

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
_____ В.П. Захарченко
« _____ » _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР

ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 151 «АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

Тема: «Система автоматичного керування приводом аеропортового робота-маніпулятора обробки багажу»

Виконавець _____ студент групи АТ-216М Гармаш Тетяна Олександрівна
(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник _____ к.т.н., доцент Єнчев Сергій Васильович
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Консультант розділу «Охорона праці»: _____ С.М. Занько
(підпис) (ПІБ)

Консультант розділу «Охорона навколишнього середовища»: _____ В.Ф. Фролов
(підпис) (ПІБ)

Нормоконтролер: _____ С.В. Єнчев

КИЇВ 2020

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аерокосмічний

Кафедра автоматизації та енергоменеджменту

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

(шифр, найменування)

Освітньо-професійна програма «Атоматика та автоматизація на транспорті»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

В.П.Захарченко

«05» жовтня 2020 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи (проекту)

Гармаш Тетяни Олександрівни

(П.І.Б. випускника)

1. Тема роботи (проекту) «Система автоматичного керування приводом аеропортового робота-маніпулятора обробки багажу» затверджена наказом ректора від «30» вересня 2020 р. № 1835/ст.

2. Термін виконання роботи (проекту): з 05.10.2020 р. по 27.12.2020 р.

3. Вихідні дані до роботи (проекту): початкові параметри коригуючих пристроїв та підсилювача: $k_p=1$, $k_d=0.3$, $k_i=0.5$, $T_d=0.9$; максимальний час перерегулювання не більше 3 %, час наростання не більше 2-3 с., тривалість перехідного процесу не більше 3-5 с.

4. Зміст пояснювальної записки: аналіз існуючих систем автоматичного керування приводом аеропортового робота-маніпулятора; проектування автоматизованого електроприводу аеропортового робота-маніпулятора; побудова цифрової САК приводом аеропортового робота-маніпулятора; охорона праці; охорона навколишнього середовища.

5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу:

Структурна схема широтно-імпульсного перетворювача. Узагальнена структурна схема системи керування; структурна схема системи автоматичного керування приводом робота-маніпулятора; імітаційна модель системи автоматичного керування приводом робота-маніпулятора; імітаційна модель цифрової системи автоматичного керування приводом робота-маніпулятора; графіки перехідних процесів скорегованої та не скорегованої систем.

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1.	Вивчення інформаційних джерел	12.09-14.10.2020	
2.	Аналіз існуючих систем автоматичного керування приводом аеропортового робота-маніпулятора	15.10-20.10.2020	
3.	Проектування автоматизованого електроприводу аеропортового робота-маніпулятора	20.10-30.10.2020	
4.	Побудова цифрової САК приводом аеропортового робота-маніпулятора	01.11-13.11.2020	
5.	Розгляд теми охорони праці	14.11.-18.11.2020	
6.	Розгляд теми охорони навколишнього середовища	19.11.-30.11.2020	
7.	Оформлення креслень	15.11-20.12.2020	

7. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Занько С.М.		
Охорона навколишнього середовища	Фролов В.Ф.		

7. Дата видачі завдання: «05» вересня 2020 р.

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ Єнчев С.В.
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

_____ Гармаш Т.О.
(підпис випускника) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Система автоматичного керування приводом аеропортового робота-маніпулятора обробки багажу»: 108с., 37 рисунків, 6 таблиць, 23 використаних джерел.

РОБОТ-МАНІПУЛЯТОР, СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ, ПРИВІД, КОРИГУЮЧИЙ ПРИСТРІЙ, ЦИФРОВА СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.

Об'єкт дослідження: процес керування приводом аеропортового робота-маніпулятора обробки багажу.

Предмет дослідження: система автоматичного керування приводом аеропортового робота-маніпулятора обробки багажу.

Мета дослідження: синтезувати корегуючі пристрої та підсилювач в системі автоматичного керування приводом робота-маніпулятора для забезпечення бажаних характеристик перехідного процесу.

Методи дослідження: метод аналізу та синтезу, метод імітаційного моделювання, метод параметричного синтезу, метод PID-Tuner, метод Зіглера-Нікольса, метод побудови бажаних передавальних функцій ЦСАК.

Матеріали кваліфікаційної роботи можуть бути використані для проведення імітаційного моделювання в аналоговій та цифровій системі автоматичного керування.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

AFP – Automated Fiber Placement

FAUB – Fuselage Automated Upright Build

NCD – nonlinear control design;

PID – proportional–integral–derivative;

АФЧХ – амплітудно-фазова частотна характеристика;

ВП – виконуючий пристрій;

ВС – вхідний сигнал;

ДЗС – двигун змінного струму;

ДПС – двигун постійного струму;

ДПС НЗ – двигун постійного струму незалежного збудження;

КП – коригуючий пристрій;

ОК – об'єкт керування;

П – перетворювач;

ПДОК – приведений дискретний об'єкт керування;

ПІД- пропорційно-інтегрально-диференційний;

ПК – пристрій керування;

ПФ – передавальна функція;

Р – регулятор;

САК – система автоматичного керування;

СК – система керування;

ТАК – теорія автоматичного керування;

ТП – транзисторний перетворювач;

ЦР – цифровий регулятор;

ЦСК – цифрова система керування;

ЦСАК – цифрова система автоматичного керування;

Ф – фільтр;

ШПР – широтно-імпульсна регуляція;

ШПП – широтно-імпульсний перетворювач.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРИВОДОМ АЕРОПОРТОВОГО РОБОТА- МАНІПУЛЯТОРА.....	10
1.1 Актуальність використання роботів-маніпуляторів.....	10
1.2 Різновиди роботів-маніпуляторів.....	15
1.3 Застосування роботів-маніпуляторів у авіації.....	20
1.4 Аналіз САК приводу робота маніпулятора, що вже існують.....	27
1.5. Постановка задачі на дослідження.....	31
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО..... ЕЛЕКТРОПРИВОДУ АЕРОПОРТОВОГО РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА.	32
2.1 Елементна база приводу аеропортового робота-маніпулятора....	32
2.1.1 Загальні дані.....	32
2.1.2. Вимоги до приводу аеропортового робота-маніпулятора	34
2.1.3. Вибір типу електродвигуна.....	35
2.1.4. Підбір силового джерела живлення.....	37
2.1.5. Вибір регулятора.....	38
2.1.6. Підбір перетворювача.....	39
2.2 Розробка САК приводом аеропортового робота-маніпулятора.	41
2.2.1. Побудова структурної схеми САК приводом аеропортового робота-маніпулятора.....	41
2.2.2. Оптимізація параметрів САК приводом аеропортового робота-маніпулятора.....	44
РОЗДІЛ 3. ПОБУДОВА ЦИФРОВОЇ САК ПРИВОДОМ АЕРОПОРТОВОГО РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА ОБРОБКИ БАГАЖУ.....	50

3.1 Порівняльний аналіз методів регулювання, що існують.....	50
3.2 Дослідження стійкості системи.....	65
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	69
4.1. Небезпечні та шкідливі фактори для суб'єкта охорони праці.....	69
4.2. Технологічні заходи з організації зниження впливу шкідливих виробничих факторів.....	74
4.2.1. Розрахунок контурного захисного заземлення для електроустановки.....	81
4.3. Забезпечення пожежної безпеки при експлуатації електроустановки.....	83
4.4. Інструкції з техніки безпеки при експлуатації електроустановки	85
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	89
5.1. Вплив аеропортових роботів-маніпуляторів на ефективність робіт, що виконуються.....	91
5.2. Вплив шумів, вібрацій, електромагнітного випромінювання на навколишнє середовище.....	96
5.3 Заходи щодо захисту від шумів, вібрацій та електромагнітного випромінювання.....	102
ВИСНОВКИ.....	106
СПИСОК БІБЛЮГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	107

ВСТУП

Актуальність теми. В наш час значно розширюються сфери застосування автоматики та робототехніки. Оскільки з розвитком і створенням автоматичних систем керування, інформаційних технологій та штучного інтелекту з'явилась можливість вирішення різних технічних задач, то ці технології застосовуються задля вирішення задач, що пов'язані зі звільненням людини від робіт, що створюють загрозу для життя та здоров'я, а також задач, що пов'язані з перенесенням вантажів та монотонними діями [1].

Автоматика – галузь науки і техніки, яка поєднала у собі теорію і принципи побудови систем керування, що діють без безпосередньої участі людини. Якщо розглядати у вузькому сенсі – це сукупність методів і технічних засобів, що виключають участь людини при виконанні операцій конкретного процесу [1].

Вирішення багатьох задач задля полегшення роботи людини та досягнення більш високих показників якості і точності виробництва досягається шляхом застосування роботів-маніпуляторів. Одними з найбільш вживаних роботів-маніпуляторів є роботи, що здатні виконувати дії подібні руці людини. До таких дій відносяться такі, як: фасування продукції на конвеєрних стрічках та складських приміщеннях, заміна заготовок на верстатах, зміна положення деталей та їх витяг з печей жару чи розчинів, різання та шліфування деталей, їх фарбування та інші.

Роботи-маніпулятори знайшли своє застосування на промисловості як для основних, так і для допоміжних робіт. В якості допоміжних операцій, застосування роботів діє можливість звільнити працівників від завантажувальних робіт, обслуговування верстатів та інших подібних дій. Якщо розглядати роботи-маніпулятори в якості основного технологічного обладнання, то за їх допомогою можливо вирішення задач стосовно проведення точкового і шовного зварювання, лазерного і плазмового різання, процесу шліфування, складання і сортування деталей [1].

Роботи-маніпулятори існують досить різних розмірів і типів. Різняться вони за типом конструкції та принципом роботи. Можливо віддалене керування оператором або за заданою заздалегідь програмою.

У кваліфікаційній роботі представлена система автоматичного керування приводом аеропортового робота-маніпулятора обробки багажу. А також, розраховано параметри коригуючих пристроїв та підсилювача таким чином, щоб вихідний сигнал відповідав заданим показникам якості.

Мета дослідження: синтезувати коригуючі пристрої та підсилювач в системі автоматичного керування приводом аеропортового робота-маніпулятора обробки багажу для забезпечення бажаних характеристик перехідного процесу.

Об'єкт дослідження: процес керування приводом аеропортового робота-маніпулятора.

Предмет дослідження: система автоматичного керування приводом аеропортового робота-маніпулятора.

Методи дослідження: метод аналізу та синтезу, метод імітаційного моделювання, метод параметричного синтезу, метод PID-Tuner, метод Зіглера-Нікольса, метод побудови бажаних передавальних функцій ЦСАК.

Завдання дослідження:

- 1) проаналізувати та дослідити системи автоматичного керування приводом аеропортового робота-маніпулятора, що вже існують;
- 2) розробити структурну схему САК приводом аеропортового робота-маніпулятора обробки багажу;
- 3) розробити неперервну схему САК приводом аеропортового робота-маніпулятора;
- 4) розробити цифрову схему САК приводом аеропортового робота-маніпулятора;
- 5) змодельовати неперервну та цифрову САК в середовищі Matlab;
- 6) проаналізувати різними методами дослідження системи;
- 7) дослідити САК приводом аеропортового робота-маніпулятора на стійкість.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ПРИВОДОМ АЕРОПОРТОВОГО РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА

1.1. Актуальність використання роботів-маніпуляторів

Робот- це машина з поведінкою, що схожа на дії людини (людиноподібна/ антропоморфна поведінка). При взаємодії з навколишнім середовищем він може виконувати функції людини частково або навіть повністю [18].

Робототехніка, в наш час, стає все досить важливішою сферою розвитку. На багатьох підприємствах замість людей вже працюють роботи. Також, роботи знайшли своє застосування для підводних досліджень, операцій з порятунку. Завдяки роботам вивчається космос [1].

Прототипами сучасних роботів-маніпуляторів були автооператори, а також механічні руки. Вони знайшли своє застосування вже досить давно, проте їх функції були не досить задовільними. Автооператори мали вузьку спеціалізацію, погано перелаштовувались, а також мали мале число функцій, що мали змогу виконувати та область їх застосування була обмежена. Проте усі ці недоліки були усунені завдяки підвищенню маніпуляційних можливостей роботів. На них була поставлена власна система приводу та програмного забезпечення [1].

Завдяки цим змінам було досягнуто підвищення таких якісних властивостей, як: автономність (тобто роботи мають змогу працювати автоматично за заданою програмою); універсальність (роботи можуть переміщати об'єкти за досить складними траєкторіями в просторі); переналаштовуваність (роботи можуть адаптуватися до різних змін видів робіт) [1].

В наш час, завдання робототехніки – це створення і застосування роботів для звільнення людини від робіт, пов'язаних з небезпеками для здоров'я або з важкою фізичною працею, а також від простих монотонних операцій, що не вимагають високої кваліфікації [1].

Сама робототехніка виникла на основі механіки і кібернетики та породила нові напрямки їх розвитку. Для механіки – це пов'язано з багатоланковими механізмами типів маніпуляторів, а для кібернетики – з інтелектуальним керуванням, що потрібне для виконання роботами операцій за рахунок штучного інтелекту [1].

Промисловий робот маніпулятор має саму механічну руку та пульт керування, що винесено або ж прилад програмне забезпечення, що вже вбудовано всередину [1].

Тобто, маніпулятор - це керований пристрій або машина для виконання рухових функцій (маніпуляції), що аналогічні функціям руки людини при переміщенні об'єктів в просторі [18].

Маніпулятори мають переваги у виконанні операцій перед людиною у тому, що їх швидкість та точність виконання робіт значно швидше, також вони стійкі до виконання однотипних операцій. Вони призначені для виконання різних рухів і деяких інтелектуальних функцій, що властиві людині [1].

Від створення перших роботів і аж до сьогодення зразком слугують фізичні можливості людини. Саме прагнення замінити людину на важких роботах і породило спочатку ідею робота. Після цього були перші спроби реалізації цієї ідеї. Це все зумовило виникнення і розвиток робототехніки і роботобудування.

З розвитком робототехніки було визначено три основних різновиди роботів. Це такі, як: з жорсткою програмою дій; маніпулятори, що керуються оператором; роботи зі штучним інтелектом (інтегральні роботи).

Можливий варіант об'єднання перших двох видів, проте вони матимуть різний час їх функціонування. Також, третій вид може працювати сумісно з людиною. При цьому виді функціонування режим матиме назву супервізорного режиму.

Гнучкі автоматизовані виробництва, які створені на основі промислових роботів, дають змогу вирішувати завдання автоматизації на підприємствах з

широкою номенклатурою продукції при дрібносерійному і штучному виробництві [18].

До чітких задач, які роботи можуть вирішувати на підприємствах у наш час можна поділити на такі категорії: маніпуляції заготовками та виробами; обробки виробів за допомогою різноманітних інструментів; зварювання; упакування; закладки багажу [18].

Важливими є маніпулятори, що копіюють дії людини і керуються людиною-оператором. Вони незамінні при виконанні різних робіт з радіоактивними матеріалами: робіт в космосі, під водою, в хімічно активних середовищах [19].

Окрім цих важливих сфер застосування роботи-маніпулятори отримали найбільше поширення в машинобудівних і приладобудівних галузях.

Використання маніпуляторів в процесі автоматизації виробництва підвищило його ефективність завдяки таким перевагам, як [1]:

— зручність експлуатації (оскільки на пульт спостереження виводиться інформація про технологічний процес у реальному режимі часу). Таким чином, дисплей має змогу отримувати дані на мові користувача;

— якість обробки (це досягається жорсткістю устанавлення комплексу та великий діапазон режимів обробки виробів різної номенклатури);

— гнучкості (відбувається легка зміни виробу; можливо ручне завдання програми за допомогою підвісного пульта; великий обсяг пам'яті дозволяє швидко змінювати завдання; модульність побудови дозволяє додавати та замінювати пристрої та устанавки;

— надійності та безпека (за допомогою наявності мінімальної кількості електроприводів, а також, нормативної ергономічності робочої зони);

— ефективність (оскільки компактність конструкції дозволяє раціонально використовувати час для монтажу та устанавлення самого маніпулятора; збереження продуктивності завдяки, що досягається шляхом швидкого відновлення функціонування після відмов; висока швидкість циклів обробки і переналагодження) [1].

Тобто, усі ці чинники кажуть про те, що робототехніка досить серйозно змінює організацію технологічного процесу. Вона усуває чинники, що зумовлені надмірною втомою людини, погіршенням уваги, порушенням координації руху.

Роботи, що керуються людиною за допомогою пульта керування, мають систему рукояток та кнопок, що пов'язані з механізмами каналів керування, що виконуються за різними загальними координатами. На пульті керування виводиться вивід інформації до людини про стан функціонування роботи за допомогою радіоканалу зв'язку [1].

Напівавтоматичний робот є поєднанням ручного та автоматичного керування. Людина втручається у процес автономного функціонування роботи через повідомлення. Тобто, надає додаткову інформацію за допомогою вказівки цілі, послідовності дій та т. п [1].

Роботи з автономним або автоматичним керуванням зазвичай підрозділяються на виробничі та науково-дослідницькі. Вони після створення та розміщення можуть функціонувати без участі людини [18].

За областями застосування виробничих робочих розділяють промислові, сільськогосподарські, транспортні, будівельні та інші види.

За короткий період розвитку роботів з'явилося багато змін стосовно елементарної бази, структури, функцій та характері їх використання. Це привело до делегування роботів на покоління.

Роботи першого покоління (програмні роботи) мають жорстку програму дій. Їх особливість в наявності зворотної зв'язку з оточуючого середовища, що визначає певні обмеження в їх застосуванні [1].

Роботи другого покоління володіють координованою динамікою рухів. Для них притаманне малокваліфіковані роботи при виготовленні виробів.

Обов'язкова частина для цього покоління роботів- це програмне забезпечення алгоритмічного типу. Оскільки воно необхідне для обробки сенсорної інформації, а також утворення керуючих дій [1].

