

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет систем управління літальних апаратів

Кафедра систем управління літальних апаратів

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: «Розробка і дослідження системи управління стрічковим конвеєром з двовимірною ідентифікацією об'єктів на основі технічного зору»

ХАІ.301.362а.22О.151.9652037 ПЗ

Виконав: студент 2 курсу, групи 362а

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»

Спеціальність

151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

Освітня програма “Комп’ютерні системи технічного зору”

Рябокоть А.М.

(прізвище та ініціали студента)

Керівник доц. Джулгаков В. Г.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Меша Ю.В.

(прізвище та ініціали)

Харків – 2022

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет систем управління літальних апаратів

Кафедра систем управління літальних апаратів (№301)

Рівень вищої освіти магістр

Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»
(шифр і назва)

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр і назва)

Освітня програма «Комп'ютерні системи технічного зору»
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

к.т.н., доц. _____ Костянтин ДЕРГАЧОВ

“ _____ ” _____ 2022 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Рябоконт Анастасія Миколаївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи « Розробка і дослідження системи управління стрічковим конвейером з двовимірною ідентифікацією об'єктів на основі технічного зору»

керівник роботи доцент Джулгаков В.Г.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу № 1602-уч від 17.11.2022

2. Строк подання студентом роботи: 09 грудня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи Опис стенду «Стрічковий транспортер», вимоги до системи

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ, оцінка проблеми управління стрічковим транспортером, опис об'єкту автоматичного управління, математичний опис об'єкту автоматичного управління, синтез системи автоматичного управління, конструкторська частина, дослідницька частина, дослідницько-експериментальна частина, економічна частина, заключення, список використаних джерел

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

Презентація формату pptx, 10 слайдів:

1) опис об'єкту автоматичного управління;

2) дослідження ОАУ;

3) формування структури та дослідження САУ;

4) формування коригувального пристрою;

5) дослідження скоригованої системи;

6) конструкторська частина;

7) алгоритми ідентифікації форми об'єкту;

- 8) розробка системи ідентифікації об'єктів транспортування; _____
 9) розробка системи двовимірної ідентифікації об'єктів транспортування; _____
 10) економічна частина. _____

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| 1 | доц. Джулгаков В.Г. | 19.09.2022 | 9.12.2022 |
| 2 | доц. Джулгаков В.Г. | 19.09.2022 | 9.12.2022 |
| 3 | доц. Джулгаков В.Г. | 19.09.2022 | 9.12.2022 |
| 4 | доц. Джулгаков В.Г. | 19.09.2022 | 9.12.2022 |
| 5 | доц. Джулгаков В.Г. | 19.09.2022 | 9.12.2022 |
| 6 | к.е.н, доц. Попов О. С. | 19.09.2022 | 9.12.2022 |

Нормоконтроль _____ доц. Джулгаков В.Г. « 16 » грудня 2022 р.
 (підпис) (ініціали та прізвище)

7. Дата видачі завдання 19.09.2022

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|-------------------------------|---------------------------------|
| 1. | Початок переддипломної практики | 12.09.2022 | |
| 2. | Формулювання теми роботи. Розробка технічного завдання | 19.09.2021 | |
| 3. | Математичний опис системи управління. Аналіз і синтез системи управління. Проведення експериментальних досліджень | 28.10.2022 | Залік з переддипломної практики |
| 4. | Конструкторська частина роботи. Дослідницька частина роботи. Експериментально-практична частина. Економічне обґрунтування розробки. Розробка питань охорони праці і безпеки в надзвичайних ситуаціях | 28.11.2022 | |
| 5. | Оформлення розрахунково-пояснювальної записки і графічного матеріалу | 09.12.2022 | |
| 6. | Попередній захист роботи. Рецензування роботи | 16.12.2022 | |
| 7. | Захист роботи | 19.12.2022 | |

Студент _____ Рябоконь А.М.,
 (підпис) (ім'я, прізвище.)

Керівник роботи _____ доц. Джулгаков В.Г.
 (підпис) (ім'я, прізвище.)

Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Кафедра систем управління літальних апаратів (№301)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідуючий кафедрою 301

к.т.н., с.н.с., доцент

_____ Костянтин ДЕРГАЧОВ

«__» _____ 2022 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
на дипломне проектування
Рябоконт Анастасії Миколаївни

1 Тема роботи: «Розробка і дослідження системи управління стрічковим конвейером з двовимірною ідентифікацією об'єктів на основі технічного зору»

затверджена наказом вищого навчального закладу № 1602-уч від 17.11.2022

2 Строк здачі студентом закінченої роботи « 09 » _____ грудня _____ 2022 р.

3 Область застосування розробки: Промислові стрічкові транспортери

4 Початкові дані для розроблювальної системи

4.1 Призначення і мета створення системи: двовимірна ідентифікація об'єктів транспортування та стабілізація швидкості стрічки з камерою

4.2 Загальні відомості Система управління має бути розроблена для лабораторного макету стрічкового транспортера. Потужність приводного двигуна – 30 Вт, діапазон швидкості руху стрічки – від 2 до 50 мм/с. У складі стенду реалізовані механізми переміщення двох відеокамер паралельно з рухом стрічки. Завданням локального

контролера є стабілізація швидкості руху стрічки при навантаженнях і синхронного руху відеокамер. Завданням комп'ютера (промислового контролера) є аналіз зображень та ідентифікація об'єктів на стрічці за кольором та формою просторової фігури.

5 Технічні вимоги до каналів системи управління

5.1 Питання, що підлягають розробці: стабілізація швидкості стрічки та камери двоконтурної системи, двовимірна ідентифікація об'єктів транспортування

5.2 Режим роботи системи (безперервний, циклічний, одноразової дії):
безперервний

5.3 Показники якості системи управління: допустима стала помилка (0.1 %), час перехідного процесу (до 0.5 секунд), перерегулювання (до 5 %), запаси стійкості по фазі (не менше 40 градусів) та по амплітуді (не менше 10 дБ)

5.4 Вимоги до приладового складу системи: відсутні

5.5 Вимоги до взаємозамінності блоків: відсутні

6 Умови експлуатації системи

6.1 Кліматичні вимоги до експлуатації (температура середовища, у якій буде працювати система управління, її вологість, вміст хімічно активних компонентів і т.ін.)

а) вологість 35%

б) температура середовища +5.. +40 градусів за Цельсієм

в) хімічно активні компоненти відсутні

6.2 Механічні вимоги (вібрація, тряска, можливі перекося, удари, нахили і т.ін.):
можливі вібрація, тряска

6.3 Наявність перешкод (електричні наведення радіоперешкоди, магнітні впливи):
відсутні

6.4 Електричні параметри системи (напруга джерел живлення, потужність, стабільність, частота): напруга живлення 5 В , потужність 20 Вт, постійний струм

7 Додаткові функції, реалізовані системою (сигналізація про несправності, реєстрація необхідної інформації, самоконтроль самої системи і т.ін.):

Дана система не має додаткових функцій

8 Обсяг виконуваних розроблювачем робіт

8.1 Етапи проведення роботи: Вербальний та математичний опис об'єкту управління. II етап: Розрахунок системи управління. III етап: Експериментальне дослідження САУ.

8.2 Обсяг розробки по кожному етапу: _____

1) Стан проблеми (2 ст)

2) Аналіз та синтез системи (36 ст)

3) Конструкторська частина (4 ст)

4) Дослідницька частина (6 ст)

5) Експериментально-дослідницька частина (3 ст)

6) Економічна частина (11 ст)

9 Параметри устаткування системи: визначаються в процесі проектування

10 Вимоги безпеки: визначаються в процесі проектування

11 Дослідницька частина: Дослідження засобів ідентифікації об'єктів з використанням засобів технічного зору

12 Експериментально-практична частина: Ідентифікація об'єктів

13 Економічна частина

13.1 Розробити (розрахувати, одержати): розрахувати собівартість системи управління

13.2 Умови і вимоги: одиничне виробництво, розрахунок проводиться за статтями калькуляції

13.3 Очікуваний результат: повна собівартість виробу грн. з урахуванням усіх витрат

14 Перелік графічних матеріалів із зазначенням форматів: Презентація формату pptx, 10 слайдів: _____

- 1) опис об'єкту автоматичного управління; _____
- 2) дослідження ОАУ; _____
- 3) формування структури та дослідження САУ; _____
- 4) формування коригувального пристрою; _____
- 5) дослідження скоригованої системи; _____
- 6) конструкторська частина; _____
- 7) алгоритми ідентифікації форми об'єкту; _____
- 8) розробка системи ідентифікації об'єктів транспортування; _____
- 9) розробка системи двовимірної ідентифікації об'єктів транспортування; _____
- 10) економічна частина. _____

Керівник роботи
доц. Джулгаков Віталій Георгійович
(П.І.Б.)

