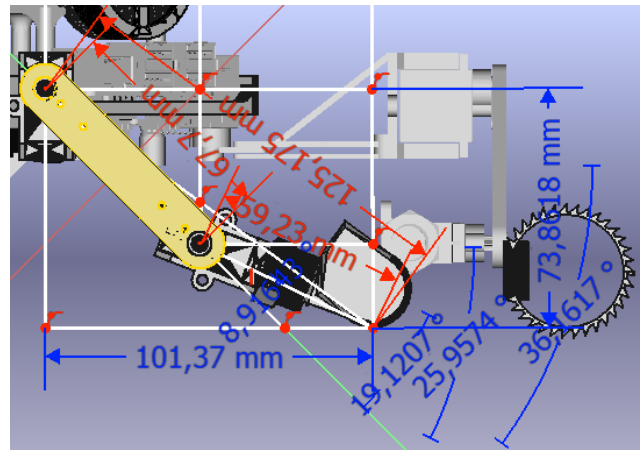


Рис.1. Вид збоку на площину, що спільна для суглобів стегна та гомілки ноги робота, які регулюють нахили платформи

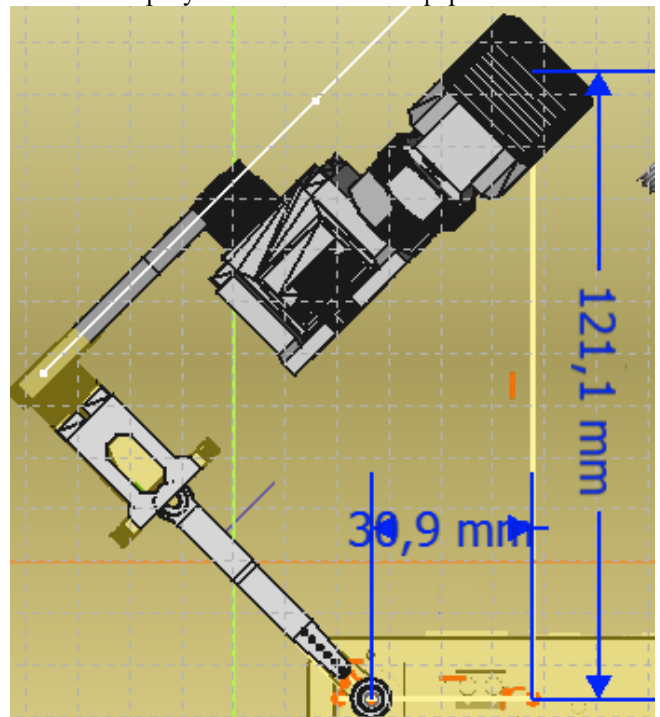


Рис.2. Вид знизу на одну з кінцівок робота

Початкові значення, отримані за допомогою програмного забезпечення FreeCAD наведені у таблиці 1.

Таблиця 1. Початкові значення, виміряні у FreeCAD

Специфікація	Позначення	Значення
Довжина першої ланки ноги	L_0	91 мм
Довжина другої ланки ноги	L_1	67,7 мм
Довжина третьої ланки ноги	L_2	59,2 мм
Перший катет прямокутного трикутника з гіпотенузою від точку суглобу A_0 до точки краю ступені при вертикальному виді	X	30,9 мм
Другий катет прямокутного трикутника з гіпотенузою від точку суглобу A_0 до точки краю ступені при вертикальному виді	Y	121,1 мм
Нахил другого суглобу за замовчуванням	A_1	45°
Нахил третього суглобу за замовчуванням	A_2	25°

Спочатку розміщуються значення координат X, Y і Z. Щоб отримати всі три кути на стик, він використовує підхід алгебри та геометрії. Перший розрахунок полягає в тому, щоб знайти значення кута тазу (A_0):

$$A_0 = \arctan\left(\frac{Y}{X}\right) = 75^0 \quad (1)$$

Далі знаходяться значення результуючої величини X і Y за допомогою рівняння:

$$\overline{XY} = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (2)$$

У розрахунках використовується зсув L_0 – відстань від тазоподібного суглоба до стегнового суглоба, тобто довжина першої ланки ноги.

У наступних розрахунках знаходяться значення R і Z, що необхідні для рівнянь для знаходження поновлених значень кутів A_1 і A_2 у балансувально-стабілізуючих поправках:

$$Z = L_1 \cdot \sin(A_1) + L_2 \cdot \sin(A_1 + A_2) \quad (3)$$

$$R = \overline{XY} - L_0 \quad (4)$$

Також R можна знайти рівнянням:

$$R = L_1 \cdot \cos(A_1) + L_2 \cdot \cos(A_1 + A_2) \quad (5)$$

Відповідно спрощень розрахунків з джерела [4], для впровадженнь корегувань, кути стегна та гомілки розраховуються такими формулами:

$$A_1 = \arctan\left(\frac{Z}{R}\right) - \arctan\left(\frac{L_2 \cdot \sin(A_2)}{L_1 + (L_2 \cdot \cos(A_2))}\right) \quad (6)$$

$$A_2 = \arccos\left(\frac{R^2 + Z^2 - L_1^2 - L_2^2}{2 * L_1 L_2}\right) \quad (7)$$

Для впровадження формул розрахунків в код управління роботом, необхідно розробити й прикладну частину застосування розрахунків.