Роботи третього покоління відносяться до роботів, що мають «інтелект». Вони створюють умови для повної заміни людини в областях, що мають

кваліфіковану працю. Завдяки цьому забезпечується здатність до навчання та адаптації в процесах вирішення виробничих завдань. Ці роботи дозволяють зрозуміти мову та вести бесіду з людиною, можуть розподілити та проаналізувати складні ситуації, планувати введення інформації, будувати програмні засоби розвитку та здійснювати їх надійну роботу [1].

Якщо описувати типи промислових роботів, то можна виділити дві основні групи: декартові (або лінійні) та антропоморфні [1].

Лінійні роботи - це промислові роботи, в яких три основні осі, що контролюються є лінійними і перпендикулярні одна одній. Для таких роботів більш характерний рух не обертальний, а по прямій лінії [1].

Роботи такої архітектури простіше у виготовленні. Тому вони дешевші та керування ними простіше. Їх недоліком є обмеження по робочій зоні. Проте вони здатні виконувати більшість завдань, що стоять перед промисловими роботом, здатні розвивати швидкість, що є більшою за швидкість іншого типу роботів [18].

Антропоморфні роботи - це роботи, що нагадують руку людини. І їх тип руху вже більше обертальний. Ці роботи більш складні у виготовленні і обслуговуванні. Для їх впровадження необхідне написання програми керування з прив'язкою до певного технологічного процесу. Однак такі роботи мають свої переваги. Ці роботи здатний дістатися до важко-доступних ділянок виробу [18].

Усі автоматичні транспортні засоби, в загальному виді, можна класифікувати на завантажувачів з захватом типом «виделка», візки, тягачі. Існує тип «розумних» конвеєрів [1].

Самі роботи, окрім маніпуляторів ще поділяють на дельта-роботів та роботів з довільною формою.

Кожен з типів, що наведено вище має ряд свої функцій з переваг та недоліків (табл. 1.1)

Переваги та недоліки роботів

Завантажувач з захватним пристроєм типу «виделка»	Висока мобільність; швидкодія можливість праці на великих відстанях; довільне переміщення	Велика ціна; він є потенційно небезпечним
Візок	Висока мобільність; робота на великих відстанях; довільне переміщення	Відсутність можливості з захисту; висока вартість; обмежена адаптивність
Тягач	Велика вмістність; висока мобільність; низька вартість причепів; здатність виконання дій на великих відстанях; довільне переміщення	Важкість конфігурації; відсутність пристроїв із захвату; обмежена вага; обмежене переміщення; обмежена відстань дії
«Розумний» конвеєр	Висока швидкість; висока здатність до завантаження	Важкість конфігурації; Обмежене переміщення; обмежена вага
Маніпулятор	Висока адаптивність; можливість роботи в ручному режимі; можливість координації; переміщення по декільком осям	Фіксоване встановлення
Дельта-робот	Переміщення по декільком осям; швидкодія	Обмежена вантажопідйомність; мала мобільність; низька продуктивність
Робот довільної форми	Легко налаштовуваний; швидкодія	Важкий; мало мобільний

1.2. Різновиди роботів-маніпуляторів

Усі існуючі роботи розділяють за своїми певними критеріями.

До цих критеріїв відноситься і зона обслуговування, тобто діапазон для маніпуляційних дій роботів, і чисто ступенів свободи, які визначають координаційні можливості робота для певного об'єкта, і функції та цілі, які переслідує мета застосування робота [8].

В наш час різновиди нових промислових роботів з'являються постійно. Функції застосування поширюються все швидше. А отже, все гостріше виникає необхідність класифікації. Оскільки роботи однієї групи часто не можуть бути застосовані для іншої (наприклад, група роботів, які використовуються для монтажу не можуть швидко перелаштуватись на застосування робіт зі зварювання) [14].

За ознаками, що розглянуто вище класифікування роботи-маніпулятори існують досить різних видів.

Вони можуть включати такі в себе елементи одного чи декількох типів. Проте, все ж таки, існують основні типи. Розглядаючи їх більш детально можна виділити наступні [18]:

- шарнірні роботи (їх ще називають артикульовані). Вони маюць суглоби подібні людині (плече, лікоть, зап'ястя). Завдяки цьому вони можуть точно розміщувати деталі (рис. 1.1.). За їх допомогою відбувається запакування, а також розміщення багажу на палети.

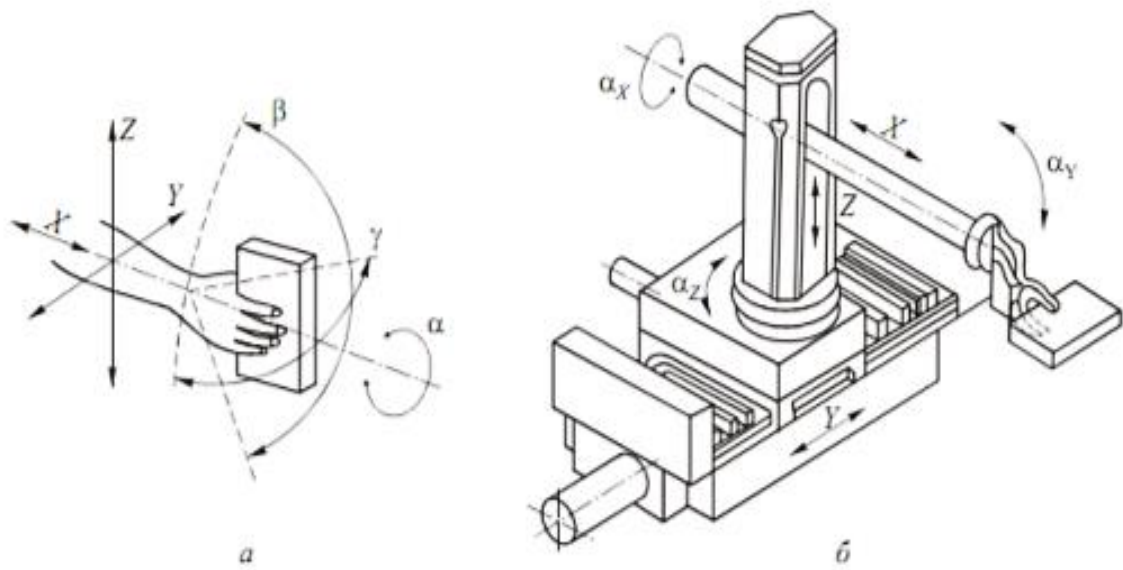


Рис. 1.1. Ступінь рухомості руки людини (а) та механізму (б)

— декартові роботи (рис. 1.2.). Ці роботи мають три, а частіше і більше, осі керування. Вони слугують для виконання операцій, що відносяться до важких та операцій, що потребують великої точності та малої похибки.

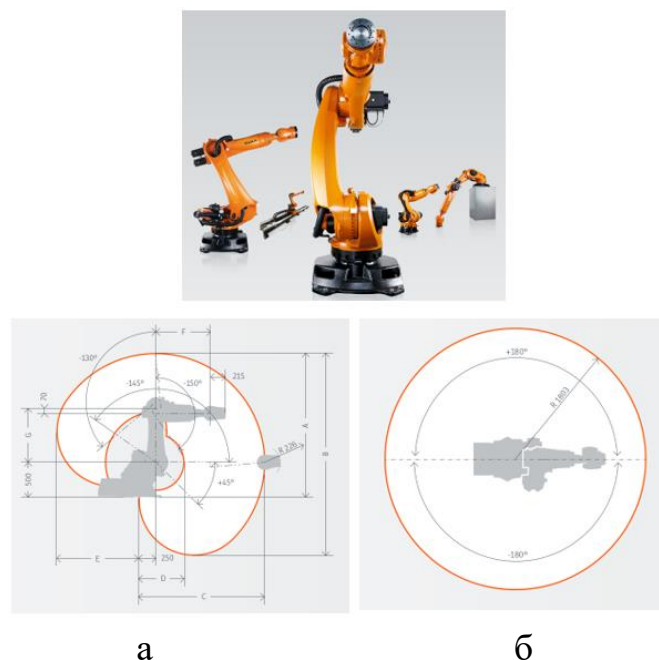


Рис. 1.2. Ступінь рухомості декартового робота: вид збоку (а) та вид зверху (б)

— роботи-помічники. Цей тип роботів містять датчики, що ставлять межі по зусиллям, швидкості роботі ланок. Ці умови залежать від області

застосування робота. Оскільки ця робота може відбуватися безпосередньо біля людини, а бо далеко від неї. Такий різновид роботів активно розвивається і вже існують види з двома руками. Завдяки цьому покращуються маніпуляційні можливості [1].

- мобільні роботи. В них вже наявні сенсорні та навігаційні технології. Йде поєднання сенсорних здібностей з розвинутим алгоритмом з забезпечення дозволяє покращити гнучкість та швидкість. Ці роботи мають можливість інтегрування в інші системи та здатні працювати на автономній системі навігації. Застосовується цей різновид в складських приміщеннях, для обслуговування верстатів та для транспортування матеріалів [1].
- власне маніпулятори. Це різновид промислових роботів з сенсорною гнучкістю. Вони здатні працювати швидше від декартових, мають більшу зону обслуговування та малі габарити. Компактність системи дозволяє спростити та мінімізувати витрати на облаштування робочої зони.
- роботи-візки. Вони здатні самостійно переміщувати по території складу, аеропорту чи будь-якого іншого приміщення необхідний багаж різних розмірів. До їх функцій відноситься самостійне знаходження, зняття багажу, розкладання його, при необхідності, по місцям, пакування багажу у контейнери, або зворотні дії [1].
- роботи-палетайзери. Цей різновид застосовується для автоматичного захвату палету, а також закладання виробу чи товару на цей самий палет. Ці роботи широко застосовуються у складських приміщеннях, де необхідно мінімізувати зайві дії людини.
- роботи-сортувальники. Їх головна особливість виявляється у здатності самостійної ідентифікації та сортуванні одного об'єкту від іншого. За цією особливістю вони знайшли своє застосування в областях автономного сортування, розкладання та упакування [1].

— лінійні роботи (рис. 1.3.). Цей тип роботи має перш за все лінійні, а й перпендикулярні осі керування.

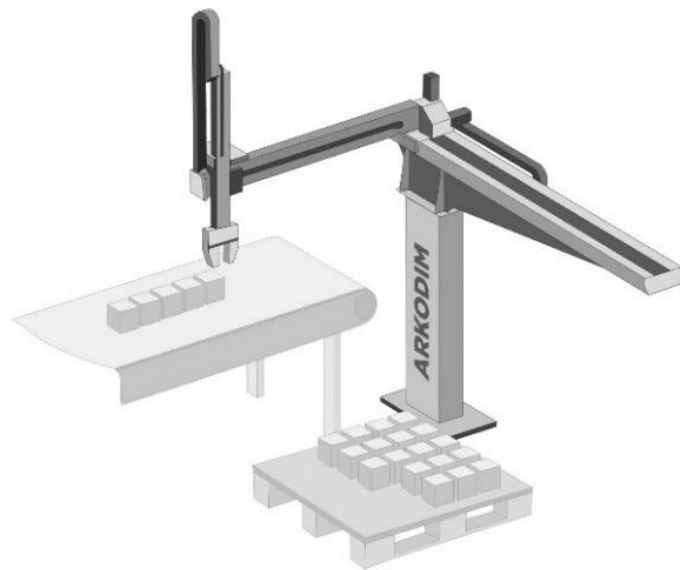


Рис. 1.3. Ступінь рухомості лінійного роботи

Окрім цього, існує класифікація роботів за технічним призначенням. Виділяють три основні групи роботів-маніпуляторів- це універсальні, спеціалізовані та спеціальні роботи [18].

До типу універсальних роботів-маніпуляторів відносяться ті, що здатні виконувати декілька операцій на технологічному обладнанні, що призначене різних операцій. Таким чином, можливо застосування цієї групи роботів в досить великому за різноманітністю сегменті технологічних процесів. Їх особливість- це самостійне переналаштування до різноманітних циклів рухів [15].

Спеціалізовані роботи-маніпулятори працюють на основному технологічному обладнанні, проте здатні виконувати одну чи декілька операцій для різноманітних моделей, і рухи робота будуть об'єднанні типом маніпуляційних дій, які необхідно виконати для досягнення результату по певній операції. Найактивніше та доцільніше використання цього типу роботів для робіт по зварюванню чи фарбуванню [1].

Тип спеціальних роботів використовується для виконання певної окремої та особливої операції. Також це може бути застосування для певного конкретного обладнання. До завдань цього типу роботів відносять ті, що

потребують більшої стресостійкості та небезпеки людини, тобто ті, що необхідно виконуватися в пілозахисному, вибухобезпечному та герметичному місці [1].

Ще за даними функціями, роботів можна розділити на ті, що застосовуються для досліджень та ті, що застосовуються у виробництві.

До завдань виробничих роботів-маніпуляторів відноситься робота з тяжкою, монотонною та шкідливою для людини та її здоров'я роботою. Виробничими є і промислові, і транспортні, і будівельні роботи. Побутові роботи-маніпулятори, які все активніше з'являються в сьогоденні теж належать до цього типу [1].

Дослідницькі ж створені для пошуку та збору, для обробки та передачі інформації про об'єкт, який необхідно дослідити. Прикладом цього класу є роботи-санітари, а також- безпілотні літаючі об'єкти [1].

1.3. Застосування роботів-маніпуляторів у авіації

Ще у 1970 році було зібрано Лунохід-1- робот-маніпулятор, яким можливо керувати дистанційно. Це був перший у світі самохідний апарат. Лунохід-1 успішно працював на Місяця, де за мету ставилось дослідження його поверхні, ґрунту, хімічного стану, усі можливі типи опромінювання. Також важливим було завдання для знаходження місця чи району для подальшої посадки місячної кабіни. Цей робот працював досить довго, проте в 1971 році зв'язок із ним було загублено [8].

Після цього, у 1975 р. вперше було застосовано роботи-маніпулятори, типу «рука» для космічних цілей. Вони були використані в зондах Viking 1 и Viking 2 для дослідження поверхні Марсу та для отримання зразків ґрунту аби дослідити планету на можливість перебування на ній життя. Цей експеримент був досить вдалим. Він проходив під проектом NASA та був одним з перших досліджень за допомогою застосування маніпуляторів [13].

Після досягнення таких важливих завдань, роботи-маніпулятори все швидше й ширше знаходили своє застосування в авіаційній галузі. За їх допомогою відбувалось будівництво повітряних суден, транспортування багажу, переміщення та перевірка багажу в терміналах та саме аеропортах та багато інших функцій [10].

До сучасної області застосування аеропортових роботів-маніпуляторів можна виділити однією з основних областей по будівництву космічних кораблів та повітряних суден. До напрямів видів робіт роботів відноситься лазерна зварка, зварка за допомогою терті; збірка деталей, яка включає проклейку та позиціонування деталей та механізмів; контроль якості, при якому необхідно перевіряти деталі за допомогою технологій лазера чи ультразвукових хвиль; виробництво за допомогою полімерних матеріалів, а також композитних матеріалів [11].

Впровадження роботів-маніпуляторів на сьогоднішній день активно застосовується для основних та передових компаній авіаційної галузі. Так корпорації Boeing та Airbus, та інші вже замінили більшість процесів, що виконувались людиною та роботу маніпуляторів. Наприклад їх стали застосовувати для виробництва фюзеляжу, збірка відсіків, клепка фюзеляжу. Також викладка композиційного скла належить до функцій роботи-маніпулятора і увести цю дію у функціях роботи людини можливостей взагалі не має. Контроль якості, перевірка на отвердіння, ультразвукове сканування- все це вже виконують роботи-маніпулятори [11].

Активно відбувається модернізація роботів для можливості вирішення універсальних задач, при яких лише зміна самої насадки дозволить перелаштуватись роботу на інший тип операції та почати нове завдання без зупинки виробництва.

Корпорацією Boeing вже розроблена система FAUB. Це система, яка містить у собі колісну платформу на якій знаходяться автоматичні маніпулятори [11].

Ці маніпулятори можуть синхронно чи асинхронно займатися симетричним та автоматичним свердлінням, виготовленням деталей великих розмірів для фюзеляжу. А людина-оператор при цьому лише спостерігає та контролює дії робота-маніпулятора. Особливістю роботи системи є можливість роботи двох маніпуляторів, при якій один знаходиться ззовні, а інший всередині фюзеляжу. Таким чином, коли перший робот робить отвори, чи навпаки- знімає кріплення, інший- фіксує ці дії та проводить суміжні їм [8].

Система Flex Track, що теж належить до розробок корпорації Boeing, займає важливе місце в авіабудуванні. Вона виглядає як рухома платформа, на якій містяться елементи для свердління. Рух установки відбувається по двом поверхням, що були встановлені до початку роботи. Як правило, це металеві треки. Головне завдання цієї системи- це пришвидшення роботи механіків або їх повна заміна, при виконанні дій по зварюванню фюзеляжу. Завдяки можливому легкому руху вздовж фюзеляжу система швидко налаштовується по треку руху та активно й легко переміщується у просторі. Тобто, Flex Track здатна значно підвищити точність та надійність свердління, значно прискорити швидкість виробництва, без загрозу похибок, які притаманні при виконанні операцій людиною [10].

Зараз на авіаційному ринку знайшла своє застосування система AFP (Automated Fiber Placement), робоча частина якої представлена на рис. 1.4. Це є розробка компанії Electroimpact. Вона ж її і побудувала. Унікальність цієї системи полягає у можливості формування багатошаровості вуглеволокна, яке необхідно нанести на складні поверхні (рис. 1.5.). До таких поверхонь відноситься й крило літака (наприклад, Boeing 777X). Ця система має великогабаритність, проте вона здатна викласти вуглеволокно за один раз проходження [11].