Прийняв до виконання
Рябоконт Анастасія Миколаївна
(П.І.Б. студента)

« » _____ 2022 р.

« » _____ 2022 р.

Погоджено з питань:

конструкції
доц. Джулгаков Віталій Георгійович
(П.І.Б.)

дослідницької частини
доц. Джулгаков Віталій Георгійович
(П.І.Б.)

« » _____ 2022 р.

« » _____ 2022 р.

економіки
к.е.н, доц. Попов Олександр Сергійович
(П.І.Б.)

« » _____ 2022 р.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 95 ст., 52 рис., 32 табл., 4 додатки, 15 джерел.

Тема роботи: розробка і дослідження двоконтурної системи управління стрічковим транспортером з розпізнаванням маркування об'єктів методами технічного зору.

Мета роботи: розробка і дослідження системи управління стрічковим конвейєром з двовимірною ідентифікацією об'єктів на основі технічного зору.

Предмет роботи: двоконтурна система управління стрічковим транспортером.

У дипломній роботі було розроблено двоконтурну систему управління стрічковим транспортером.

Результатом роботи є розроблена двоконтурна система управління стрічковим транспортером та двовимірна ідентифікація об'єктів.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

САУ – система автоматичного управління;

ОАУ – об'єкт автоматичного управління;

ТЗ – технічний зір;

ПК – програмний комп'ютер;

ЛАЧХ – логарифмічно амплітудно частотна характеристика;

ПАУ – пристрій автоматичного управління;

ТБ – точка безбитковості.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП | 12 |
| 1 ОЦІНКА СТАНУ ПРОБЛЕМИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ СТРІЧКОВИМ КОНВЕЄРОМ | 13 |
| 1.1 Загальна характеристика проблеми і існуючі підходи до її вирішення. | 13 |
| 1.2 Огляд науково-технічної літератури і патентів | 13 |
| 1.3 Постановка задачі проектування..... | 14 |
| 2 АНАЛІЗ І СИНТЕЗ СИСТЕМИ..... | 15 |
| 2.1 Опис пристрою і принципу дії об'єкта автоматичного управління (ОАУ) та збурюючих впливів | 15 |
| 2.2 Формування функціональної схеми ОАУ | 17 |
| 2.3 Вибір контролера | 18 |
| 2.4 Формування математичної моделі контуру управління швидкістю стрічки транспортеру..... | 21 |
| 2.5 Лінеаризація математичної моделі та визначення передавальних функцій контуру управління швидкістю стрічки транспортеру..... | 24 |
| 2.6 Машинне моделювання контуру управління швидкістю стрічки | 27 |
| 2.7 Формування математичної моделі контуру керування швидкістю камери | 30 |
| 2.8 Лінеаризація математичної моделі контуру керування камерою..... | 31 |
| 2.9 Машинне моделювання контуру керування швидкістю камери | 33 |
| 2.10 Постановка задачі синтезу | 35 |
| 2.12 Дослідження характеристик нескоригованої САУ | 40 |
| 2.13 Синтез коригуючого пристрою | 43 |
| 2.14 Дослідження скоригованої САУ | 50 |
| 2.15 Висновки..... | 54 |
| 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА | 56 |
| 3.1 Задачі контролера і визначення складу вхідної і вихідної інформації .. | 56 |
| 3.2 Розробка алгоритмічного забезпечення | 56 |
| 3.3 Розробка структури цифрового контролера | 58 |
| 3.4 Висновки..... | 59 |
| 4 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА | 60 |
| 4.1 Задачі і методи проведення досліджень | 60 |
| 4.2 Програма дослідження | 60 |
| 4.3 Результати досліджень | 62 |
| 4.4 Висновки..... | 66 |

| | |
|---|----|
| 5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА | 67 |
| 5.1 Задачі і засоби виконання експериментальної розробки..... | 67 |
| 5.2 Опис лабораторної установки | 67 |
| 5.3 Аналіз результатів проведення експериментів і впровадження розробки | 68 |
| 5.4 Висновки..... | 69 |
| 6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА | 70 |
| 6.1 Основні поняття і положення | 70 |
| 6.2 Опис виробу | 70 |
| 6.3 Сегментування ринку | 70 |
| 6.4 Аналіз конкурентоспроможності | 71 |
| 6.5 Розрахунок собівартості і ціни виробу | 73 |
| 6.6 Розрахунок точки беззбитковості | 78 |
| 6.7 Висновки..... | 80 |
| ЗАКЛЮЧЕННЯ..... | 81 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ | 82 |
| ДОДАТОК А..... | 84 |
| ДОДАТОК Б | 89 |
| ДОДАТОК В..... | 91 |
| ДОДАТОК Г | 94 |

ВСТУП

Стрічковий конвеєр – це система, призначена для транспортування або переміщення фізичних предметів, таких як матеріали, товари, навіть людей, з однієї точки в іншу. На відміну від інших засобів транспортування, які використовують ланцюги, спіралі, гідравліку тощо, стрічкові транспортери переміщатимуть предмети за допомогою стрічки. Це петля з гнучкого матеріалу, натягнута між роликками, які приводяться в дію електричним двигуном.

Стрічкові конвеєри застосовуються в різних видах промисловості, таких як гірнична і автомобільна промисловості, транспорт і кур'єрська галузі, а також в роздрібній торгівлі [1].

Також такі транспортери є найбільш часто використовуваними механічними конвеєрами, оскільки вони є найбільш універсальними та найменш дорогими [2].

При керуванні конвеєром може виникнути багато проблем. Найпоширенішими з них є помилка транспортної стрічки, проковзування ремня, захоплені роликки, блокування. Але не менш важливою проблемою є постійна підтримка швидкості, що впливає на строки переміщення предмету з однієї точки в іншу. Порушення швидкості може вплинути неналежним чином на виробництві, що може понести за собою фінансові втрати та погіршення репутації будь-якого виробництва.

Якщо стрічковий конвеєр не працює належним чином, то це матиме непередбачені наслідки для всієї системи. Тому потрібно дуже уважно слідкувати за роботою системи та виправляти можливі помилки чи неточності роботи водночас.

Конвеєри, зазвичай, використовують для сортування товару, тому для цього потрібна ідентифікація об'єктів, що можливо зробити за допомогою систем технічного зору.

1 ОЦІНКА СТАНУ ПРОБЛЕМИ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ СТРІЧКОВИМ КОНВЕЄРОМ

1.1 Загальна характеристика проблеми і існуючі підходи до її вирішення

При роботі на будь-якому промисловому підприємстві подача товару чи предмету з конвеєрної стрічки повинна проходити вчасно, тому що невчасна подачу об'єкту транспортування з конвеєру може призвести до помилки та зупинки всієї системи, що призведе до значних затримок на всьому підприємстві до моменту вирішення проблеми.

Позбутися вище описаної проблеми можна при умові постійного контролю стрічки конвеєру, що може бути досягнуто розробкою та впровадженням системи автоматичного управління швидкістю конвеєрної стрічки залежно від необхідної швидкості вантажу на конвеєрі.

Також існує проблема в розпізнаванні об'єкта на стрічці. Розпізнавання об'єктів необхідно у випадків використання одного конвеєру для різних типів вантажу при умові, що над різними типами вантажу необхідно проводити різні операції або у випадках нерівномірного або випадкового розподілу вантажу по конвеєру при якому необхідно точне положення вантажу.