На рисунку 3 представлено спрощене відтворення системи балансування завдяки блок-системі у MATLAB SIMULINK.

Віртуальна блок-система включає в собі:

- сіносоїдально-шумовий генератор значень екстремальних нахилів від гіроскопу по вісях X та Z кожне, орієнтовно від $(-55)^\circ$ до 55° ;
- експоненціальні фільтри для видалення шумів з сигналів, що надходять на складання з цільовими нульовими значеннями нахилів для подальшої перевірки;
- блок алгоритму обирання дій стабілізації відносно поточних нахилів;
- блоки обирання початкових значень градусів кутів корегування відносно команд з алгоритму стабілізації;
- ПІД-регулятори, що налаштовані під систему та надають значення градусів кутів корегування на обмежувач значень від $(-60)^\circ$ до 60° , які потім надають значення корегування на сумачію по потоку даних нахилів, що перевіряються;
- дисплеї значень початкових нахилів впливу, нахилів корегувань та нахилів-результатів.

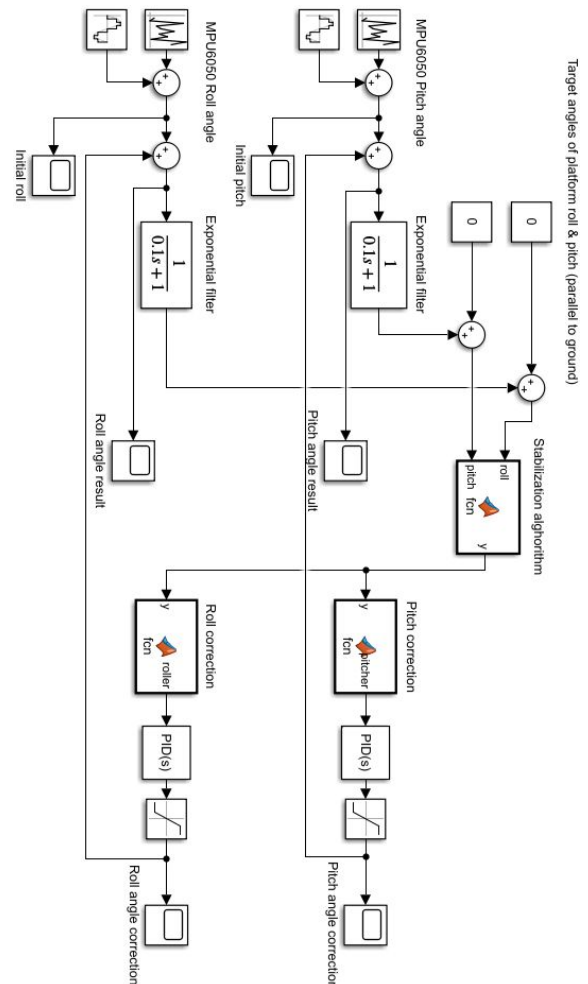


Рис.3. Блок-система балансування

На рисунку 4 представлено параметри ПІД-регуляторів.

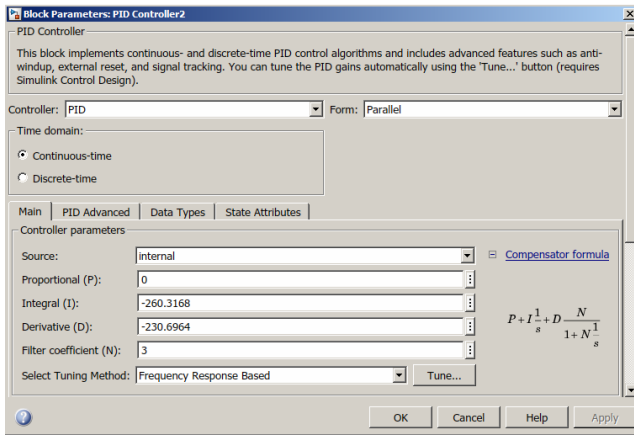


Рис.4.Результати налаштування ПІД –регуляторів

Графіки результатів моделювання представлені на рисунках 5-6.