Рис. 1.4. Робоча частина системи АФР

Цей маніпулятор здатен до переналаштування на іншого типу завдання в автоматичному режимі за допомогою зміни насадок.. Контроль якості відбувається за допомогою лазерної автоматичної системи, яка регулює витрати на матеріал, а також дає рекомендацію оператору на можливі проблеми якості, якщо такі вже маються на готових поверхнях. Переваги АФР полягають у більш точній та якісній роботі, у порівнянні з людиною. Також швидкість, яка досягається за допомогою лише одного проходження по поверхні дозволяє зекономити ресурсіві витрати на матеріали та час. Тобто такі маніпулятор зменшив фінансові витрати виробництва, які необхідні для виготовлення крила ніяким чином не погіршуючи якість виробництва, а навіть навпаки [10].



Рис 1.5. Покриття фюзеляжу полімером за допомогою АФР

В наш час, роботи-маніпулятори знайшли широке застосування в сфері обробці багажу перед забагаженням на борт літака. Вже зустрічається окреме виділення клусу аеропортового робота, тобто робота, що призначений для ведення операцій у терміналах аеропорту. Вони дуже порідненні з класом складських роботів- тих, що виконують операції на складських приміщеннях.

Деякі з них здатні автоматично знімати, розкладати потрібні товари з полиці і поміщати їх в контейнери, піддони або навіпаки [8].

Область застосування автоматизованих системи, а саме роботів-маніпуляторів для обробки та зберігання багажу чи вантажу є галуззю, що досить інтенсивно розвивається. Тому усі процеси автоматизації зазнають змін та покращуються кожним днем. До завдань авіаційної автоматизації дій з багажем входить налагодження системи за такими принципами функціонування: дотримання точних вимог підготовки багажу; транспортування багажу та його зберігання; підготовка багажу на забагаження до літака. Обов'язковим є стандартизація умов пакування та маркування, оскільки без цього буде неможливим подальше застосування робота в технічному процесі [8].

Робот-маніпулятор аналізує, сортує, обробляє та переміщає багаж за допомогою різних каналів внутрішньої та зовнішньої обробки. Ці дії відбуваються для розподілення та угруповання багажів за певним принципом. Сортування багажів по авіаційним маршрутам доставки невід'ємна складова галузі авіації на сьогоднішній день [8].

Найбільш поширене застосування роботів в розсортуванні змішаних палет чи багажів. Оскільки усі зони сховища, складу потребують постійного переміщення багажів, їх розбірці, відборі певного багажу серед іншого асортименту, тому і робот-маніпулятор постійно та активно виконує ці завдання.

В практичному вигляді процес сортування має наступний вигляд: багаж, який заздалегідь встановлено на конвеєрну стрічку розподіляється за певним каналом розподілу. Цим каналом чи умовою може слугувати приналежність багажу певному борту, певному замовленню чи певному маршруту доставки. Оскільки кожен канал є непривідним конвеєром, а також має свою нумерацію,

то при русі сканер зчитує номер самого багажу зі штрих-коду, який було присвоєно при маркуванні. Далі отримана інформація передається на пульт керування, звідки надходить зворотній зв'язок на контролер керування сортуванням. Таким чином, контролер передає механізму необхідну команду механізму зіштовхувача необхідного каналу (рис. 1.6.). Палети, за допомогою робота-маніпулятора, автоматично упаковуються, маркуються та переміщуються на автонабагажувач.



Рис. 1.6. Система формування палетів

Застосування роботів для формування палетів дозволяє автоматизувати частково чи повністю весь процес та завдяки цьому зменшити кількість персоналу та площі для технічного процесу. Також, відбувається скорочення витрат, які необхідні для використання матеріалів та система проводить автоматичний облік усіх виконаних операцій [8].

Завдяки автоматизації процесу сортування та переміщення багажу є можливість у будь-який момент часу точно відстежувати місце розташування багажу [10].

Таким чином, формується системи відпустки багажу зі складу. Оскільки кожен маркований багаж потрапляє до бази даних багажів, що надійшли де їм присвоєно осередок, в якому зберігається вся інформація про рейс та літаку, на який повинен потрапити цей багаж. Тому, при будь-яких змінах відповідних рейсів в аеропорту вся інформація потрапить до бази даних багажу і робот-

маніпулятор точно та своєчасно сформує необхідні палети. Завдяки цьому, проводиться дії з відбагаження та уникаються фактори людських помилок [8].

Ці дії відбуваються самостійно, лише за рахунок контролю оператором усіх дій, оскільки він сам заздалегідь встановлює необхідний проміжок часу, коли системі автоматизації необхідно провести запит в систему та підтвердити інформацію про готовність прийняти багажу літаком.

Якщо підтвердження виконано успішно, то відбуваються дії з відбагаження, завдяки можливості відстеження розташування місцезнаходження багажу до відправки. Після проходження скану проводиться звірка даних. При достовірності усіх даних відбувається запуск чи повтор циклу керування рухом маніпулятора. Він піднімає багаж і переміщує його на автоматичний транспортувальник. За рахунок цих дій система автоматизованого складу задає подальшу траєкторію руху, в якій кінцевою точкою є конвеєр для видачі чи завантаження багажу. Тобто, багаж потрапляє до бази даних з завантаження чи вивантаження, де цикл проходить далі без втрати інформації щодо відправлення багажу: дата, час відбагаження, номер рейсу і так далі [8].

В інакшому випадку, якщо підтвердження не пройшло успішно, оператор отримує попередження, яке дозволяє перевірити причини затримки та змінити необхідну інформацію в базі [8].

Головна особливість усіх аеропортових роботів-маніпуляторів обробки багажу полягає у їх автоматичних діях з переміщень.

Якщо структурувати все автоматичні функції, то в результаті маємо наступні переміщення:

- прийнятті товару — перемещение палетів від зони воріт до конвеєрів чи іншого місця збереження;
- відбагаження – зі стрічки до зони воріт;
- кросс- докинг – переміщення палетів при якому оминаються зона збереження;
- переміщення палетів, що вже завантажені кінченим багажем для рейсу;
- будь-які інші операції з переміщення палетів.

Тобто, роботи-маніпулятори є універсальним засобом для переміщення багажу та його транспортування з одного місця в інше. Вони широко застосовуються в усіх областях діяч у складських приміщеннях. Це і дії переміщення готового виробу та деталі з виробничого конвеєру на палет, або все складання готової продукції з можливістю сортування виробу, функції переміщення з одного конвеєру на інший задля пришвидшенню кола проходження продукції [8].

Незважаючи на функції робота-маніпулятора, їх тип чи клас, призначення, усі вони мають дві основні частини: механічну та систему керування. Під механічною частиною розуміється основа, за допомогою якої робот кріпиться на підлозі та корпусу, за допомогою якого об'єднуються всі органи, які необхідні для роботи. Привід робочих органів також належить до частини корпусу.

Маніпулятор, за допомогою привода та пристрою керування, виконує всі функції, які необхідні для руху. Робочий орган є складовою частиною маніпулятора. Його призначення- це саме виконання передбачених для робота-маніпулятора дій [17].

Вибір типу привода – частина загальної задачі розробки і проектування маніпулятора. Цей вибір залежить від великої кількості факторів, до яких відноситься: вид характеру багажу, вид необхідних переміщень, швидкість та необхідні закону руху робочого органу, число точок позиціонування та їх точності, умови, при яких буде відбуватись експлуатація привода, фактори навколишнього середовища, до яких відноситься засміченість пилом, вібрації, шуми, стійкість до пожеж, вибухонебезпечність [8].

Правильний підбір привода проводиться шляхом аналізу переваг і недоліків кожного з виду існуючих приводів. При аналізі необхідно врахувати завдання, що буде покладатися на аеропортовий робот-маніпулятор, а також природу процесів, що відбуваються в конкретному виді привода. Важливою є умова побудови адекватних математичних моделей.

Усе перераховане вище, дозволяє сказати, що роботизація сприяє розвитку та прогресу в усіх сферах застосування. Авіаційна галузь займає одне з

передових положень для застосування роботизованих систем і роботів-маніпуляторів, в тому числі. Сучасний світ потребує виконання багатої кількості процесів за досить обмежений проміжок часу. Аеропортові роботи-маніпулятори дозволяють вирішувати це завдання за допомогою виконання від простих процесів з переміщення багажу до більш складних технологічних операції [8].

1.4. Аналіз САК приводом робота-маніпулятора, що вже існують

Усі способи керування роботом-маніпулятором основані на теорії автоматичного керування (ТАК). Їх існує велика множина, проте їх узагальнення складає труднощі, оскільки кожного дня вирішуються, як правило, принципово різні завдання: оператор працює в умовах, що неможливо передбачити завчасно, вирішуються завдання, пов'язані з побудовою системи керування (СК) [1].

Під час вирішення поставлених завдань, необхідно розуміти, що об'єктом керування виступає саме процес керування приводом робота-маніпулятора. До Системи керування аеропортового робота-маніпулятора об'єднують у собі самі пристрої керування та виконання (виконавчі пристрої), які обробляють вхідну інформацію та постановку завдань на силові агрегати. Таким чином, на маніпулятор надходить сигнал, що приводить його в рух [1].

Система керування містить у собі сам об'єкт, необхідний регулятор та привід, датчики. Також, необхідним є наявність каналів зв'язку, оскільки за їх допомогою відбувається обмін інформації між елементами системи. Цей обмін може відбуватися за допомогою пневматичних чи гідравлічних системи, за допомогою комп'ютерних мереж, проте найбільш популярним є обмін за допомогою електричного струму [6].

Сам процес керування містить за мету регулювання величини, що отримується на виході, тобто процес її зміни в часі. З цього випливає, що керуючий вплив є одним з найважливіших показників для здійснення регулювання необхідної величини об'єкта керування. За допомогою керуючого впливу відбувається компенсація дій зовнішнього впливу, які можуть викликати збурення, тим самим, порушувати дії та відгук величини, що регулюється.

Вироблення та реакція керуючого впливу відбувається за допомогою пристрою керування (ПК). А об'єднання в єдину систему пристрою керування та об'єкта керування, та їх взаємодіють одного з іншим утворюють систему автоматичного керування (САК) [1].

Таким чином, системою керування називається набір засобів для збору інформації про об'єкт керування та впливів, що контролюють його поведінку, які систематизовані між собою задля отримання необхідних та бажаних результатів. Враховуючи все наведене вище, постає можливість представити узагальнену структурну схему системи керування роботом-маніпулятором (рис. 1.7):

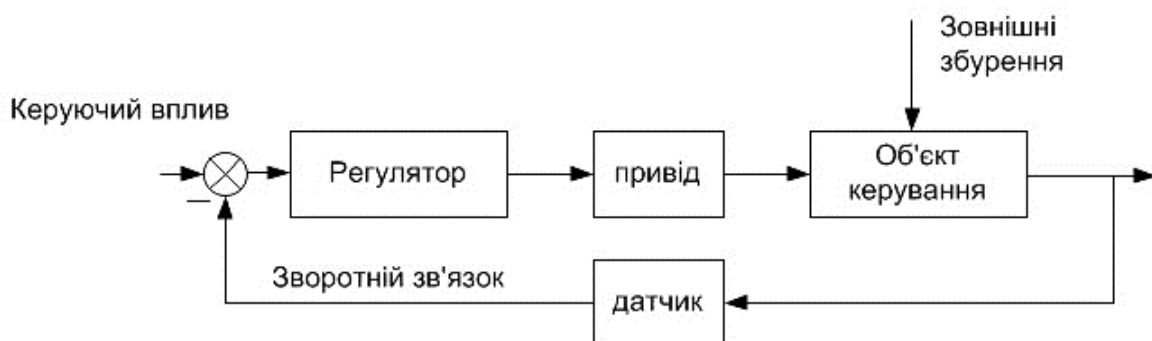


Рис. 1.7. Узагальнена структурна схема системи керування

Так, якщо розглядати робот-маніпулятор з точки зору керування, то він є електромеханічною системою, яка містить багатоланкові механічні механізми та конструкції, з необхідним типом приводу, а також пристроєм керування, що можна перепрограмувати [1].

Зміна з часом характеристик об'єкта є досить важливим аспектом. Якщо параметри залишаються постійними та не залежать від плину часу, то така система є стаціонарною. Динаміка таких систем описується за допомогою диференціальних рівняннями, які містять постійні коефіцієнти. Якщо ж, з плином часу відбувається й зміна параметрів регулятора, то така система є нестационарною. Під час дослідження таких систем необхідно брати за увагу як величину збурення, так і момент його прикладання [7].

В залежності від характеру зміни керуючого впливу виділяють системи автоматичної стабілізації, програмного регулювання, а також слідкуючі системи [19].

В системах автоматичної стабілізації під час роботи керуючий вплив залишається постійним. Метою цієї системи є підтримка величини, що регулюється на постійному рівні в допустимих межах похибки незалежно від діючих збурень [1].

Під час роботи системи програмного регулювання зміни керуючого впливу відбуваються за заздалегідь встановленим законом в залежності від функцій часу та координат системи [6].

За кількістю входів та виходів САК підрозділяються на одномірні і багатовимірні системи [20].

В одномірних системах присутній один вхід та вихід, в той час, як багатовимірні системи містять декілька входів чи виходів.

Розподілення на неадаптивні та адаптивні системи відбувається за рахунок врахування того, як відбувається налаштування системи.

До неадаптивних систем належать системи, що налаштовуються власне за рахунок людини. В них непередбачене автоматичне налаштування системи під час зміни характеристик зовнішніх впливів. Адаптивні ж системи автоматично переналаштовуються під час зміни зовнішніх впливів. Їх особливість полягає у тому, що під час цих змін вони забезпечують необхідну якість керування, завдяки зміні структури та параметрів керуючого пристрою [1].

Автоматизація виробничих процесів вимагає застосування роботів-маніпуляторів з різними системами керування. Удосконалення цих систем надає розширення технологічних та функціональних можливостей. Тим самим роботи-маніпулятори тепер застосовуються не тільки в промисловості, а й в якості аеропортового обладнання [12].

В даному розділі розглянуто актуальні та реальні в наш час системи автоматичного керування, В кваліфікаційній роботі досліджено замкнуту, неперервну, стаціонарну, одномірну, адаптивну систему автоматичного

керування приводом робота-маніпулятора. Цей робот-маніпулятор виконує роботу по жорстко заданій програмі, тому він є роботом першого покоління, що виконує дії з обробки багажу [1].

При виконанні кваліфікаційної роботи буде досліджуватись робот-маніпулятор, що має 4 ступені свободи. Двигуни кожної ланки є шаговими та знаходяться, безпосередньо, у основи самих ланок. Приклад такого типу робота-маніпулятора представлено на рис. 1.8.



Рис. 1.8. Загальний вигляд робота-маніпулятора

1.5. Постановка задачі на дослідження

Необхідно провести моделювання системи керування приводом аеропортового робота-маніпулятора обробки багажу задля створення ефективної, адекватної моделі системи. Для цього необхідно підібрати параметрів коригувальних пристроїв і підсилюючого елемента системи [1].

Необхідним є врахування наступних факторів:

- на вхід системи надходить кут повороту, який створюється механічним зусиллям [1];
- цей сигнал, з урахуванням помилки, перетворюється в електричну напругу [1];
- сигнал посилюється, коригується і надходить на двигун;
- вихідний сигнал двигуна надходить на об'єкт – робот-маніпулятор [1].

В якості засобу моделювання використовується середовище Matlab 2015.

Завданнями для дослідження є:

1. Проведення аналізу та дослідження САК приводом аеропортового робота-маніпулятора, що існують на сьогоднішній день;
2. Вибір елементної бази САК приводом аеропортового робота-маніпулятора;
3. Розробка структурної схеми САК приводом аеропортового робота-маніпулятора;
4. Розробка неперервної схеми САК приводом робота-маніпулятора;
5. Розробка цифрової схеми САК приводом робота-маніпулятора;
6. Моделювання неперервної та цифрової САК приводом аеропортового робота-маніпулятора в середовищі Matlab;
7. Дослідження стійкості системи.

Поставленні завдання досягаються шляхом розроблення структурної та проведення імітаційного моделювання цифрової та неперервної САК приводом

аеропортового робота-маніпулятора в середовищі Matlab, а також дослідження систему на стійкість [1].

РОЗДІЛ 2

ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ АЕРОПОРТОВОГО РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА

2.1. ЕЛЕМЕНТНА БАЗА ПРИВОДУ АЕРОПОРТОВОГО РОБОТА- МАНІПУЛЯТОРА

2.1.1. Загальні дані

При проведені розбору та аналізі системи впливає, що сам робот складається з безпосередньо маніпулятора – самого виконавчого пристрою та пристрою програмного керування [1].

Завданням маніпулятор є виконання всіх функцій, що пов'язані з рухом. Він складається з конструкцій, що містяться на опорі, системи маніпуляції, робочих органів та привода [1].

Сама маніпуляційна система слугує для перенесення , власне, багажу до необхідної зони та його орієнтації у просторі за допомогою робочого органу. Системою маніпуляції може бути будь-який промисловий механізм, що містить багато ланок та замкнений кінематичним ланцюгом.

Пристрій, що захоплює багаж є саме робочим органом маніпулятора. Його функцією є дії по захопленню багажу під час виконання операції з переміщення (безпосередньо вплив на нього) [12].

Привод безпосередньо перетворює електричну енергію в механічну. Тобто, за його допомогою, маніпулятор і виконує дії з багажем, які надходять від системи керування [1].

Привод визначає головні та вадливі динамічні властивості маніпулятора. До них відноситься прискорення, необхідна швидкість руху робочого органу, а також точність позиціонування [1].

Особливості конструкції приводу залежать від того, для яких завдань призначений робот-маніпулятор та умов, у яких від буде експлуатуватись [1].

Виділяють наступні класифікації приводів:

Відповідно до виду енергії, що використовується

- пневматичні;
- гідравлічні;
- електромеханічні;
- комбіновані.