Одним з методів розпізнавання на стрічці є використання засобів технічного зору, до його переваг відноситься мінімальна кількість впливу на об'єкт транспортування при його розпізнаванні та можливість швидко налагодити систему технічного зору без можливого втручання конвеєру, проте цей метод вимагає значних обчислювальних потужностей, що, зазвичай, призводить до необхідності виділення окремої розрахункової машини, що значно потужніша за мікроконтролер, які, зазвичай, необхідні для реалізації системи автоматичного управління. В даному проекті також реалізовано розпізнавання об'єкту за допомогою двох камер. Камери рухається разом з вантажем, тому потрібно також керувати рухом даних камер щоб вантаж не пропадав з поле зору камер.

1.2 Огляд науково-технічної літератури і патентів

Етапи патентного пошуку та огляду науково-технічної літератури передбачає ознайомлення і оцінку існуючих методів вирішення розглянутої проблемної ситуації, їх особливості, сферу використання, недоліки та переваги

порівняно один із одним. Була зіставлена таблиця, що представлена в додатку А, розглянутих патентів із необхідною інформацією, а також аналіз літератури представлено в додатку Б.

Аналіз патентів та науково-технічної літератури дозволяє краще зрозуміти суть проблеми стабілізації, а також дозволяє обрати найбільш доречний для конкретної задачі.

В роботі [12] представлено розробку системи керування конвеєрної стрічки, в роботі [13] представлена розробка системи керування накопичувальним конвеєром, в роботі [14] розглянуті методи ідентифікації властивостей упаковки в автоматизованій системі промислової робототехніки, в роботі [15] досліджено спосіб ідентифікації об'єктів за допомогою кольорового кодування.

1.3 Постановка задачі проектування

У ході проектування необхідно сформулювати систему автоматичної стабілізації швидкості, що буде відповідати наступним показникам якості:

- 1) $t_{\text{пп}} \leq 1\text{с}$ – час перехідного процесу;
- 2) $\sigma \leq 5\%$ – перерегулювання;
- 3) $\varepsilon_{\text{ст}} \leq 1\%$ – стала похибка;
- 4) $\varphi_3 \geq 40^\circ$ – запас стійкості за фазою;
- 5) $L_3 \geq 10\text{дБ}$ – запас стійкості за амплітудою.

У якості збурюючого впливу у системі виступає вплив сили ваги предмету, що рухається транспортером, на натяг стрічки конвеєру.

Також ще одна поставлена задача – розробка додатку для двовимірної ідентифікації вантажу.

2 АНАЛІЗ І СИНТЕЗ СИСТЕМИ

2.1 Опис пристрою і принципу дії об'єкта автоматичного управління (ОАУ) та збурюючих впливів

В даній роботі об'єктом автоматичної управління виступає лабораторний стенд, що імітує роботу стрічкового конвеєру на промисловому підприємстві. Основа конструкції стенду – металева підставка, на якій закріплені два вали, що протягнуті стрічкою. Один вал приводиться в рух двигуном постійного струму, інший – пасивний. Кожний з валів має енкодер, що зчитує швидкість обертання валу. При відсутності навантаження на стрічку її швидкість руху буде дорівнювати швидкості обертання валу з ДПС з врахуванням периметру валу. При встановленні вантажу на стрічку за рахунок сил тертя і ковзання стрічки на приводному валі її швидкість з вантажем буде відрізнятися від швидкості валу. В даному випадку максимально можливий діапазон напруги на двигун становить 0..27 В, що подається з підсилювачу потужності, тобто стрічка рухається в одному напрямку.

Реалізовано механізм переміщення відеокамер паралельно руху вантажу на стрічці. Одна камера закріплена на приводі з редуктором, що може рухатися в одному напрямку та зворотному. Інша камера закріплена вертикально для ідентифікації вантажу в іншій площині. Кожна камера з'єднана через USB кабель до ПЕОМ для подальшої обробки отриманого зображення засобами технічного зору.

На платформі розташовані блок узгоджувальних підсилювачів (БУП), який отримує сигнали з датчиків і формує рівні, необхідні для контролера, і підсилювачі потужності (ПП) приводного двигуна і двигуна відеокамери. Напруга живлення ПП становить ± 27 В.

В якості керуючого впливу вступає напруга, що подається на підсилювач потужності. В якості збурюючого впливу – вага об'єкту транспортування.

Загальна схема стенду та його вхідні й вихідні сигнали наведені на рис. 2.1.

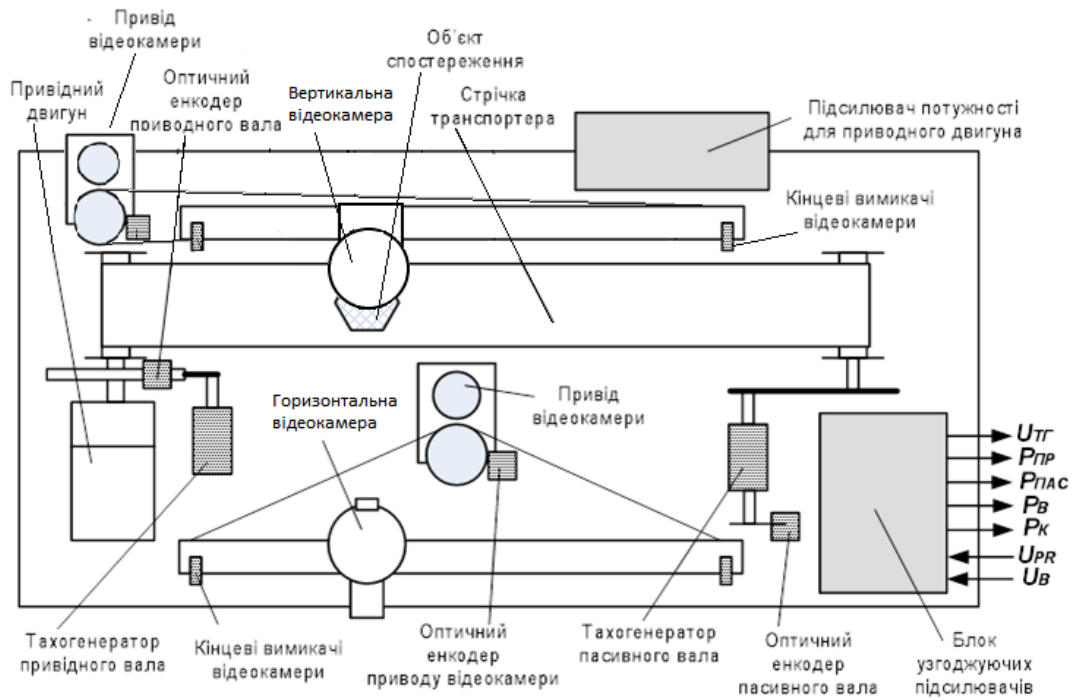


Рисунок 2.1 – Загальна схема ОАУ

Позначення рис. 2.1 представлені в табл. 2.1

Таблиця 2.1 – Позначення загальної схеми ОАУ

| Позначення | Пояснення |
|------------|--|
| $U_{тг}$ | напруга постійного струму тахогенератора, пропорційна швидкості обертання пасивного валу. Аналоговий сигнал у діапазоні 0..5В |
| $R_{пр}$ | імпульси від оптичного енкодера на приводному валу. Потенціальні імпульси (логічний 0 – 0 В, логічна 1 – +5 В) |
| $R_{пас}$ | імпульси від оптичного енкодера на пасивному валу, Потенціальні імпульси (логічний 0 – 0 В, логічна 1 – +5 В) |
| $R_{в}$ | імпульси від оптичного енкодера, пропорційні швидкості руху відеокамери . Потенціальні імпульси (логічний 0 – 0 В, логічна 1 – +5 В) |
| $R_{к}$ | імпульс при досягненні відеокамерою граничного положення. Імпульс (логічний 0 – 0 В, логічна 1 – +5 В) |
| $U_{пр}$ | сигнал керування приводом транспортеру. Аналоговий сигнал в діапазоні 0..5В |
| $U_{в}$ | сигнал керування приводом відеокамери. Аналоговий сигнал у діапазоні –5..5В |

Для обробки вхідних та вихідних сигналів системи та розрахунку керуючого впливу відповідно до закону управління буде використовуватися мікроконтролерний модуль. Обробка отримуваних з камер зображень засобами систем технічного зору буде виконуватися на ПЕОМ[6].