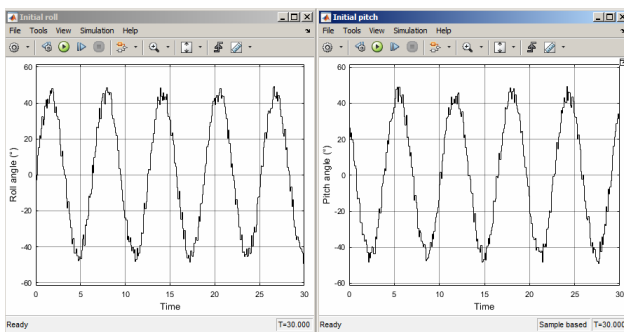


Рис.5. Графіки початкових значень нахилів з гіроскопу

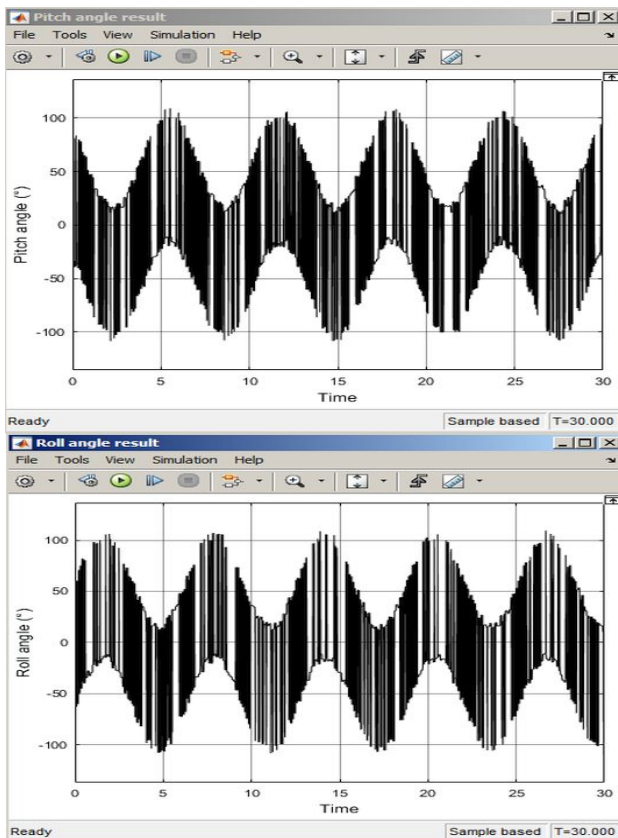


Рис.6. Графік значень корегувальних нахилів

Незважаючи на недолік блок-системи щодо відсутності ідеальної симуляції реалістичних неекстремальних фізичних умов експлуатації платформи з врахуванням інерції та не-моментальних відвертань платформи після корегування, на рисунку 6 можна побачити, що, система все одно корегує фінальні значення нахилів близько до нуля.

Висновки

Представлені в роботі результати за допомогою моделювання у середовищі MatLab Simulink дозволяють оцінити точність та стійкість системи, що в свою чергу дає змогу розробити алгоритм балансування для крокуючої роботизованої платформи для пошукових робіт у важкодоступних місцях. Також вдосконалити програмне забезпечення для керування роботизованою платформою, що суттєво збереже час на розробку програмного забезпечення та точність руху кінцівок..

Перелік посилань

- [1] Моделі та методи кіберфізичних виробничих систем в концепції Industry 4.0 : монографія / І. Ш. Невлюдов, В. В. Євсєєв, А. О. Андрусевич, С. С. Максимова ; – Oktan Print – Prague. 2023. – 321 с..
- [2] Гурін Д.В., Поддубняк І. А., Розробка мобільної платформи для пошукових робіт., Збірник студентських наукових статей «Автоматизація та приладобудування» ADED-2023(Випуск 2) 336 с., с:277-282
- [3] Meng X., & et al. (2023). Trot Gait Stability Control of Small Quadruped Robot Based on MPC and ZMP Methods. Processes. 2023; 11(1):252. URL: <https://doi.org/10.3390/pr11010252> (дата звернення: 20.08.2023).
- [4] Tranzatto M., & et al. (2022). CERBERUS: Autonomous Legged and Aerial Robotic Exploration in the Tunnel and Urban Circuits of the DARPA Subterranean Challenge. Field Robotics, 2023, 2. 274-324. URL: <http://dx.doi.org/10.55417/fr.2022011> (дата звернення: 25.08.2023).
- [5] Nevliudov, I., Yevsieiev, V., Maksymova, S., Demska, N., Kolesnyk, K., & Miliutina, O. (2022, September). Object Recognition for a Humanoid Robot Based on a Microcontroller. In 2022 IEEE XVIII International Conference on the Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH) PP. 61-64. DOI: 10.1109/MEMSTECH5132.2022.10002906
- [6] Yevsieiev, V. Comparative Analysis of the Characteristics of Mobile Robots and Collaboration Robots Within INDUSTRY 5.0. / V. Yevsieiev, D. Gurin // In the VI International Scientific and Theoretical Conference, September 8, 2023. Chicago, USA. P.92-94
- [7] Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В., Новоселов С. П., Демська Н. П. Проектування мобільних маніпуляційних роботів: Монографія. – Х. ;, 2022. – 427 с.