До складу пневматичних приводів входить механізм, який керує та розподіляє енергію робочим органом за рахунок дії тиску. Цей тип приводу міститься у четверті усіх промислових роботів. Проте його недоліком є низька вантажопідємність, наявність великого шуму. Він слугує для виконання завдань з надлегким та легким багажем. Перевагами же є: простота конструкції, висока швидкість та точність позиціонування. Його можна використовувати в небезпечних умовах. Він не потребує великих витрат на обслуговування [1].

Гідравлічний привід передає енергію за допомогою рідини. До його складу гідроприводу входять об'ємні насоси та гідродвигуни, за допомогою відбувається керування пристроями, трубопроводи, завдяки яким об'єднуються всі елементи приводу та, власне, рідина, яка виступає в ролі енергоносія. Цей тип приводів застосовують для виконання робіт з середньою та великою вагою. Він забезпечує високу швидкість та точність позиціонування. Особливості роботи надають безступінчасте регулювання швидкості. Проте гідравлічний привід має обмежений ресурс рідини, тому її необхідно постійно оновлювати, а також для його використання необхідне оснащення спеціальної насосно-аккумуляторного обладнання, установок [9].

До складу електромеханічного приводу входить електродвигун постійного струму, за допомогою якого обертальні рухи надходять на муфту ходового гвинту, який, за рахунок руху гайки, виконує дії з розкривання та закривання поршня. Застосування цього типу приводу постійно підвищується, оскільки він забезпечує високу швидкість, надійність та діапазон з регулювання частоти, він

має зручну конструкцію, не виробляє великої кількості шуму та простий в обслуговуванні. Проте щітки, що містяться в колекторі двигуна мають високу зношеність, а також навантаження, що використовується напряму залежить зі швидкістю. Також, недоліком є необхідність створення кінематичного ланцюга між електродвигуном та робочим органом робота-маніпулятора [1].

Процес керування окремим типом приводу зводиться до однократного руху на постійній швидкістю та виконанні дій з гальмування при досягненні максимально встановленого значення. Роботи, в яких наявна циклова система керування знайшли застосування на контрольно-вимірювальних діях в авіації. Під час виконання операцій з їх застосуванням відбувається контроль зварювання, ступінь чистоти обробки поверхні деталей, проходить сортування. Робот-маніпулятор, що має циклову систему може знаходити деталі з браком за допомогою ультразвукового датчика [1].

2.1.2 Вимоги до привода аеропортового робота-маніпулятора

Для експлуатації роботів-маніпуляторів найчастіше використовую шагові двигуни.

Під час підбору двигуна необхідно врахувати певний ряд вимог, що на нього покладається:

— електричний двигун необхідно підбирати відповідно до особливостей

задач, які будуть на нього покладені;

— наявність високих пускових моментів;

— стійкість до можливих перенавантажень під час використання;

— надійність з точки зору умов навколишнього середовища.

— можливість роботи приводу в загальній системі.

Тобто, привід аеропортового робота-маніпулятора повинен мати високу швидкодію, стійкість до перенавантажень, можливість дистанційного керування; можливості захисту під час аварійних ситуацій [4].

В даній кваліфікаційній роботі виконано підбір шагового двигуна з двигунів, що вже існують в наш час. Аналіз необхідного типу двигуна проводиться для кожної ланки системи. Динамічні властивості моментів при цьому не враховуються.

2.1.3. Вибір типу електродвигуна

На сьогоднішній день можуть використовуватись як шагові, так і серводвигуни. Проте, серводвигун є дорожчим, тому для робота-маніпулятора доцільнішим є використання шагових. Тому прийнято рішення використати електричний уніполярний шаговий двигун, оскільки він є досить точним та доступним, його можливо налаштувати на позиціонування в досить чітких градусних мірах, а також він має високий термін служби та надійність.

Для пристрою захвату та основи робота-маніпулятора буде використано шаговий двигун FL86STH118-6004A, технічні характеристики якого наведено в таблиці 2.1. [2].

Таблиця 2.1.

Характеристики двигуна FL86STH118-6004A

Робочій струм, А	Мк кг·с м	Опір, Ом	Індуктивність, мГн	Ж, г·см ²	Маса, кг ІМ1001
6,0	87	0,6	6,5	2700	2



Рис 2.1. Двигун FL86STH118-6004A

В якості двигуна першої ланки обрано шаговий двигун FL130BYG2502, технічні характеристики якого неведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Характеристики двигуна FL130BYG2502

Фазний струм I_{ϕ} , А	M_k кг·см	J, кг·см ²	Маса, кг IM1001
7	500	48	7



Рис 2.2. Двигун FL130BYG2502

В якості двигуна першої ланки обрано шаговий двигун FL130BYG2503, технічні характеристики якого неведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3.

Характеристики двигуна FL130BYG2503

Фазний струм I_{ϕ} , А	M_k кг·см	J , кг·см ²	Маса, кг <i>IM1001</i>
7	1000	68	10



Рис 2.3. Двигун FL130BYG2503

2.1.4. Підбір силового джерела живлення

Підбір джерела живлення виконується після обрання елементів силової частини системи. Це пов'язано з тим, що після цього підбору стають зрозумілими необхідні рівня для напруги та потужності навантажень.

Для виконання підбору силового джерела живлення необхідно провести наступні розрахунки:

1. Розрахунок характеристик номінальної напруги джерела живлення:

$$U_{дж} = K_3 * I_H * R_a = 1,2 * (6 * 0,6) = 4,32 \text{ В}, \quad (1)$$

де:

K_3 – коефіцієнт запасу. Його межі мають бути (1,05...1,2), оскільки більші значення будуть давати перегрівання обмотки двигуна;

I_H – номінальний струм фази двигуна;

R_a – активний опір двигуна.

2. Розрахунок потужності двигуна:

$$P_{дж} = K_3 * I_H * U_{дж} = 1,5 * (6 * 4,32) = 38,88 \text{ Вт}, \quad (2)$$

де:

K_3 – коефіцієнт запасу;

I_H – номінальний струм фази двигуна;

U_H – номінальна напруга фази двигуна.

Обрано значення коефіцієнту запасу рівне 1,5, оскільки це надасть можливість роботи в стабільному режимі і без наявності перегрівань.

Так, за даними характеристиками обрано джерело живлення типу PS-45-12, що представлено на рис. 2.4.:



Рис. 2.4. Джерело живлення PS-45-12

2.1.5. Вибір регулятора

Польові транзистори, що мають ізольований затвор будуть використані в якості регулятора. Саме вони зможуть надати високу швидкодію в режимах включення та виключення. При їх роботі не є необхідним наявність високого струму керування.

Підбір типу транзисторів виконується відповідно до схеми включення. Це може бути n- чи p-канал. Буде використано транзистори для n-каналу.

Також важливим є врахування максимального струму. Він розраховується наступним чином:

$$I_{\text{нсп}} = (2 \dots 5) * 6 = 12 \dots 30 \text{ А}, \quad (3)$$

де:

$I_{\text{нсп}}$ - номінальний струм резистора. Він має бути в межах 2...5 разів більшим, за значення номінального струму двигуна.

Далі необхідно провести розрахунок напруги, що буде комутуватися. Він проводиться за формулою (4):

$$U_{\text{max}} = K_3 * U_{\text{ком}} = (5 \dots 10) * 4,32 = 21,6 \dots 43,2 \text{ В}, \quad (4)$$

де:

U_{\max} - значення максимальної напруги. Воно має бути вищим за значення коефіцієнту запасу напруги, що комутується;

K_3 – коефіцієнт запасу. Воно знаходиться в межах 5...10, оскільки більші значення сприяють перегрівання транзисторів в момент протікання через них струму.

$U_{\text{ком}}$ - значення напруги, що комутується.

На основі обчислених даних та аналізі отриманих результатів необхідним є проведення підбору доцільного типу польового транзистора.

В даному випадку доцільним буде використання транзистора типу IRF7413, оскільки він є транзистором, характеристики якого підходять до обчислених значень.

Загальні характеристики транзистора типу IRF7413 неведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4.

Загальні характеристики транзистора IRF7413

Тип каналу	Мах напруга, В	Мах струм, А	Мах потужність розсіювання, Вт	Мах опір, Ом	Час включення, нс	Час виключення, нс
n-канал	30	18	2.5	0,011	12	13

Транзистор типу IRF7413 має наступний вигляд (рис. 2.5):



Рис 2.5. Транзистор типу IRF7413

2.1.6. Підбір перетворювача

Транзисторний перетворювач (ТП), дає можливість перетворення напруги з одного номіналу в іншу. Саме він і буде використовуватись в приводі даного робота-маніпулятора. Їх перевага полягає в надійності та високому строку служби, а також наявність тільки статичних частин. Транзисторні перетворювачі при активному навантаженні та при індуктивному опорі, за рахунок чого присутній більший діапазон керування швидкістю обертального руху двигуна. Тим самим відбувається захищення від перепадів струму та напруги. Управління двигуном може бути здійснене за різними методами.

Для даної системи буде розглянуто керування двигуном на основі широтно-імпульсної регуляції напруги (ШІР) за допомогою транзисторного перетворювача (ТП).

За своєю будовою широтно-імпульсний перетворювач містить транзисторні ключі в розмірі чотирьох штук і, що об'єднані навантаженням в зоні мосту.

Схему ШІП представлено на рис. 2.5.

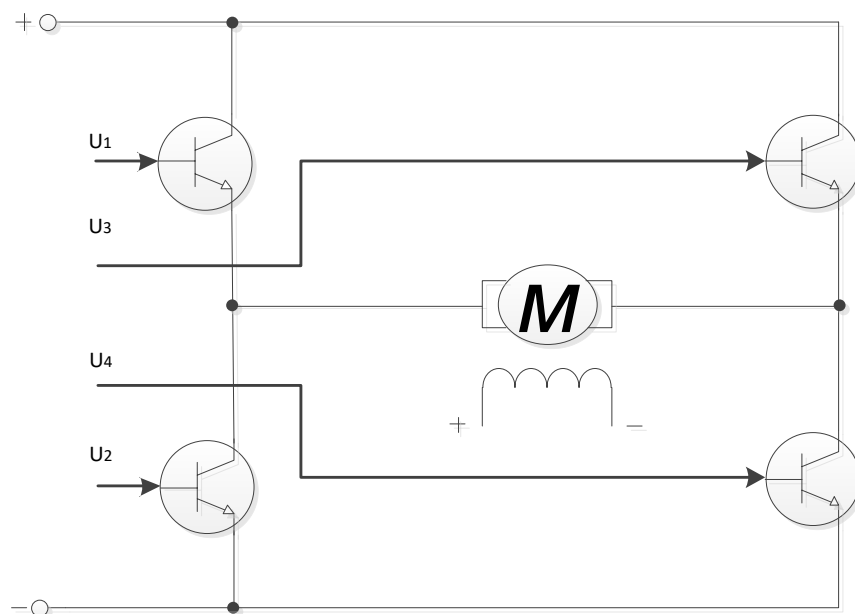


Рис. 2.5. Схema ШІП

Керування транзисторним перетворювачем може відбуватися як при симетричному, так і при несиметричному способі.

В першому випадку всі чотири транзисторні ключі будуть в стані можливого перемикання. Його застосовують для приводів малої потужності, оскільки при застосуванні симетричного стану буде наявною відсутність зони нечутливості параметру, що керується.

В другому випадку наявна можливість перемикання транзисторних ключів, що знаходяться за зоною мосту у випадку коли буде наявна полярність сигналу на вході. Таким чином, вони буде відбуватися їх перемикання в протифазі. Під час цього, ключ, що знаходиться на схемі перед мостом зверху буде постійно у відкритому стані та насичений, а ключ, що знаходиться знизу- в закритому стані. Якщо ж, буде наявна протилежна полярність, то перемикання в протифазі буде відбуватися в ключах, що знаходяться перед мостом. Спосіб керування в несиметричному випадку потребує уваги до значень струму для верхніх ключів (ними необхідно користуватись по черзі).

2.2 Розробка САК приводом аеропортового робота-маніпулятора

2.2.1. Побудова структурної схеми САК приводом аеропортового робота-маніпулятора

Важливим елементом електроприводу є двигун. Існує велика кількість двигунів, тому підбір виконується в залежності від завдань, які будуть необхідні для виконання. Можливе застосування як двигунів постійного струму (ДПС), так і двигунів змінного струму (ДЗС) [1].

В даній роботі буде використано двигун постійного струму незалежного збудження (ДПС НЗ), оскільки в наш час вони отримали свою перевагу в робототехніці. Підбір структури та параметрів для керування ДПС відбувається за допомогою багатоконтурних регуляторів. Також, важливим є врахування необхідних вихідних характеристик САК [1].

Під час врахування усіх необхідних умов та характеристик можливе представлення структурної схеми САК, з якою і будуть відбуватися подальші дії з моделювання [1].

Структурна схема САК привода аеропортового-робота маніпулятора, що розглядається в даній кваліфікаційній роботі представлена на рис. 2.6., де вхідним сигналу (ВС) виступає кут повороту, який, за рахунок виконання певних механічних дій оператором, потрапляє на вхід системи. Або ж, кут повороту може формуватися в наслідок виконання програми САК роботом-маніпулятором, що була налаштована заздалегідь [1].

Структурна схема містить у своєму складі перетворювач (П), регулятор (Р), транзисторний перетворювач (ТП), фільтр (Ф), сам двигун постійного струму (ДПС), а також виконуючий (ВП) та керуючий (КП) пристрої [1].

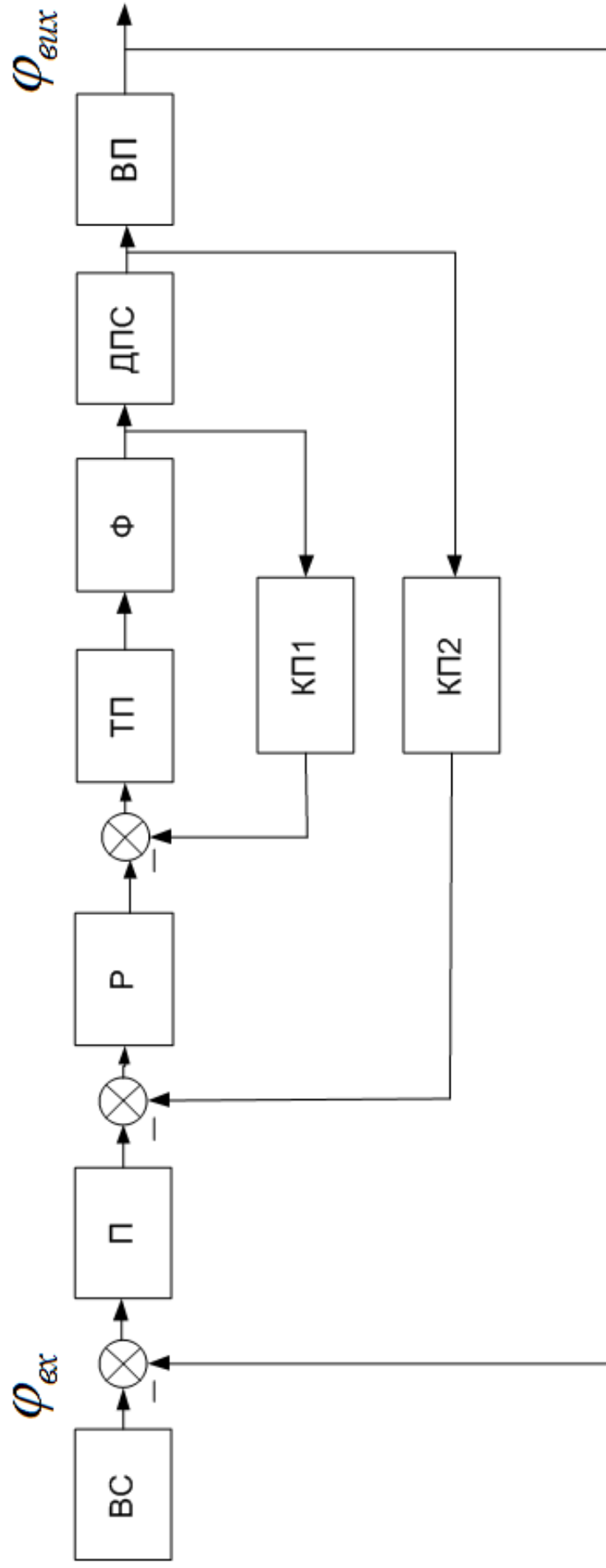


Рис. 2.6. Структурна схема САК приводом аеропортового робота-маніпулятора

Принцип роботи схеми наступний: зворотній зв'язок по швидкості та різниця сигналу керування від перетворювача (П) надходить на регулятор, який, в свою чергу, виробляє керуючий вплив на транзисторний перетворювач (ТП). Він є силовим регулятором системи. Саме ТП виконує дії з керування електроприводом ДПС НЗ. Транзисторний перетворювач є аперіодичною ланкою першого порядку. Цей силовий регулятор є нереверсивним ШП. Транзисторний перетворювач задля запобігання розмикання контуру, що регулюється, а також дій зі зміни швидкості керуючого сигналу подає сигнал на фільтр. І вже після виконання коригуючих дій електричний сигнал надходить на двигун, який перетворює його в механічний та передає на виконуючий пристрій. Двигун є аперіодичною ланкою першого порядку [1].

Завдяки датчикам зворотного зв'язку, а саме коригуючим пристроям (КП1 та КП2), що підключенні послідовно до схеми надходить зворотній зв'язок по напрузі та частоті, відповідно [1].

Датчик кута відхилення, інформація на який надходить від вхідного сигналу та виконуючого пристрою, в якості зворотного зв'язку виконує перетворення вхідного сигналу, а саме кута повороту у відповідний електричний сигнал [1].

Структурна схема складається з системи керування, власне, двигуна постійного струму та механічної частини [3].