2.2 Формування функціональної схеми ОАУ

Для подальшої розробки САУ створена функціональна схема ОАУ з мікроконтролерним модулем, що представлена на рис. 2.2.

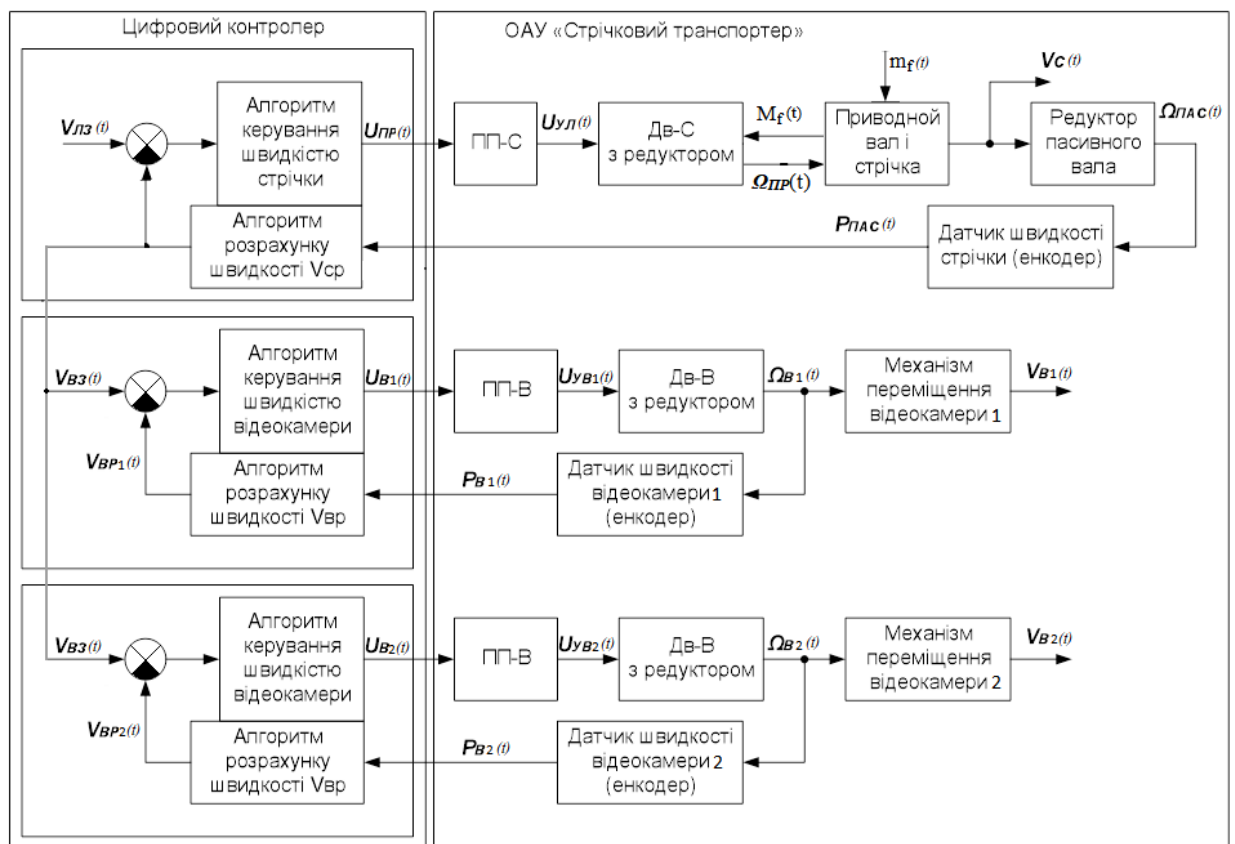


Рисунок 2.2 – Функціональна схема ОАУ з мікроконтролерним модулем

Позначення рис. 2.2 представлені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Позначення функціональної схеми об'єкта автоматичного управління

| Позначення | Пояснення |
|----------------------|--|
| $V_{C3}(t)$ | задана швидкість стрічки, В |
| $V_C(t)$ | фактична швидкість стрічки, В |
| $V_{CP}(t)$ | розрахована швидкість стрічки, В |
| $\Omega_{ПР}(t)$ | кутова швидкість приводу стрічки, $\frac{об}{с}$ |
| $\Omega_{ПАС}(t)$ | кутова швидкість пасивного <u>вала</u> , $\frac{об}{с}$ |
| Дв – С | двигун приводу стрічки |
| $V_{B3}(t)$ | задана швидкість руху відеокамери, В |
| $V_B(t)$ | фактична швидкість руху відеокамери, В |
| $V_{BP}(t)$ | розрахована швидкість руху відеокамери, В |
| $\Omega_B(t)$ | кутова швидкість приводу відеокамери, $\frac{об}{с}$ |
| Дв – В | двигун приводу відеокамери |
| $P_{ПАС}(t)$ | імпульси від <u>енкодера</u> на пасивному валу, В |
| $P_{Bi}(t), i = 1,2$ | імпульси від <u>енкодера</u> на приводному валу відеокамери, В |
| $U_{ПР}(t)$ | сигнал керування приводом стрічки, В |
| $U_{Bi}(t), i = 1,2$ | сигнал керування приводом відеокамери, В |
| $m_f(t)$ | <u>збурюючий</u> вплив ваги вантажу, кг |
| $M_f(t)$ | <u>збурюючий</u> момент на палу двигуна |

Оскільки приводи та контури управління камерами ідентичні, то у подальшому буде розглядатися лише один контур управління камерою, але система управління ідентична і для іншого кольору.

2.3 Вибір контролеру

Контролер в даній системі має забезпечувати достатню швидкість виконання розрахунків, щоб забезпечувати висунутий в умовах час перехідного процесу, тобто мати набагато менший час розрахунку вихідного сигналу відповідно до закону управління, надавати змогу отримувати всі вихідні сигнали стенду та керувати напругою живлення обох двигунів.

Виходячи з поставлених умов серед декількох варіантів мікроконтролерів[7], обрано найкращий методом вагових коефіцієнтів, варіанти мікроконтролерів наведено в табл. 2.1.

Функціональна схема контролера представлено на рис. 2.3.

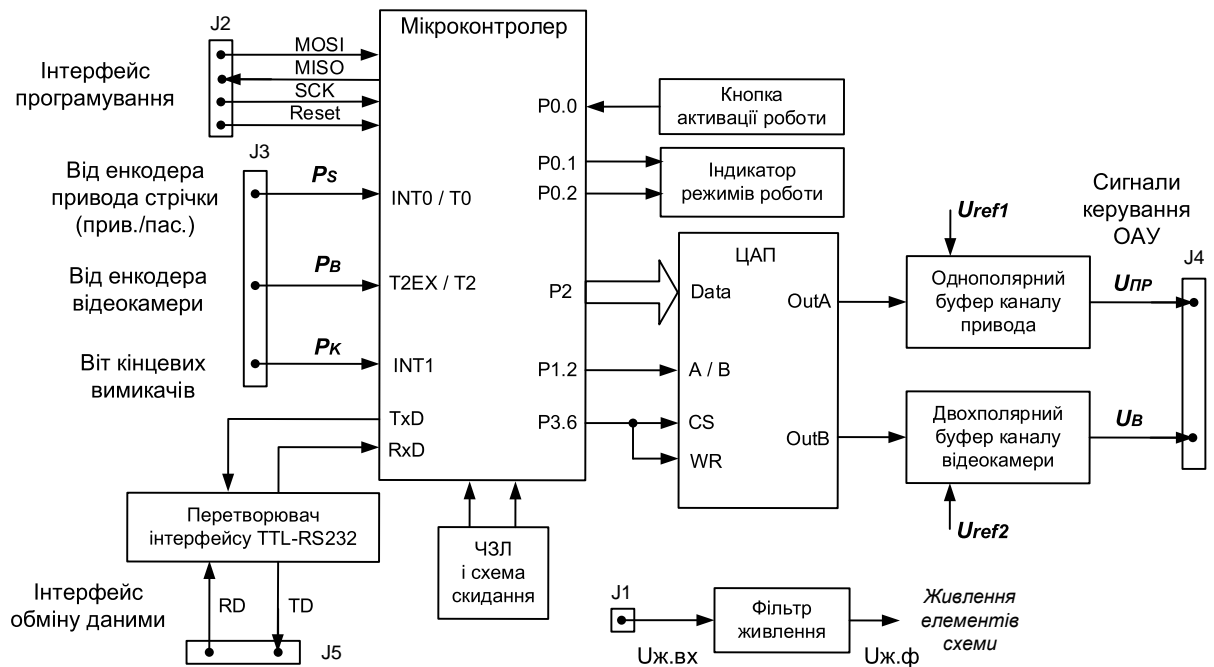


Рисунок 2.3 – Функціональна схема контролера

Позначення, що зображені на рис. 2.3 представлені в рис. 2.3.

Таблиця 2.3 – Позначення рис. 2.3

| Позначення | Пояснення |
|----------------------|---------------------------------------|
| J_{1-5} | Роз'єми модулю |
| U_{ref1}, U_{ref2} | Опорна напруга ЦАП, В |
| $U_{пр}$ | Напруга керування приводом стрічки, В |
| U_B | Напруга керування приводом камери, В |
| $U_{ж.вх}$ | Вхідна напруга живлення модулю, В |
| $U_{ж.ф}$ | відфільтрована напруга живлення, В |

Таблиця 2.1 – Визначення виконавчого пристрою методом вагових коефіцієнтів

| Параметр | Коефіцієнт | модель | | | | | | | |
|------------------------------|------------|-----------|-----------|------------|----------|---------|------------|-----------|------------|
| | | AT89S8252 | AT89C2051 | ATmega8515 | ATTINY12 | AT89C55 | AT89LP2052 | AT89C4051 | PIC12F1051 |
| Флеш-пам'ять, Кб | 0,1 | 8 | 2 | 8 | 1 | 20 | 4 | 4 | 1 |
| Енерго-незалежна пам'ять, Кб | 0,1 | 2 | 0,5 | 0,5 | 0,0625 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,125 |
| Тактова Частота, МГц | 0,1 | 24 | 24 | 16 | 4 | 24 | 20 | 24 | 16 |
| Енерго-залежна пам'ять, Кб | 0,1 | 0,25 | 0,125 | 0,5 | 0,125 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,0625 |
| Цифрові порти | 0,1 | 32 | 15 | 35 | 5 | 32 | 15 | 15 | 6 |
| Таймери/Лічильники | 0,3 | 3 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | 2 |
| Зовнішні переривання | 0,3 | 9 | 6 | 3 | 1 | 8 | 2 | 6 | 1 |
| АЦП | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 4 |
| ЦАП | 0,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Ціна, \$ | -0,7 | 1,8 | 0,95 | 3,2 | 1,6 | 6,9 | 2,1 | 1,1 | 0,82 |
| Разом | 1 | 8,965 | 5,897 | 5,26 | 0,79 | 6,15 | 3,7 | 6,28 | 4,15 |

У якості основного мікроконтролеру було обрано AT89S8252 з характеристиками, що представлені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Характеристики AT89S8252

| | |
|----------------------------|--|
| Flash-пам'ять | 8 Кбайт |
| EEPROM пам'ять | 2 Кбайти, 100000 циклів стирання/запис |
| Напруга живлення | 4-6 В |
| Тактова частота | 0-24 МГц |
| Енергозалежна пам'ять | 256 байт |
| Цифрові порти вводу/виводу | 32 |
| Таймери | три 16-бітних таймера/лічильника |
| Інтерфейси | послідовні інтерфейси UART та SPI |

Цих характеристик, у складі всього модулю виконавчого пристрою, достатньо для виконання поставленої задачі управління транспортером.

2.4 Формування математичної моделі контуру управління швидкістю стрічки транспортеру

Кінематична модель роботи стрічкового транспортеру наведена на рис. 2.4.

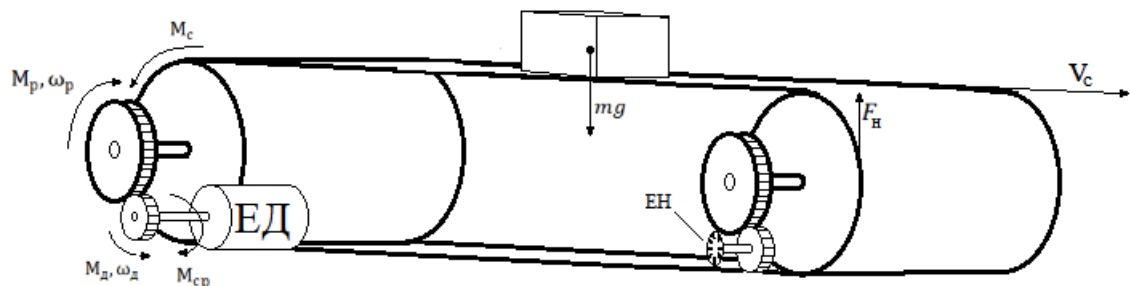


Рисунок 2.4 – Кінематична схема роботи транспортеру

Позначення, що зображені на рис. 2.4 представлені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Позначення кінематичної схеми роботи конвеєру

| Позначення | Пояснення |
|------------|--|
| ЕД | Електродвигун |
| ЕН | Оптичний <u>енкодер</u> |
| M_d | Обертний момент двигуна, Н*м |
| ω_d | Швидкість обертання валу двигуна, $\frac{\text{об}}{\text{хв}}$ |
| M_p | Обертний момент на виході редуктора, Н*м |
| ω_p | Швидкість обертання на виході редуктора, $\frac{\text{об}}{\text{хв}}$ |
| M_c | Момент навантаження стрічки, Н*м |
| M_{cp} | Момент навантаження на виході редуктора, Н*м |
| F_H | Сила натягу стрічки, Н |
| mg | Вага вантажу, Н |
| V_c | Лінійна швидкість стрічки транспортера, мм/с |

Вихідним параметром САУ є лінійна швидкість конвеєру, яка рухається за рахунок обертання валу конвеєру, що приєднаний до редуктора, який передає обертний момент з валу двигуна.

$$\begin{cases} V_c = \omega_p \cdot 2\pi \cdot R; \\ \omega_p = \frac{\omega_d}{i}; \\ \dot{\omega}_d = \frac{M_d - M_c}{J}, \end{cases} \quad (2.1)$$

де: i – коефіцієнт редуктора;

J – момент інерції валу електродвигуна.

Створюваний на валу двигуна стрічкою момент навантаження залежить від параметрів стрічки транспортера та вантажу :

$$\begin{cases} M_{cp} = \frac{M_c}{i}; \\ M_c = F_H \cdot R; \\ F_H = 0.5 \cdot l \cdot q_{гр} \cdot c, \end{cases} \quad (2.2)$$

де: R – радіус приводного та пасивного валів конвеєру, м;

l – довжина стрічки конвеєру, м;

$q_{гр}$ – розподілена по стрічці маса вантажу, $\frac{кг}{м}$;

$c = 0.3$ – коефіцієнт супротиву руху стрічки на опорах.

Розподілена по стрічці маса вантажу розраховуються за наступною формулою:

$$q_{гр} = \frac{m}{0.36 \cdot l}, \quad (2.3)$$

де: m – маса об'єкту транспортування на стрічці, кг.

Кутова швидкість валу електродвигуна розраховується за наступними формулами, виходячи з параметрів двигуна та з умови врівноваження ЕДС самоіндукції якоря падінням напруги на активному опорі якоря та противо-ЕДС, що виникає у якорі при обертанні:

$$\begin{cases} L_{я} \dot{i}_{я} + R_{я} i_{я} + e_{я} = U; \\ e_{я} = k_{ем} = \frac{U_{н} - i_{я} R_{я}}{\omega_{дн}}. \end{cases} \quad (2.4)$$

де: $L_{я}$ – індуктивність обмотки якорю, Гн;

$i_{я}$ – струм обмотки якоря, А;

$R_{я}$ – опір обмотки якоря, Ом;

$e_{я}$ – противо-ЕДС у обмотці якоря;

U – напруга живлення, В;

$k_{ем}$ – електромагнітна складова двигуна;

$\omega_{дн}$ – номінальна кутова швидкість валу двигуна, $\frac{об}{с}$;

$U_{н}$ – номінальна напруга живлення, В.