До система керування входить перетворювач, регулятор, транзисторний перетворювач, фільтр та самі коригуючі пристрої. Перетворювач виконує дії з перетворення в напругу кут повороту, що надходить в якості вхідного сигналу. Датчики зворотного зв'язку, що містяться в системі передають інформацію про стан електроприводу в даний момент часу на регулятор та перетворювач. Тим самим підвищується швидкодію та відбувається зменшення динамічних похибок системи. Тобто датчики забезпечують стійкість системи. За допомогою транзисторного перетворювача відбувається живлення двигуна, а також, виробляється необхідний для його роботи керуючий вплив [1].

До електроприводу входить двигун постійного струму незалежного збурення, що є окремою складовою системи. В ньому відбуваються перетворення електричної енергії, що надходить від системи керування в механічну, яка необхідна для подальшої роботи системи [1].

Завдяки механічній частині привід аеропортового робота-маніпулятора виконує необхідні зміни дій виду руху. Це відбувається за рахунок передачі механічної енергії, що надійшла від ДПС НЗ на виконуючий пристрій [1].

Таким чином, САК приводом аеропортового робота-маніпулятора має три контури керування: по напрузі; по частоті та по куту відхилення електропривода.

Після розроблення структурної схеми на наступному етапі необхідно провести моделювання САК, в результаті якого створена модель системи буде ефективною та адекватною [1].

Первинний аналіз САК дає наступні висновки: кут повороту поступає в якості вхідного сигналу системи за рахунок механічних зусиль. Після цього, враховуючи помилку, цей сигнал перетворюється в електричну напругу, після чого, відбуваються дії з посилення, коригування та надходження її на двигун, де напруга перетворюється на механічний сигнал. В результаті чого він з ДПС НЗ надходить на захватний механізм аеропортового робота-маніпулятора [1].

Моделювання САК проводиться в середовищі Matlab 2015.

2.2.2. Оптимізація параметрів САК привода аеропортового робота-маніпулятора

Оптимізацію слід провести таким чином, щоб параметри коригуючих пристроїв та підсилювача пристроїв, що підібрані задовольняли показникам якості вхідного сигналу, а саме [1]:

- максимальне перерегулювання складало менше 3%;
- час наростання тривав до 2-3 с;
- тривалість перехідного процесу склала не більше 3-5 с.

З метою визначення значень цих параметрів будується імітаційна модель (рис. 2.7.) та проводиться оптимізація САК привода аеропортового робота-маніпулятора обробки багажу [1].

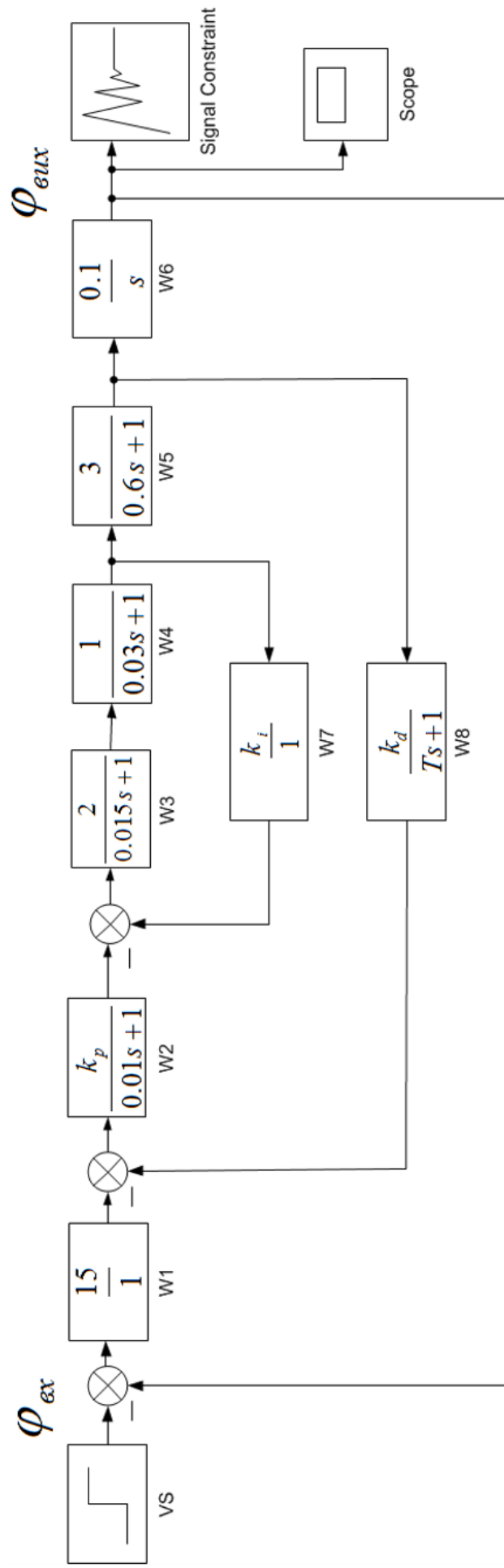


Рис. 2.7. Імітаційна модель САК привода аеропортового робота-маніпулятора

В склад імітаційної моделі входять такі елементи, як [1]:

VS – вхідний сигнал, що представлений блоком Step;

W1 –перетворювач, що представлений блоком Transfer Function;

W2 – регулятор, що представлений блоком Transfer Function;

W3 – транзисторний перетворювач, що представлений блоком Transfer Function;

W4 – фільтр, що представлений блоком Transfer Function;

W5 – двигун постійного струму незалежного збурення, що представлений блоком Transfer Function;

W6 – виконуючий пристрій, що представлений блоком Transfer Function;

W7 та W8 – коригуючі пристрої, що представлені блоком Transfer Function.

Транзисторний перетворювач W3 та двигун постійного струму незалежного збурення W5 подано у вигляді аперіодичної ланки першого порядку. Передавальна функція (ПФ) регулятора представлена у вигляді блоку W2 [1].

За допомогою осцилографа можливо спостерігати за протіканням зміни сигналів у ході процесу моделювання [5].

Блок Signal Constraint дає можливість виконувати задання допустимих меж задля прямих показників якості системи.

Графік перехідного процесу змодельованої нескорегованої САК зображено на рис. 2.8 [1].

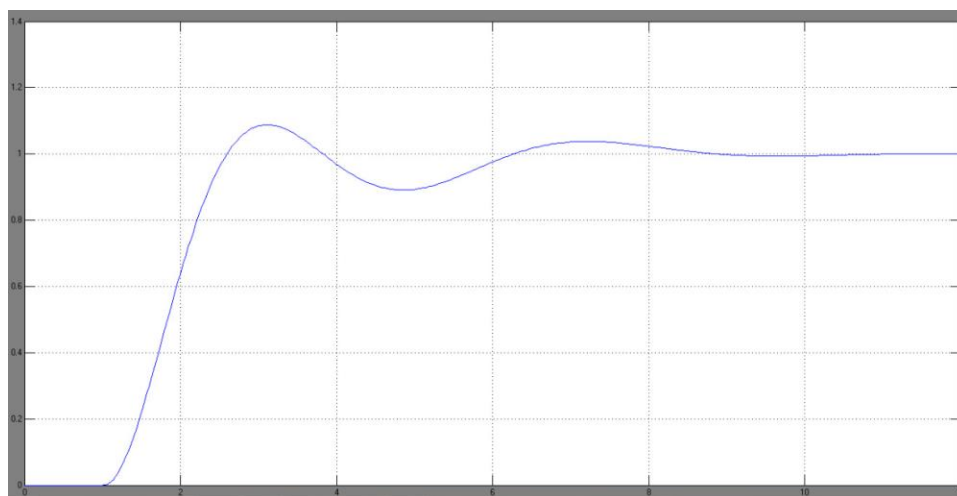


Рис. 2.8. Перехідний процес нескорегованої неперервної САК

Аналіз отриманого перехідного процесу для нескорегованої системи доводить необхідність проведення оптимізації параметрів коригуючих пристроїв, оскільки він не відповідає попередньо заданим показникам якості [19].

Необхідно провести синтез параметрів коригуючих пристроїв та підсилвача k_p , k_i , k_d , T_d з метою налаштування неперервної САК. Він буде проводитись за NCD-технологією. Задля чого застосується NCD-блок. Він з'єднаний з виходом системи, бо саме реакція САК на одиничний ступінчастий стрибок у заданій моделі є сигналом, що потребує контролю [1].

Налаштування параметрів починається з задання початкових коефіцієнтів та налаштування самих параметрів блоку Signal Constraint. Результат налаштувань зображено на рис. 2.9 . [1]

	Variable	Value	Minimum	Maximum	Scale
<input checked="" type="checkbox"/>	Td	0.9	-Inf	Inf	1
<input checked="" type="checkbox"/>	kd	0.3	-Inf	Inf	0.5
<input checked="" type="checkbox"/>	ki	0.5	-Inf	Inf	0.5
<input checked="" type="checkbox"/>	kp	1	-Inf	Inf	1

Рис 2.9. Налаштування параметрів блоку Signal Constraint

Коли задано початкові налаштування виконуються дії з оптимізації системи, задля синтезу параметрів коригуючих пристроїв та підсилювача, що при обраних показники якості САК, будуть приймати необхідні характеристики перехідного процесу. В даній кваліфікаційній роботі оптимізація проводиться, враховуючи, що робота системи є стабільною [1].

Рис. 2.10. Налаштування характеристик перехідного процесу

На рис. 2.10. показано етап налаштування характеристик перехідного процесу й показників оптимізації представлено.

В результаті проведення попередніх дій можливе знаходження значень коефіцієнтів, що будуть підібрані за параметрами перехідного процесу, які були задані. На рис. 2.11. продемонстровано результат дій з оптимізації у графічному вигляді.

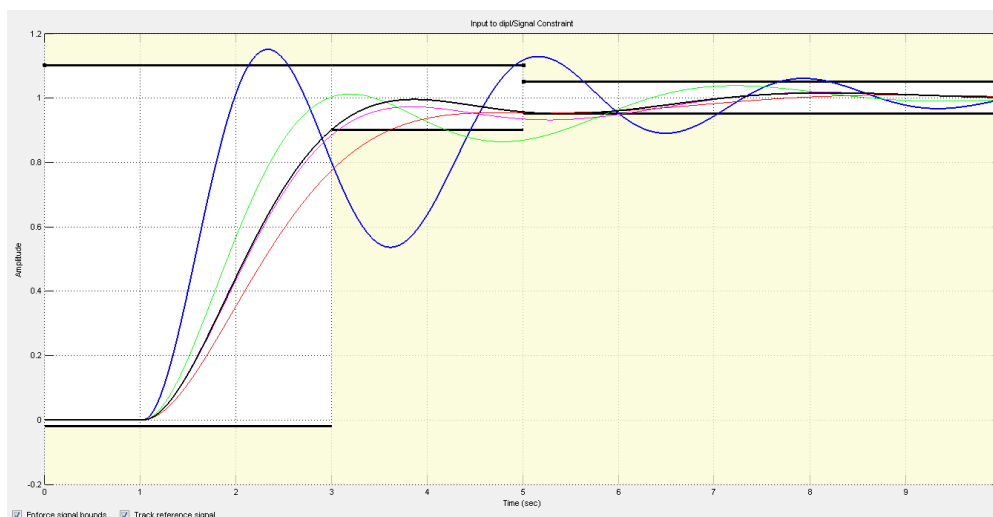


Рис. 2.11. Оптимізація перехідного процесу

Таким чином, як результат дій з оптимізації, отримано значення параметрів коригуючих пристроїв та підсилювача (рис. 2.12). Вони є наступними [1]:

- значення пропорційного коефіцієнту $k_p = 0.4205$;
- значення інтегрального коефіцієнту $k_i = 1.3792$;
- значення диференційного коефіцієнту $k_d = 0.3556$;
- значення підсилювача $T_d = 0.8965$.

	Variable	Value	Minimum	Maximum	Scale
<input checked="" type="checkbox"/>	Td	0.8965	-Inf	Inf	1
<input checked="" type="checkbox"/>	kd	0.3556	-Inf	Inf	0.5
<input checked="" type="checkbox"/>	ki	1.3792	-Inf	Inf	2
<input checked="" type="checkbox"/>	kp	0.4205	-Inf	Inf	0.5

Рис. 2.12. Результати підібраних параметрів з використанням Signal Constraint-блоку

Параметри k_p , k_i , k_d , T_d , які отримано в Signal Constrain-блоці, застосовуються далі з метою отримання перехідного процесу. Відбувається повторне налаштування коригуючих пристроїв та підсилювача за отриманими параметрами. Як результат, отримано перехідний процес скорегованої неперервної системи, що задовольняє критеріям якості, які були задані. Результат цього перехідного процесу показано на рис. 2.13) [1].

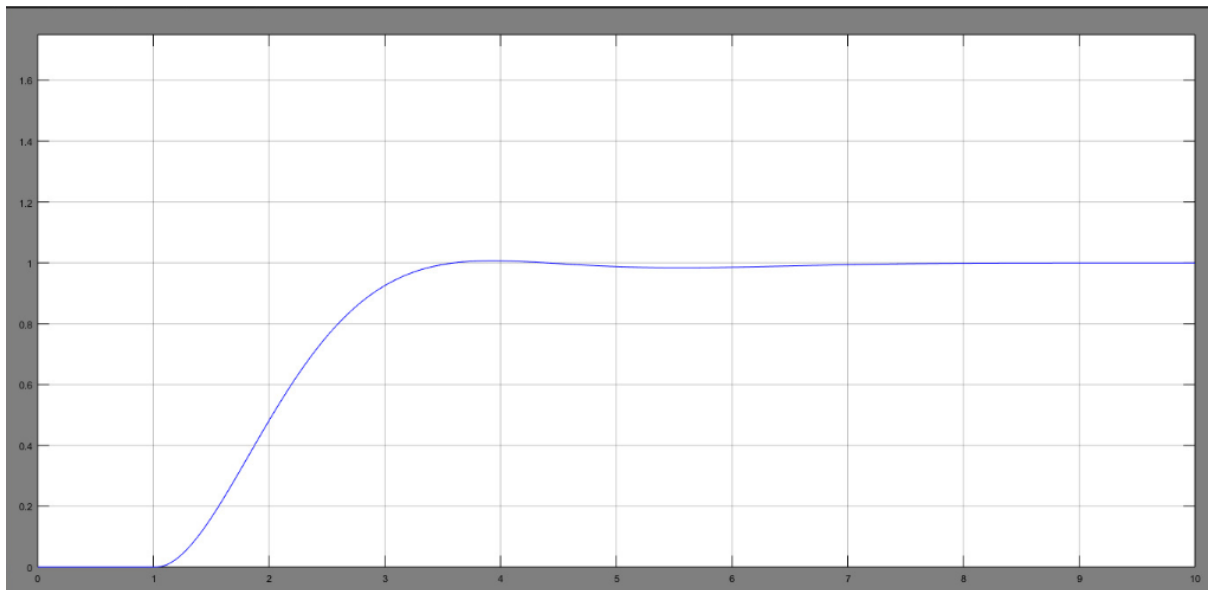


Рис. 2.13. Перехідний процес скорегованої неперервної системи

Таким чином, у другому розділі кваліфікаційної роботи синтезовано параметри коригуючих пристроїв та підсилювача з використанням технології NCD (Nonlinear Control Design). За допомогою графічного інтерфейсу, що міститься в інструментальному пакеті користувача, є можливість проведення налаштувань для динамічних параметрів об'єкта. В результаті чого отриманно перехідні процеси неперервної САК привода аеропортового робота-маніпулятора бажаної якості [1].

РОЗДІЛ 3 ПОБУДОВА ЦИФРОВОЇ САК ПРИВОДОМ АЕРОПОРТОВОГО РОБОТА- МАНІПУЛЯТОРА ОБРОБКИ БАГАЖУ

3.1. Порівняльний аналіз методів регулювання, що існують

Імітаційне моделювання дискретної лінійної стаціонарної математичної моделі САК приводом аеропортового робота-маніпулятора

Для імітаційного моделювання припускається, що математичні моделі всіх елементів, є лійними та стаціонарними. Аналіз процесів, що досліджується буде відбуватися за рахунок методів з використанням Z – перетворень [5].

Для проведення обчислень ПФ елементів дискретної лінійної стаціонарної математичної моделі САК приводом аеропортового робота-маніпулятора обробки багажу відбувається побудова математичної неперервної моделі об'єкту керування [20]:

$$W_{Hp}(s) = W_3(s)W_4(s)W_5(s),$$

де $W_3(s)$ – транзисторний перетворювач;

$W_4(s)$ – фільтр;

$W_5(s)$ – ДПС.

Задаємо передавальні функції для даних елементів елементів САК. Вони мають наступний вигляд [1]:

$$W_3 = \text{tf}([2], [0.015 \ 1])$$

Transfer function:

$$\frac{2}{0.015s + 1}$$

$$W_4 = \text{tf}([1], [0.03 \ 1])$$

Transfer function:

$$\frac{1}{0.03 s + 1}$$

$$W5 = \text{tf}([3], [0.6 \ 1])$$

Transfer function:

$$\frac{3}{0.6 s + 1}$$

$$W_H = W3 * W4 * W5$$

Transfer function:

$$\frac{6}{0.00027 s^3 + 0.02745 s^2 + 0.645 s + 1}$$

На наступному етапі проводиться обчислення період квантування за часом за допомогою побудови діаграми Боде. При цьому за увагу береться умова, що верхня частота корисного сигналу та збурення невідомі. Тобто, побудова відбувається лише за умови знання ПФ неперервного ОК [1].

Частота ω , яку необхідно знайти буде відповідати точці, де вихідний сигнал амплітуди в 100 разів менший від вхідного, що приведений для неперервного ОК в області низьких частот[1].

Результат побудови діаграми Боде наведено на рис.3.1.

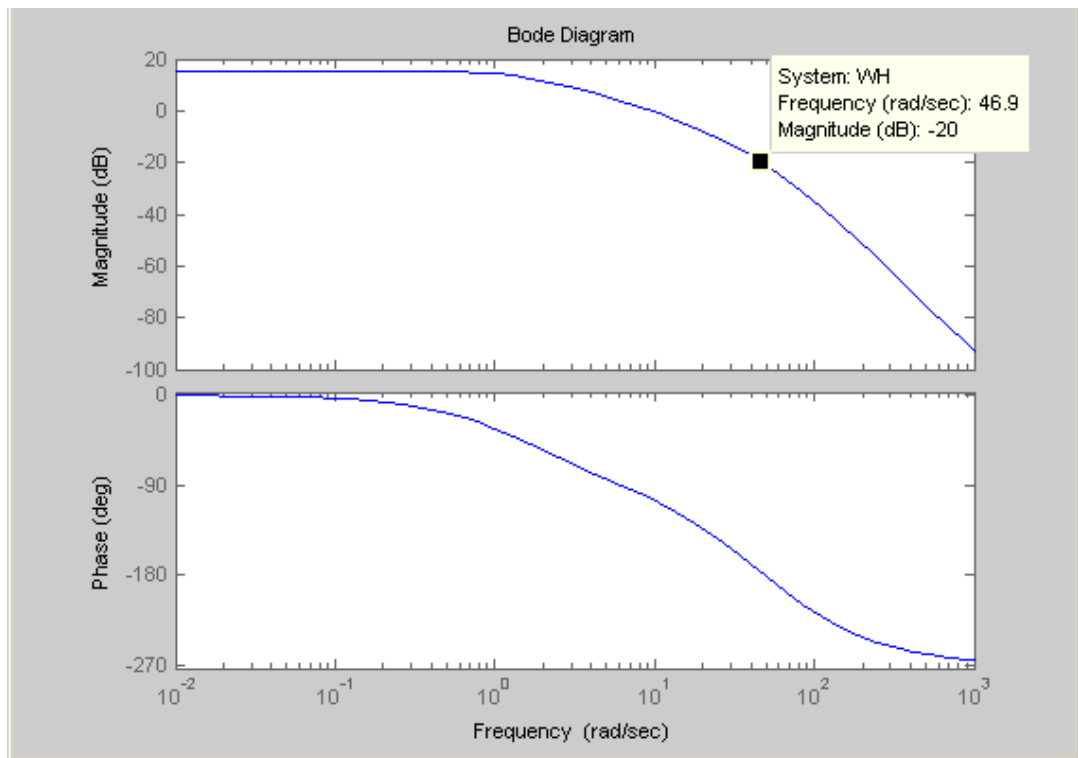


Рис. 3.1. Діаграма Бode

На наступному кроці визначаємо робочу частоту. Вона знаходиться на рівні нахилу -20 дБ/дек [1].

З аналізу діаграми, що побудованої діаграми впливає, що $\omega=46.9$ рад/сек.

Період квантування за часом, що необхідний для подальших обчислень будемо знаходити за теоремою Котельникова [20]:

$$T_0 = \frac{\rho_i}{\omega};$$

$$T_0 = \frac{\rho_i}{46,9};$$

$$T_0 = \frac{\pi}{\omega} = 0.067.$$

Обчислення дискретної математичної моделі (ДММ) W_3 [1]:

$$W_3 D = c2d(W_3, T_0)$$

Transfer function:

$$1.977$$

$$z - 0.111$$

Обчислення ДММ W_4 :

$$W_4D=c2d(W_4,T_0)$$

Transfer function:

$$0.8928$$

$$z - 0.1072$$

Обчислення ДММ W_2 :

$$W_5D=c2d(W_5,T_0)$$

Transfer function:

$$0.317$$

$$z - 0.8943$$

Sampling time: 0.066985

Після цього будується неперервна передаточна функція коригуючого пристрою (КП) [1]:

$$W_2=tf([0.4205],[0.01 1])$$

Transfer function:

$$0.4205$$

$$0.01 s + 1$$

Потім відбувається обчислення дискретної передаточної функції КП:

$$W_2D=c2d(W_2,T_0)$$

Transfer function:

$$0.4205$$

$$z - 0.001253$$

Sampling time: 0.066985

Неперервна передаточна функція КП W_8 має наступний вигляд [1]:

$$W_8 = \text{tf}([0.3556], [0.8 \ 1])$$

Transfer function:

$$\frac{0.3556}{0.89 s + 1}$$

А дискретна, в свою чергу [1]:

$$W_8 D = \text{c2d}(W_8, T_0)$$

$$\frac{0.8923}{z - 0.1077}$$

Імітаційне моделювання роботи ЦСАК приводом аеропортового робота-маніпулятора (рис. 3.4.) проводиться з урахуванням передаточних функцій, що були побудовані вище [1].

Таким чином, виконано перехід від аналоговою до цифрової системи автоматичного керування приводом аеропортового робота-маніпулятора обробки багажу [1].

На виході, з урахуванням Z-перетворення, отримано графіки для аналогової (рис. 3.2) та для цифрової (рис. 3.3) САК одного виду. Тобто, це дозволяє стверджувати, що параметри коригуючих пристроїв та підсилювача, що були отримані за допомогою технології NCD є достовірними [1].

Тому даний є можливим для застосування в умовах практичного використання. Цифрова модель системи автоматичного керування приводом аеропортового робота-маніпулятора обробки багажу, що побудована в даному розділі кваліфікаційної роботи є вірною [1].

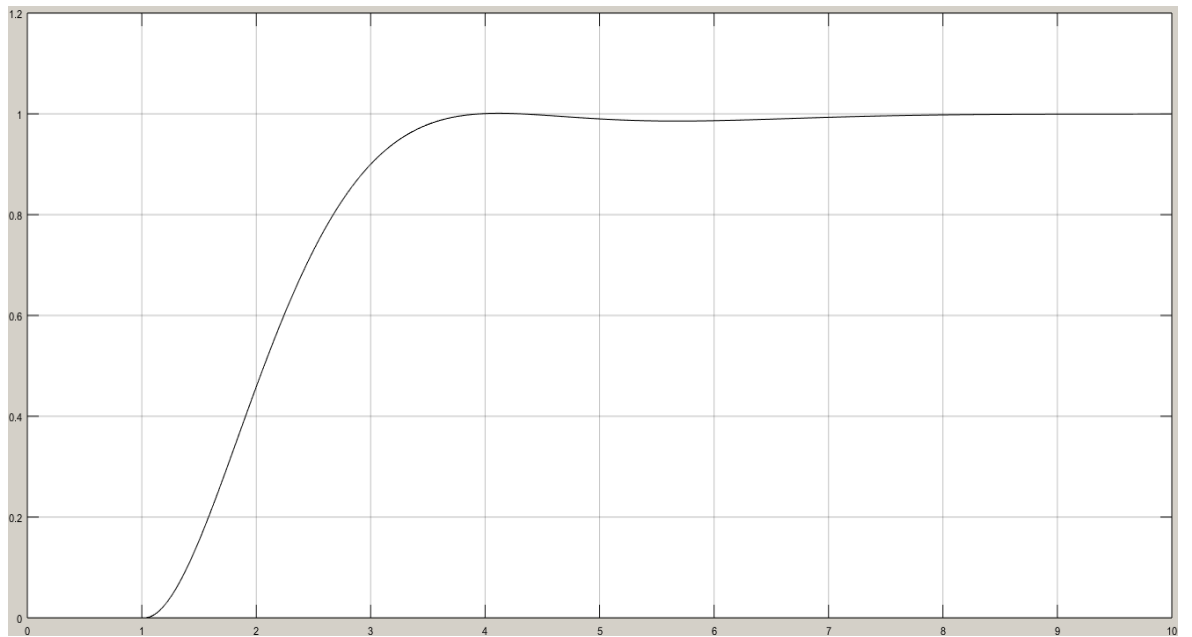


Рис. 3.2. Перехідний процес аналогової САК приводом аеропортового робота-маніпулятора

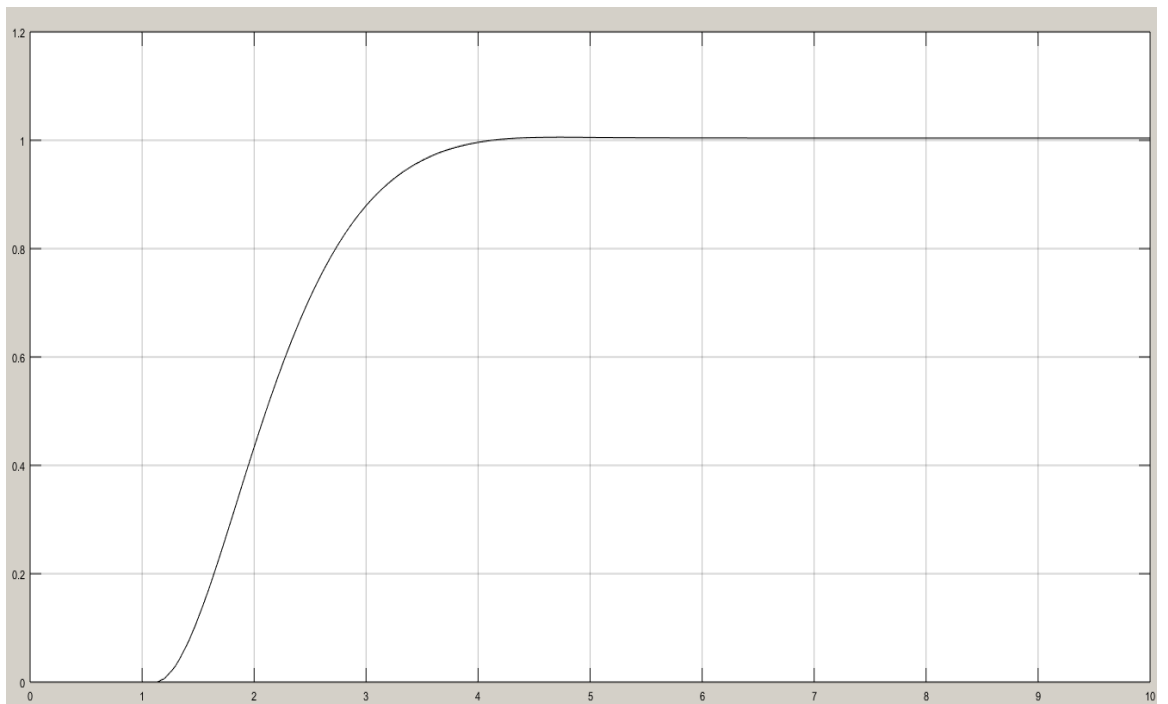


Рис. 3.3. Перехідний процес цифрової САК приводом аеропортового робота-маніпулятора

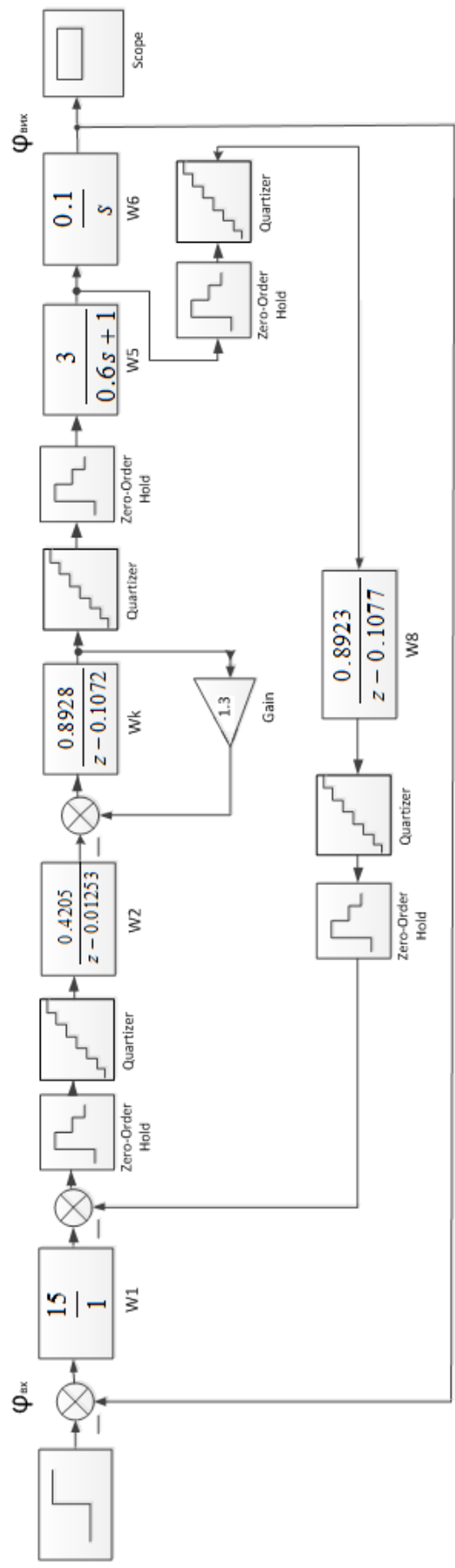


Рис. 3.4. Імітаційна модель цифрової САК приводом робота-маніпулятора

Метод PID-Tuner

Цей метод відноситься до більш сучасних. Для його використання необхідно до моделі САК додати блок PID Controller та за допомогою клавіші Tune перейти до вікна налаштувань перехідного процесу. Корекція та досягнення бажаного перехідного процесу можливе за допомогою переміщення повзунків, що зображені на рис. 3.5. [18]:

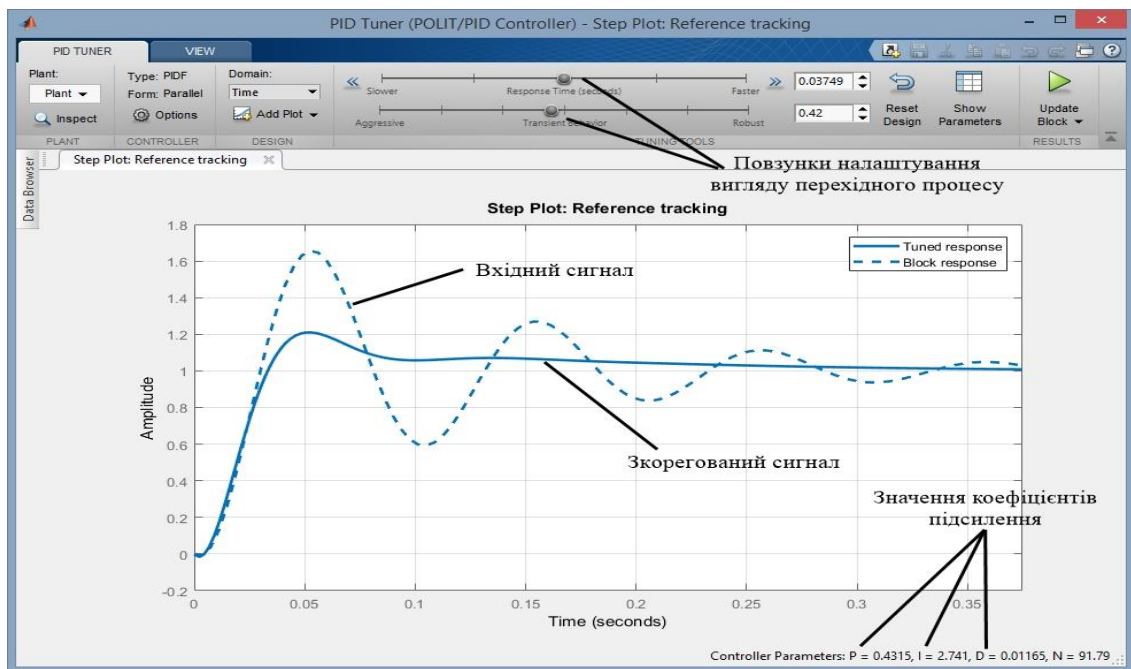


Рис. 3.5. Вікно налаштувань PID Tuner

Таким чином, проведена корекція та, підставивши коефіцієнти у блок PID Controller, отримаємо бажаний перехідний процес для досліджуваного об'єкту. Структурна схема представлена на рис. 3.6.