Якщо прийняти момент супротиву на валу двигуна нульовим, що відповідає роботі двигуна без навантаження, то :

$$J \dot{\omega}_д = k_{ем} i_{я}. \quad (2.5)$$

Підставляючи рівняння (2.5) в (2.4) отримуємо:

$$\frac{L_{я}J}{k_{ем}} * \ddot{\omega}_д + \frac{R_{я}J}{k_{ем}} * \dot{\omega}_д + k_{ем}\omega_д = U. \quad (2.6)$$

Рівняння (2.6) ділиться на електромагнітний коефіцієнт двигуна, то коефіцієнт другої похідної швидкості множиться на дріб $\frac{R_{я}}{R_{я}}$, після чого рівняння матиме наступний вигляд:

$$\frac{L_{я}R_{я}J}{R_{я}k_{ем}^2} * \ddot{\omega}_д + \frac{R_{я}J}{k_{ем}^2} * \dot{\omega}_д + \omega_д = \frac{U}{k_{ем}}. \quad (2.7)$$

Були введені позначення:

$T_м = \frac{R_{я}J}{k_{ем}^2}$ – електромеханічна постійна часу двигуна;

$T_я = \frac{L_{я}}{R_{я}}$ – електромеханічна постійна часу якоря.

Вираз (2.7) набуває вигляду:

$$T_яT_м * \ddot{\omega}_д + T_м * \dot{\omega}_д + \omega_д = \frac{U}{k_{ем}}. \quad (2.7)$$

2.5 Лінеаризація математичної моделі та визначення передавальних функцій контуру управління швидкістю стрічки транспортеру

Для лінеаризації математичної моделі системи, до неї вводяться параметри стрічкового конвеєру та електродвигуна, що наведені у табл. 2.1.

Таблиця 2.6 – Параметри конвеєру та електродвигуна

| Характеристика | Значення |
|---|------------------------|
| Номінальна потужність, Вт | 2,67 |
| Номінальна напруга, В | 27 |
| Номінальна частота обертання, об/хв | 5400 |
| Номінальний струм на якорі, А | 0,11 |
| Момент інерції якоря, кг·м ² | 1,615·10 ⁻³ |
| Індуктивність якоря, Гн | 0,16 |
| Опір обмотки якоря, Ом | 30 |
| Радіус барабану, м | 0.021 |
| Маса барабану, кг | 0.5 |
| Довжина стрічки, м | 1.1 |
| Коефіцієнт редуктора | 20 |

З урахуванням даних параметрів математична модель ОАУ матиме наступний вигляд:

$$\begin{cases} 0.005\ddot{\omega}_d + 0.7\dot{\omega}_d + \omega_d = 3.8 U; \\ V_c = 6.6 \omega_d; \\ M_{cp} = 0.435m \cdot 10^{-3}. \end{cases} \quad (2.7)$$

Для подальшого аналізу ОАУ побудована його структурна схема, створена схема зображена на рис. 2.5.

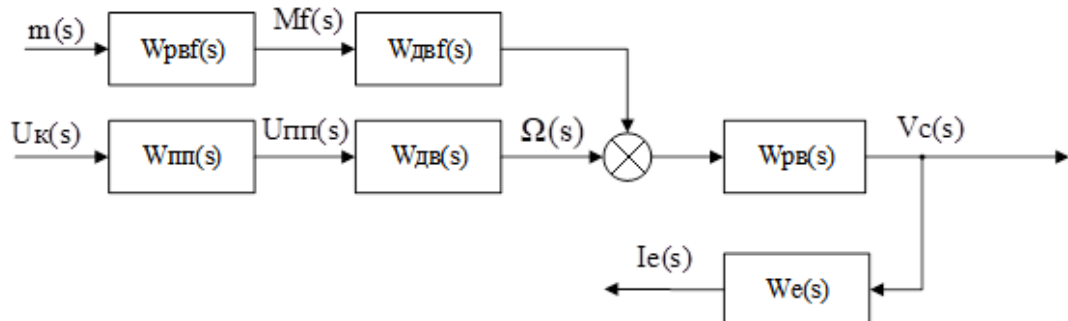


Рисунок 2.5 – Структурна схема ОАУ

Позначення, що зображені на рис. 2.5 представлені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Позначення структурної схеми об'єкта автоматичного управління

| Позначення | Пояснення |
|---|--|
| $W_{\text{пп}}(s) = \frac{U_{\text{пп}}(s)}{U_{\text{к}}(s)}$ | Передавальна функція підсилювача потужності |
| $W_{\text{дв}}(s) = \frac{\Omega(s)}{U_{\text{пп}}(s)}$ | Передавальна функція двигуна за керуючим впливом, $\frac{\text{об}}{\text{В}\cdot\text{с}}$ |
| $W_{\text{рвф}}(s) = \frac{M_{\text{ф}}(s)}{m(s)}$ | Передавальна функція валу та редуктора по <u>збурюючому</u> впливу, $\frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{кг}}$ |
| $W_{\text{двф}}(s) = \frac{\Omega(s)}{M_{\text{ф}}(s)}$ | Передавальна функція двигуна за <u>збурюючим</u> впливом, $\frac{\text{об}}{\text{Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}}$ |
| $W_{\text{рв}}(s) = \frac{V_{\text{с}}(s)}{\Omega(s)}$ | Передавальна функція валу та редуктора, $\frac{\text{мм}\cdot\text{с}}{\text{об}\cdot\text{с}}$ |
| $W_{\text{е}}(s) = \frac{I_{\text{е}}(s)}{V_{\text{с}}(s)}$ | Передавальна функція оптичного <u>енкодера</u> , $\frac{\text{В}\cdot\text{с}}{\text{мм}}$ |
| $m(s)$ | Зображення сигналу ваги вантажу |
| $M_{\text{ф}}(s)$ | Зображення сигналу <u>збурюючого</u> моменту на валу двигуна |
| $U_{\text{к}}(s)$ | Зображення сигналу керуючої напруги |
| $U_{\text{пп}}(s)$ | Зображення сигналу напруги підсилювача потужності |
| $\Omega(s)$ | Зображення сигналу кутової швидкості валу двигуна |
| $V_{\text{с}}(s)$ | Зображення сигналу лінійної швидкості стрічки |
| $I_{\text{е}}(s)$ | Зображення сигналу вихідної напруги <u>енкодера</u> |

Шляхом прямого перетворення Лапласа були отримані передавальні функції елементів ОАУ. Передавальна функція підсилювача потужності визначається з його коефіцієнту підсилення, елемент вважається без інерційним:

$$W_{\text{пп}}(s) = \frac{U_{\text{пп}}(s)}{U_{\text{к}}(s)} = 5.4 \quad (2.8)$$

Передавальна функція двигуна за задаючим впливом:

$$W_{\text{дв}}(s) = \frac{\Omega(s)}{U_{\text{пп}}(s)} = \frac{3.63}{0.002s^2 + 0.242s + 1} \frac{\text{об}}{\text{В}\cdot\text{с}} \quad (2.9)$$

Передавальна функція редуктору та валу що перетворює вагу вантажу на момент супротиву стрічки на валу електродвигуна:

$$W_{\text{рвф}}(s) = \frac{M_f(s)}{m(s)} = 0.435 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{кг}}. \quad (2.10)$$

Передавальна функція двигуна за збурюючим впливом:

$$W_{\text{двф}}(s) = \frac{\Omega(s)}{M_f(s)} = \frac{-433.22}{0.002s^2 + 0.242s + 1} \frac{\text{об}}{\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}. \quad (2.11)$$

Передавальна функція валу та редуктора:

$$W_{\text{рв}}(s) = \frac{V_c(s)}{\Omega(s)} = 6.6 \frac{\text{мм} \cdot \text{с}}{\text{об} \cdot \text{с}}. \quad (2.12)$$

Передавальна функція оптичного енкодера на пасивному валу транспортеру приймається рівній одиниці, швидкість обертання енкодера не відповідає лінійній швидкості стрічки, проте це враховується під час обробки вихідного сигналу у мікроконтролерному модулі:

$$W_e(s) = \frac{I_e(s)}{V_c(s)} = 1 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{мм}}. \quad (2.13)$$

2.6 Машинне моделювання контуру управління швидкістю стрічки

Для дослідження ОАУ була сформована машинна руху стрічки конвеєру модель в середовищі Matlab Simulink, що представлена на рис. 2.6.

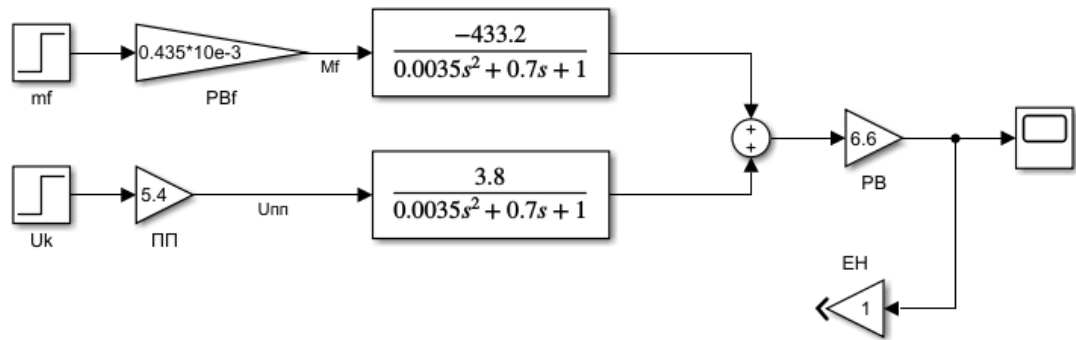


Рисунок 2.6 – Машинна модель ОАУ

Шляхом моделювання системи було отримано графіки перехідного процесу за керуючим та збуджуючим валивами, а також ЛЧХ, що представлені на рис. 2.7 – 2.9.