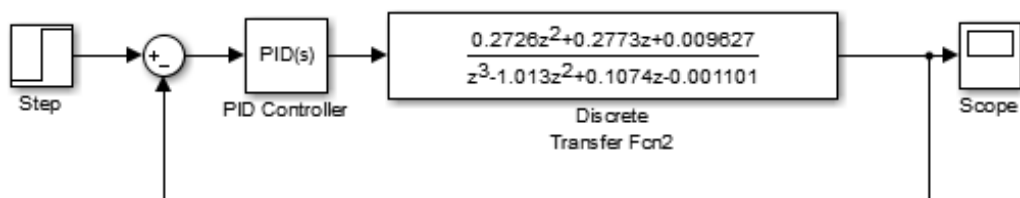


Рис. 3.6. Структурна схема ЦСАК за методом PID-Tuner

Після проведення оптимізації, в результаті отримано наступні значення коригуючих пристроїв: $k_p=0.06$, $k_i=0.1575$, $k_d=0$. Результат налаштування представлений на отриманому перехідному процесі (рис. 3.7.):

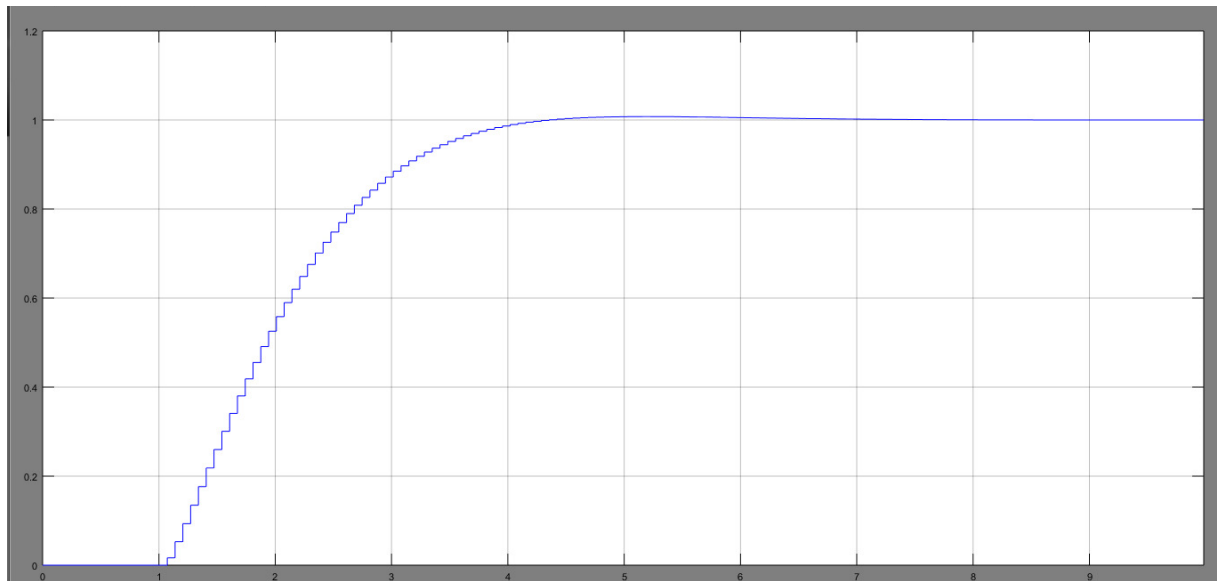


Рис.3.7. Перехідний процес за методом PID-Tuner

Відповідно до рис 3.9. показники якості перехідного процесу наступні:

- перерегулювання дорівнює 0;
- час наростання 3.02 с;
- тривалість перехідного процесу – 4,78 с

Це відповідає поставленим вимогам. Отже, даний метод є вірним.

Метод Зіглера-Нікольса

Метод оснований на використанні запасів стійкості. Для проведення налаштувань регулятора за цим методом необхідно спочатку обнулити коефіцієнти k_p , k_i , k_d . При цьому йде виключення інтегральної та диференційної складових регулятора. Таким чином, система переходить на пропорційний закон регулювання [6].

Завдяки поступового підвищення значення коефіцієнта пропорційної ланки k_p , система має близько п'яти-семи стійких коливань, що не згасають. В той час, коли виникають необхідні коливання, відбувається фіксація значення k_p ,

що буде рівним значенню k_0 , а також фіксується період коливань перехідного процесу $t_p=p_0$.

Таким чином, значення для дискретного ПІД-регулятора мають вигляд:

$$\begin{aligned} k_p &= \frac{0.6}{k_0}; \\ k_i &= 1.2 * \frac{k_0}{p_0} * \frac{t_0}{2}; \\ k_d &= \frac{0.75 \frac{k_0}{p_0}}{t_0}. \end{aligned} \tag{3.1.}$$

Проводиться обчислення дискретної математичної моделі для об'єкту керування $W_{Hp}(s) = W_3(s)W_4(s)W_5(s)$, передавальна функція якого була подуродована раніше [21]:

$$\begin{aligned} W_{окD} &= c2d(W_{Hp}, T_0) \\ &= \frac{0.2726 z^2 + 0.2773 z + 0.009627}{z^3 - 1.013 z^2 + 0.1074 z - 0.001101} \end{aligned}$$

Структурна схема цифрової САК, що побудована за методом Зіглера-Нікольса зображена на рис. 3.8.

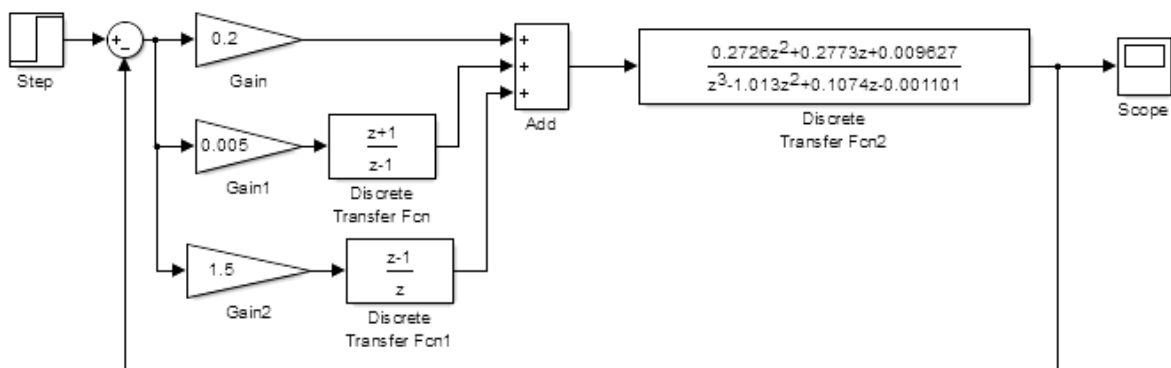


Рис. 3.8. Структурна схема ЦСАК за методом Зіглера-Нікольса

В результаті проведеннь налаштувань отримано такі значення коефіцієнтів ПД-регулятора: $k_p = 0.2$; $k_i = 0.005$; $k_d = 1.5$.

Перехідний процес САК, що отримано за Зіглера-Нікольса методом представлено на рис 3.9.:

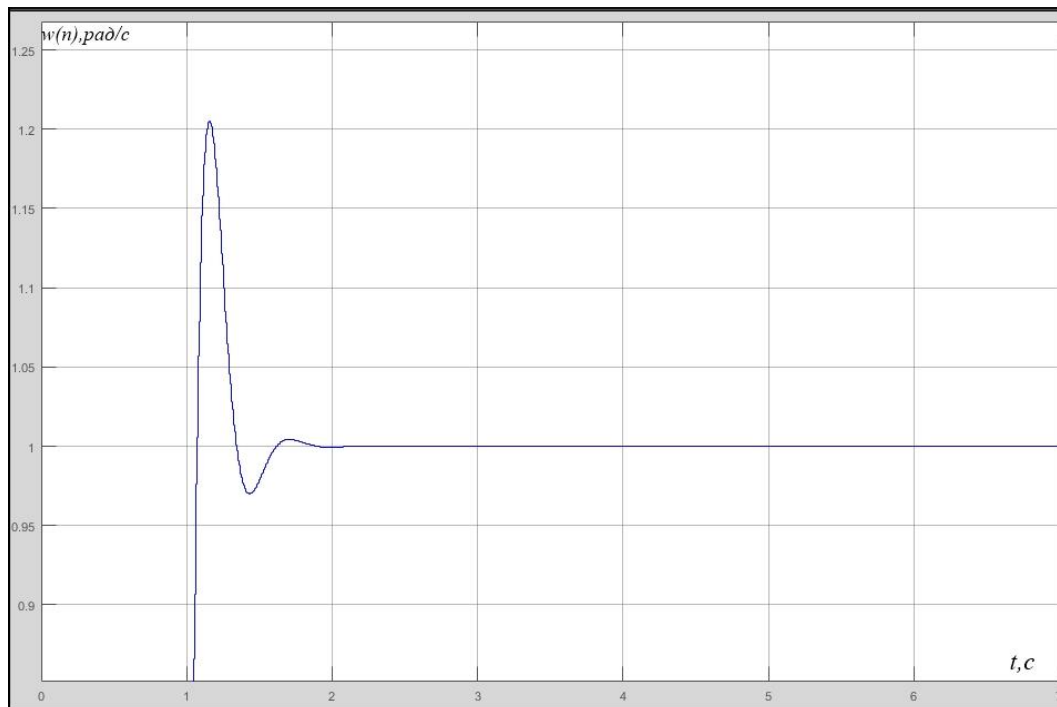


Рис. 3.9. Перехідний процес за методом Зіглера-Нікольса

Відповідно до рис 3.6. отримано такі показники якості перехідного процесу:

- перерегулювання дорівнює 20%;
- тривалість перехідного процесу – 1,44 с.

Дані показники не відповідають початково заданим умовам, тому цей метод не є дієвим для застосування до даної САК. Це пов'язано з тим, що сам метод не є універсальним, оскільки результат проведених налаштувань має замалу якість. Систему потрібно виводити на межу стійкості та виконувати постійний підбір параметрів в ручному режимі.

Метод побудови бажаних передавальних функцій цифрових систем керування

При синтезі ЦСАК методом побудови бажаних передавальних функцій (ПФ) будемо вважати, що її незмінна частина обрана (рис. 3.10). Вона включає об'єкт керування (ОК), давачі, виконавчий механізм і регулюючий орган [20].

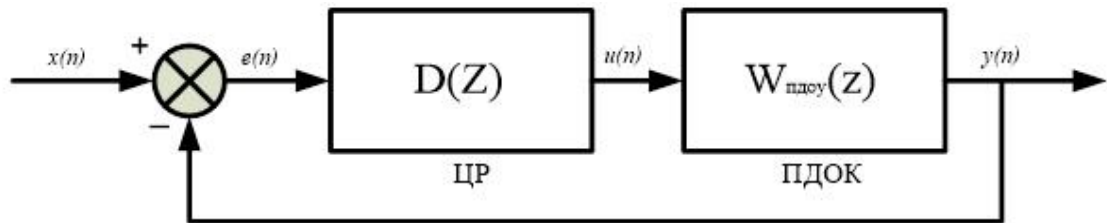


Рис. 3.10. Загальна структура замкненої системи ЦСАК,

де:

ЦР – цифровий регулятор,

ПДОК – приведений дискретний об'єкт керування

Для синтезу цифрового регулятора методом бажаних передавальних функцій необхідно дослідити побудовану передавальну функцію для ДПС. Вона є передавальною функцією для неперервного об'єкту керування [19]:

$$W_{\text{пдок}} = W_s = \frac{3}{0.6s^2 + s}.$$

Далі відбувається побудова ПФ для замкненого неперервного об'єкту керування:

$$H_5 = W_5 / (1 + W_5)$$

Transfer function:

$$1.8s^2 + 3s$$

$$\frac{1.8s^2 + 3s}{0.36s^4 + 1.2s^3 + 2.8s^2 + 3s}$$

З діаграми Бодє, що було побудовано раніше (рис. 3.1.) та визначенню робочої частоти було визначено час квантування [19]:

$$T_0 = 0.067$$

На наступному етапі виконується побудова ПФ приведенного дискретного об'єкту керування:

$$W_{5д} = c2d(W_{5д}, T0)$$

$$0.01082 z + 0.01042$$

$$z^2 - 1.894 z + 0.8943$$

Полюси ПФ приведенного дискретного ОК знаходяться наступним чином:

$$p = \text{pole}(W_{5д})$$

$$p =$$

$$1.0000$$

$$0.8943$$

Далі знаходимо нулі передавальної функції

$$z = \text{zero}(W_{5д})$$

$$z =$$

$$-0.9635$$

$$P_0(z) = P_{0+}(z) \cdot P_{0-}(z),$$

$$P_0(z) = 0.01082 \cdot (z - (-0.9635)) \cdot 1 = 0.01082 \cdot z + 0.01$$

II-ге поліноміальне рівняння синтезу цифрового регулятора має вигляд:

$$G(z) \cdot z^{S_6} = P_{0+}(z) \cdot M(z) + Q_{0-}(z) \cdot N(z) \cdot z^{S_6},$$

де S_6 – бажане запізнення.

Припускаючи, що $S_{п}=0$, тоді $S_6 \geq S_{п}$, $S_6=0$ та при заданні $G(z)=(z)^2$, $M(z)=m_0$, $N(z)=n_1 \cdot z + n_0$, отримаємо рівняння в наступному вигляді:

$$(z)^2 = (0.01082 \cdot z + 0.01) \cdot m_0 + (z-1) \cdot (n_1 \cdot z + n_0);$$

$$\text{При обчисленні маємо, що } n_1=1; \quad n_0=0.0488; \quad m_0=3.8194.$$

Після підстановки значень отримано ПФ цифрового регулятора виду:

$$D(z) = Q_{0+}(z) \cdot \frac{M(z)}{N(z)} \cdot z^{-(S_6 - S_{п})} = (z - 0.0868) \cdot \frac{m_0}{n_1 \cdot z + n_0} = 3.9194 \cdot \frac{z - 0.0868}{z - 0.0488}.$$

При даній ПФ запізнення в реакції на сигнал відсутнє. Проте це не є можливим в умовах реального життя.

Далі розглядається варіант при якому запізнення наявне:

$$(z-0,5)^2=(0,01082z+0,01)\cdot m_0+(z-1)\cdot(n_1\cdot z+n_0);$$

Після проведення обчислення отримано, що $n_1=1$; $n_0=-0,0127$; $m_0=1,3598$.

ПФ цифрового регулятора для II-го поліноміального рівняння наступна:

$$D(z) = Q_{0+}(z) \cdot \frac{M(z)}{N(z)} \cdot z^{-(S\delta - S_{min})} = (z - 0,0868) \cdot \frac{m_0}{n_1 \cdot z + n_0} = 1,3598 \cdot \frac{z - 0,0868}{z - 0,0127}$$

На наступному етапі проводиться побудова неперервної W5 (рис 3.11) та дискретної W5д (рис 3.12) передавальних функцій:

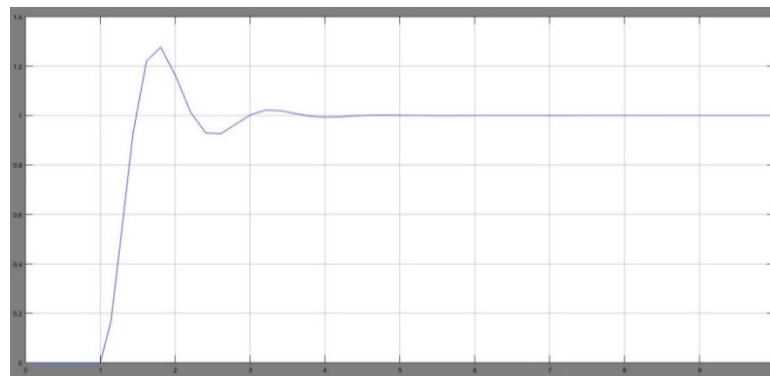
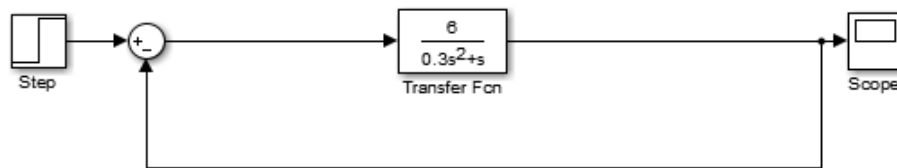


Рис. 3.11. Перехідний процес для неперервної моделі ДПС

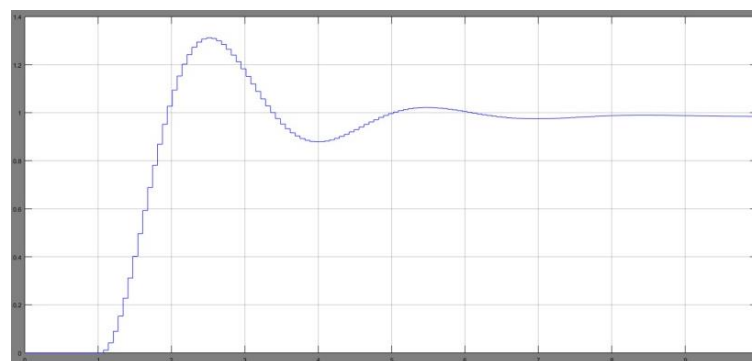
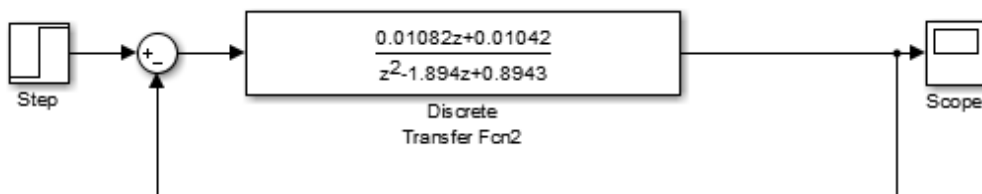


Рис. 3.12. Перехідний процес для дискретної моделі ДПС

Перехідний процес для структурної схеми ЦСАК ДПС загального вигляду за методом бажаних передавальних функцій (рис 3.13) зображено на (рис. 3.14):

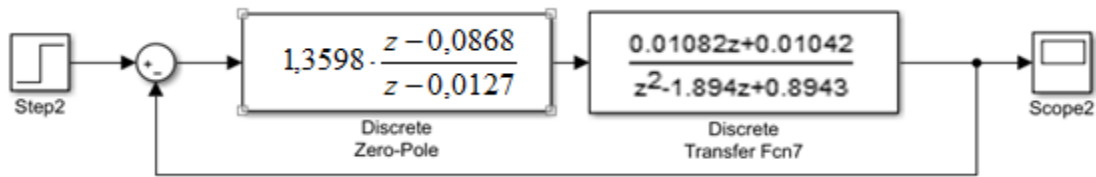


Рис.3.13. Структурна схема ЦСАК ДПС за методом бажаних передавальних функцій

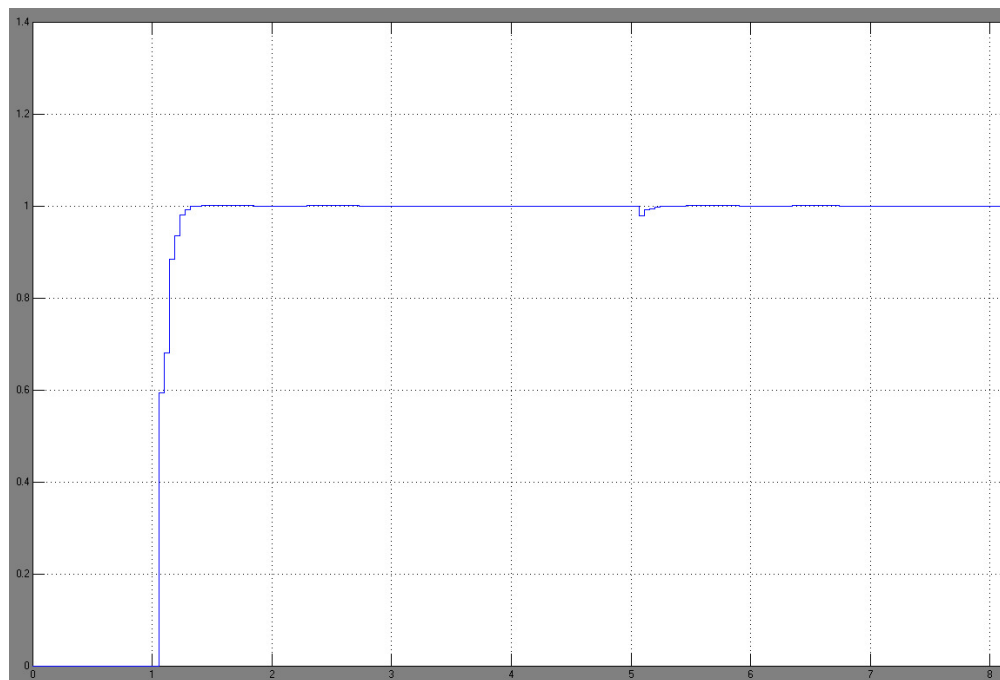


Рис. 3.14. Перехідний процес за методом бажаних передавальних функцій

Відповідно до рис 3.14. показники якості перехідного процесу [1]:

- перерегулювання дорівнює 0%;
- тривалість перехідного процесу – 1,1 с.

Ці показники відповідають умовам, тому даний метод є можливим для практичного застосування.

3.2. Дослідження стійкості системи

Під стійкістю слід розуміти здатність системи залишатися у стані рівноваги при впливі певних зовнішніх збурень. Лінійна система називається

стійкою у випадку, коли вона, після припинення впливу зовнішніх факторів, повертається в початковий стан рівноваги [20].

Система вважається вірно побудованою, коли ця умова виконується. Якщо ж в ній існують чи можуть виникати власні коливання, то така система є нестійкою. Похибки, що виникають в таких системах є неприпустимі в реальних умовах використання. Необхідно зазначити, що запас стійкості вважається допустимим, якщо запас стійкості по амплітуді не менш ніж 6 дБ, по фазі не менш ніж 30° [1].

Задля дослідження системи на стійкість відбувається знаходження ПФ для розімкненої системи, а також, побудувати її амплітудно-фазову частотну характеристику (АФЧХ) [21].

Виконання буде поводитись за метод побудови моделей «вхід - вихід». Необхідно провести визначення реакції об'єкта на «одичний стрибок» (ступінчастий сигнал). Під цим поняттям слід розуміти миттєву зміну вхідного сигналу з 0 до 1 в момент часу коли $t=0$ [1].

Побудова передавальної функції САК приводом аеропортового робота-маніпулятора необхідна дасть можливість визначення часу перехідного процесу та перерегулювання [1].

Ці дії проводяться в додатку Matlab Simulink LTI Viewer за рахунок використання команди «bode». Після чого, за отриманим ПФ, визначаємо показники якості перехідного процесу. Результат представлено на рис. 3.10 [1]:

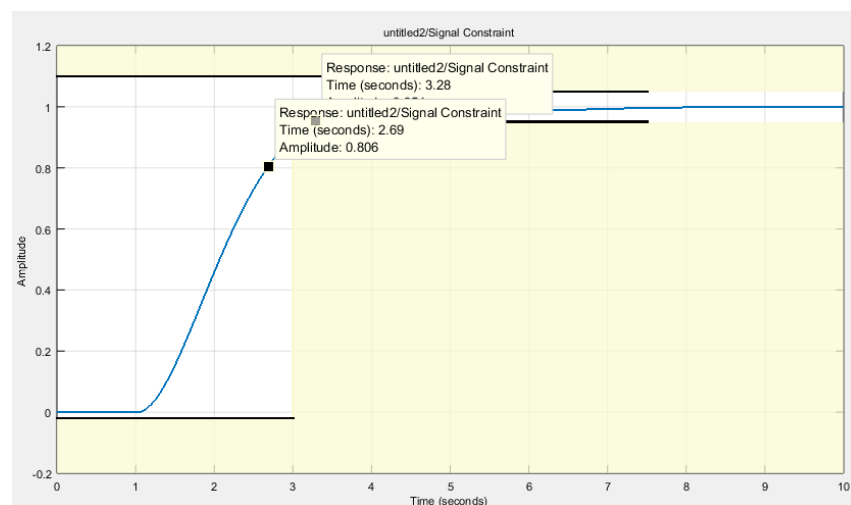


Рис. 3.10. Показники якості перехідного процесу

Відповідно до рис 3.11., отримано наступні значення [1]:

- перерегулювання дорівнює 0;
- час наростання 2,69 с;
- тривалість перехідного процесу – 3,28 с.

Ці значення входять в межі заданих параметрів якості [1].

Далі відбувається визначення еквівалентної ПФ для замкнутої та скоригованої системи. Це досягається шляхом найпростіших перетворень. Так необхідно виконати перетворення структурної схеми з отриманням в кінцевому випадку тільки одного блоку з вже відомою передавальною функцією [1].

Передавальна функція, що побудована за паралельним з'єднанням дорівнює сумі початкових ПФ. Передавальна функція, що побудована за послідовним з'єднанням дорівнює добутку початкових ПФ [21].

Хід проведених перетворень для розімкнутої САК зображено на рис. 3.11 [1]:

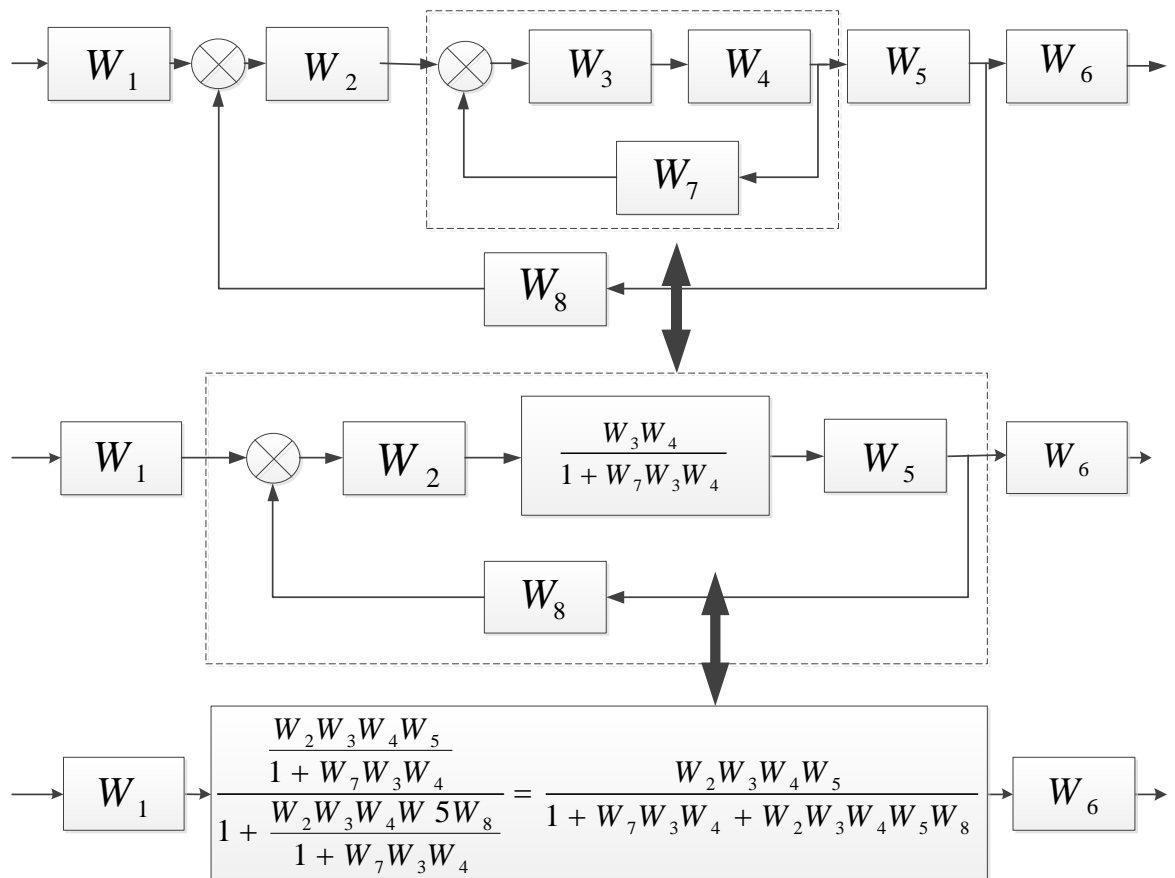


Рис. 3.11. Хід еквівалентних перетворень розімкнутої САК

В кінцевому випадку маємо передавальну функцію системи автоматичного керування наступного виду (3.1) [1]:

$$W_{pu} = \frac{W_1 W_2 W_3 W_4 W_5 W_6}{1 + W_7 W_3 W_4 + W_2 W_3 W_4 W_5 W_8}, \quad (3.2)$$

Після підстановки в (3.1) значень, що вже заздалегідь відомі, отримано наступний результат для даної ПФ [1]:

$$W_{pu} = \frac{3,4s^2 + 3,8s + 3,8}{2,43 \cdot 10^{-6} s^6 + 49,3 \cdot 10^{-5} s^5 + 0,03s^4 + 0,2s^3 + 2,7s^2 + 2,9s + 3,7}.$$

Далі відбувається визначення запасу стійкості для розімкнутої системи за допомогою побудови АФЧХ заданої САК приводом аеропортового робота-маніпулятора (рис. 3.12) [1]:

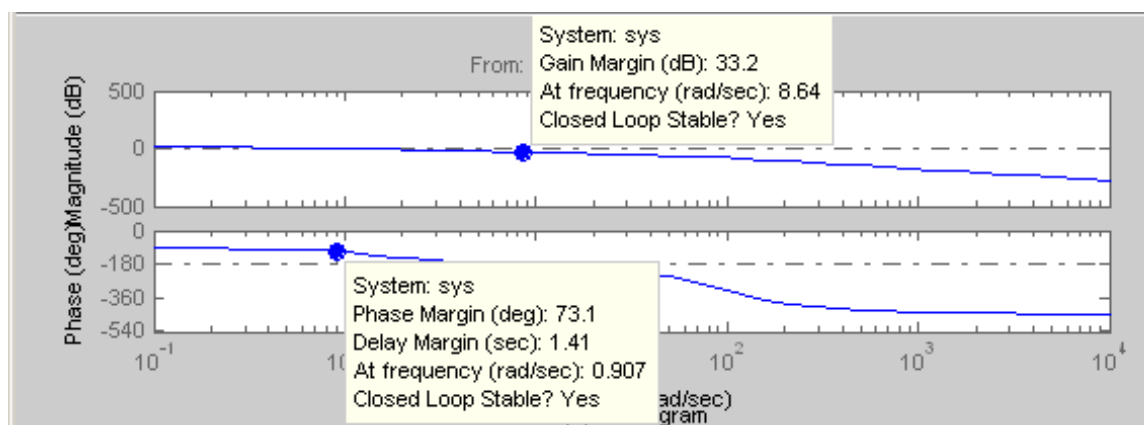


Рис. 3.12. Амплітудно-фазова частотна характеристика САК

З побудованої АФЧХ вірним буде стверджувати, що САК є стійкою, оскільки [1]:

- запас стійкості по фазі становить 73,1°;
- запас стійкості по амплітуді складає 33,2 дБ.

Таким чином, у даному розділі побудовано дискретні лінійні стаціонарні математичні моделі САК приводом аеропортового робота-маніпулятора за допомогою таблиць оригіналів та зображень типових функцій, для яких обчислені неперервні перетворення Лапласа та Z-перетворення. Проведено дослідження САК за методами Зіглера-Нікольса, PID-Tuner. Таким чином,

вдалося порівняти достовірність отриманих результатів Однаковість отриманих графіків перехідних процесів для неперервної та цифрової системи дозволяють застосовувати синтезовані параметри в житті. А, оскільки ,синтезована система є стійкою, то можливе її практичне застосування [1].

ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломної роботи було проведено аналіз САК приводом аеропортового робота-маніпулятор обробки багажу, що вже існують у наш час.

На основі аналізу розроблено структурну схему САК приводом аеропортового робота-маніпулятора обробки багажу. Оптимізовано параметрів коригуючих пристроїв та підсилювача САК за допомогою NCD.

Синтезовані параметри зменшили перерегулювання, час наростання та тривалість перехідного процесу.

Виконано дослідження системи за методами PID-Tuner, Зіглера-Нікольса та побудови бажаних ПФ ЦСК.

Розроблено неперервну та цифрову імітаційні моделі САК приводом аеропортового робота-маніпулятора обробки багажу. Виконано перехід від неперервної до цифрової системи керування.

Аналізи моделювання САК приводом аеропортового робота-маніпулятора показали, що синтезовані параметри кори можуть використовуватись в аналоговій та цифровій САК

Розроблена система дає можливість забезпечити стійкість перехідного процесу системи автоматичного керування приводом робота-маніпулятор.

Розглянуті групи заходів профілактики та захисту з охорони праці. Виділено основні технічні заходи для уникнення пожежі.

Розглянуто методи та засоби зниження впливу негативних впливів на охорону навколишнього середовища.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гармаш Т. О. «Система автоматичного керування приводом робота-маніпулятора» дипломний проект на здобуття освітнього ступеню «Бакалавр» зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» 2019 р. – 42 с.
2. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. Лаборатория базовых знаний. – М. : Бином, 2004. – 79 с.
3. Дьяконов В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник / В. Дьяконов, В. Круглов. – СПб. : Питер, 2002. – 61 с.
4. Васильков В. Г. Організація виробництва. Навч. посібник / В. Г. Васильков – К.: КНЕУ, 2003. – 524 с.
5. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. 1-е издание, 2007. – 187 с.
6. Репнікова Н. Б. Теорія автоматичного керування: класика і сучасність; підручник / Н. Б. Репнікова. – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – 328 с.
7. Чірва Д. М. «Інформаційна система для моделювання роботи маніпуляторів» випускна робота 2020 р. – 50 с.
8. Кучерявый А. Бортовые информационные системы. Курс лекций / А. Кучерявый, В. Мишина. 2-е изд., перераб. и доп. – УлГТУ .: Ульяновск, 2004. – 504 с.
9. Шахинпур М. Курс робототехники: Пер. с англ./ М. Шахинпур – М.: Мир, 1990.- 527 с.
10. Lung-Wen Tsai Robot analysis: the mechanics of serial and parallel manipulators. – New York : Wiley, 1999. – 505 p.
11. Johnsson J. Boeing Scuttles Use of Robots for Fuselage Work on 777, 777X Jetliners. Transport topics /J. Johnsson, P. Shukovsky– New York 2019 – 1p.

12. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навч. за напр. «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані Технології» / М.В. Лукінюк ; Нац. техн. ун-т України «Київськ. політехн. ін-т». – К. : КПІ, 2008. – 236 с.
13. Rosheim M. Robot Evolution: The Development of Anthrobotics. / Mark E. Rosheim, –John Wiley & Sons Inc., 1995. – 448 p.
14. Бакаев В. Н. Теория автоматического управления Разработка электронной версии/ М. А. Гладышев, И.А. Чуранов. – Вологодский Гос. Техн. ун-т Вологда, 2004. – 87 с.
15. Попович М. Г. Теорія автоматичного керування: Підручник / М.Г.Попович, О.В. Ковальчук. – Київ: «Либідь», 2007. – 656 с. - ISBN: 966-06-0447
16. Гоголюк П. Ф. Теорія автоматичного керування: навч. посіб. / П.Ф. Гоголюк, Т.М. Гречин. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009. – 280 с. – ISBN: 978-966-553-725-0.
17. Верьовкіна М. О. «Оптимізація системи навігації мобільного робота на основі технології прийняття рішень» атестаційна робота на здобуття освітнього ступеню «Бакалавр» зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» 2019 р. – 69 с.
18. Савків В. Б., Конспект лекцій з курсу “Автоматизація виробничих процесів” для студентів спеціальності 181 «Харчові технології» / В.Б.Савків, Р.І.Михайлишин, І.Р.Козбур. – Тернопіль: ТНТУ, 2018. –89 с.
19. Дубовой В. М., Моделювання та оптимізація систем: підручник / В.М. Дубовой, Р.Н. Кветний, О.І. Михальов, А.В.Усов. – Вінниця: «ТД «Еднльвейс», 2017. – 804 с. – ISBN 97.
20. Ситніков О. В., Аналогові системи: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Теорія автоматичного керування» для студентів спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технологічні комплекси»/ О. В. Ситніков, – Київ: НТУ «КПІ» 2016. –42 с.

21. Аналіз неперервної лінійної САК [Електронний ресурс]: режим доступу: <https://studopedia.org/6-143180.html>(дата звернення 21.10.2020 р.)—Назва з екрана.
22. Закон України "Про охорону праці " № 2694 - XII. Від 1992.10.14— Відомості Верховної Ради України, 1992 р. – 668 с.
23. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» 1991 / Юридична енциклопедія ; [в 6-ти т. / ред. кол. Ю. С. Шемшученко (відп. ред.)]. –К. : Українська енциклопедія, 1998. – 744 с.