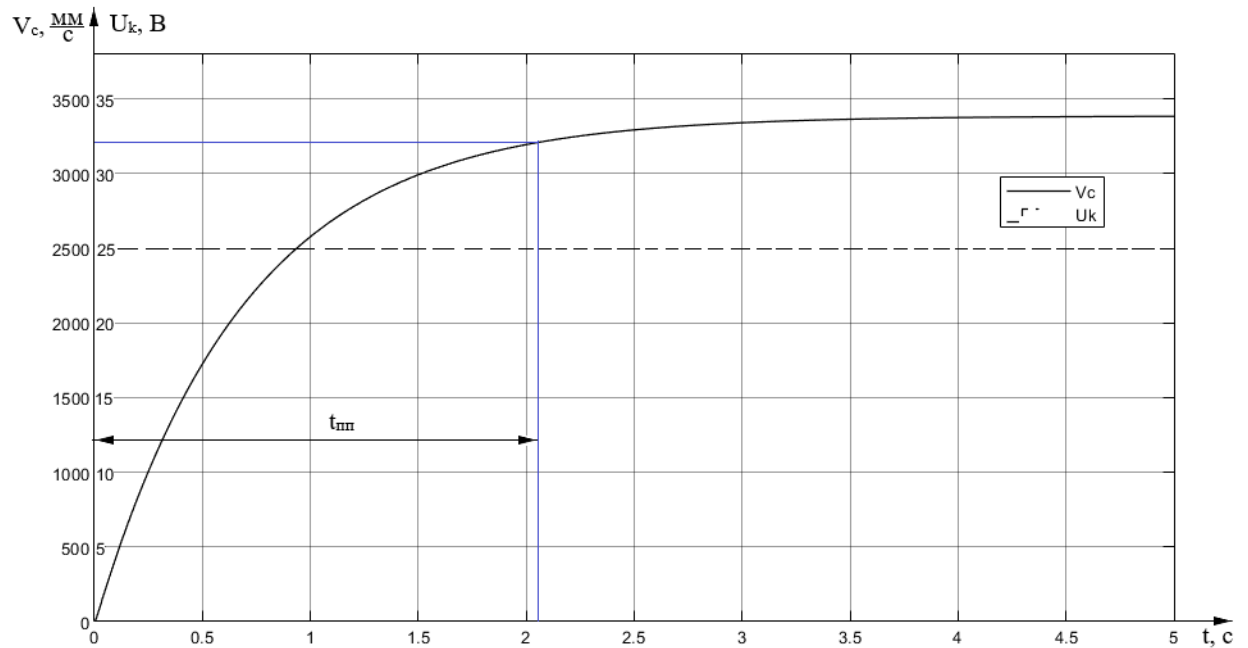


Рисунок 2.7 – Графік перехідного процесу ОАУ за задаючим впливом

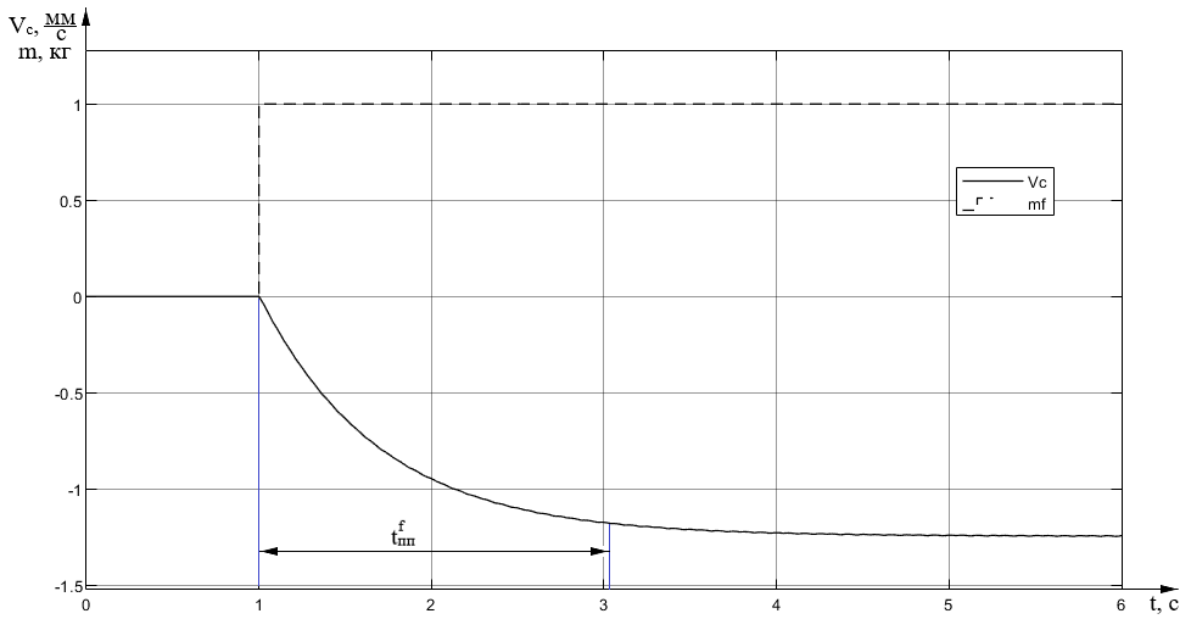


Рисунок 2.8 – Графік перехідного процесу ОАУ за збурюючим впливом

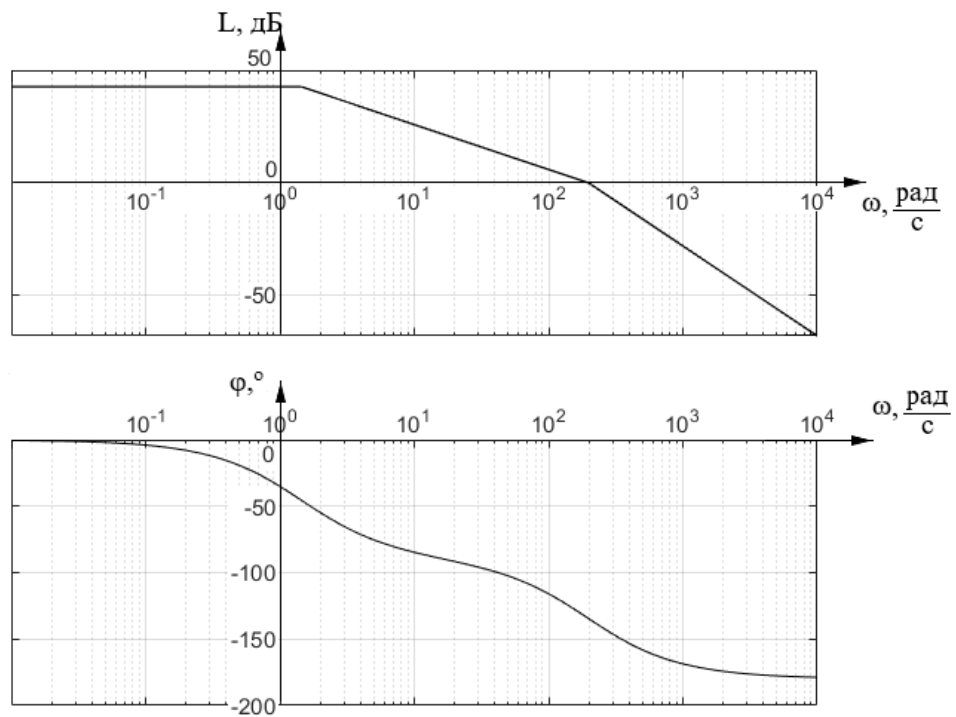


Рисунок 2.9 – Частотні характеристики ОАУ

Виходячи з отриманих динамічних та частотних характеристик отримані показники якості, які наведені у табл. 2.3.

Таблиця 2.8 – Показники якості ОАУ

| № з/п | Тип впливу | $t_{пп}, c$ | $\sigma, \%$ | $\varepsilon_{СТ}, \frac{мм}{с}$ | $L_3, Дб$ | $\varphi_3, ^\circ$ |
|-------|-----------------|-------------|--------------|----------------------------------|-----------|---------------------|
| 1 | Керуючий вплив | 2.094 | 0 | 3359 | ∞ | 52.7 |
| 2 | Збурюючий вплив | 2.053 | 0 | 0.243 | — | — |

2.7 Формування математичної моделі контуру керування швидкістю камери

Кінематична схема приводу руху камери стенду наведена на рис. 2.10.

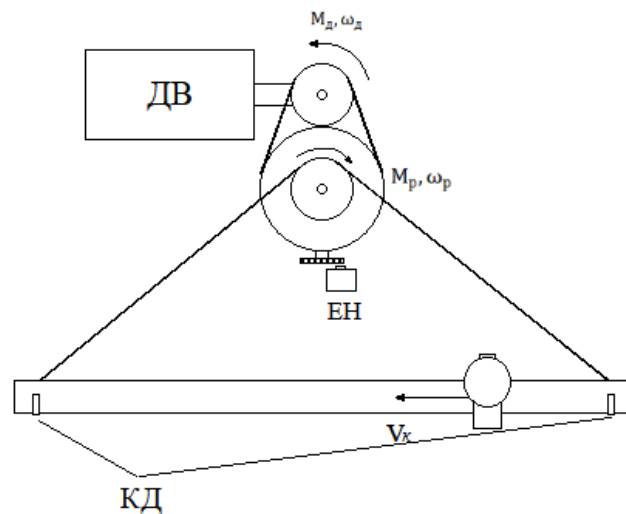


Рисунок 2.10 – Кінематична схема приводу камери

Позначення, що зображені на рис. 2.10 представлені в табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Позначення кінематичної схеми

| Позначення | Пояснення |
|------------|--|
| ЕД | Електродвигун |
| ЕН | Оптичний <u>енкодер</u> |
| КД | Кінцеві датчики положення камери |
| M_d | Обертовий момент двигуна, Н·м |
| ω_d | Швидкість обертання валу двигуна, $\frac{об}{хв}$ |
| M_p | Обертовий момент на виході редуктора, Н·м |
| ω_p | Швидкість обертання на виході редуктора, $\frac{об}{хв}$ |
| V_k | Лінійна швидкість стрічки транспортера, мм/с |

Система управління створюється з метою стабілізації швидкості руху камери, яка приводиться до руху приводом та редуктором, до яких приєднано вал електродвигуна:

$$\begin{cases} V_k = \omega_p \cdot K_p \cdot 2\pi R_p; \\ \omega_p = \frac{\omega_d}{i}; \\ \dot{\omega}_d = \frac{M_d}{J}, \end{cases} \quad (2.14)$$

де: i – коефіцієнт редуктору;

K_p – передавальний коефіцієнт привода камери;

R_p – радіус валу привода камери;

J – момент інерції на валу електродвигуна.

Оскільки у контурі камери використовується модель двигуна, що аналогічна моделі у контурі керування, то його математична модель вже визначена.

2.8 Лінеаризація математичної моделі контуру керування камерою

З урахуванням параметрів установки математична модель контуру керування швидкістю камери матиме наступний вигляд:

$$\begin{cases} 0.005\ddot{\omega}_d + 0.7\dot{\omega}_d + \omega_d = 3.8 U; \\ \omega_p = \frac{\omega_d}{20}; \\ V_k = 75.36\omega_p. \end{cases} \quad (2.15)$$

Структурна схема контуру управління швидкістю камери представлена на рис. 2.11.

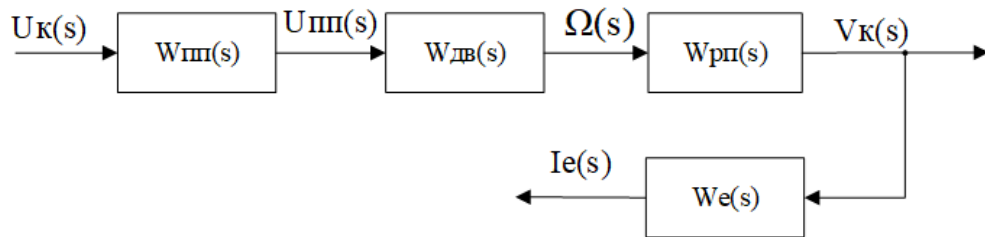


Рисунок 2.11 – Структурна схема контуру керування швидкістю камери

Позначення, що зображенні на рис. 2.11 представлені в табл. 2.9.

Таблиця 2.9 – Позначення на структурній схемі контуру управління швидкістю камери

| Позначення | Пояснення |
|---|---|
| $W_{пп}(s) = \frac{U_{пп}(s)}{U_k(s)}$ | Передавальна функція підсилювача потужності |
| $W_{дв}(s) = \frac{\Omega(s)}{U_{пп}(s)}$ | Передавальна функція двигуна, $\frac{\text{об}}{\text{В*с}}$ |
| $W_{рп}(s) = \frac{V_c(s)}{\Omega(s)}$ | Передавальна функція редуктора та привода $\frac{\text{мм*с}}{\text{об*с}}$ |
| $W_e(s) = \frac{I_e(s)}{V_c(s)}$ | Передавальна функція оптичного енодера $\frac{\text{В*с}}{\text{мм}}$ |
| $U_k(s)$ | Зображення сигналу керуючої напруги |
| $U_{пп}(s)$ | Зображення сигналу напруги підсилювача потужності |
| $\Omega(s)$ | Зображення сигналу кутової швидкості валу двигуна |
| $V_k(s)$ | Зображення сигналу лінійної швидкості камери |
| $I_e(s)$ | Зображення сигналу вихідної напруги енодера |

Шляхом прямого перетворення Лапласа отримані передавальні функції елементів ОАУ.

Передавальна функція підсилювача потужності визначається з його коефіцієнту підсилення, елемент вважається безінерційним:

$$W_{пп}(s) = \frac{U_{пп}(s)}{U_k(s)} = 5.4 \quad (2.15)$$

Передавальна функція двигуна:

$$W_{дв}(s) = \frac{\Omega(s)}{U_{пп}(s)} = \frac{3.63}{0.002s^2 + 0.242s + 1} \frac{\text{об}}{\text{В}\cdot\text{с}} \quad (2.16)$$

Передавальна функція редуктору та приводу камери:

$$W_{рп}(s) = \frac{V_c(s)}{\Omega(s)} = 3.76 \frac{\text{мм}\cdot\text{с}}{\text{об}\cdot\text{с}} \quad (2.17)$$

Передавальна функція оптичного енкодера на пасивному валу транспортеру приймається рівній одиниці, швидкість обертання енкодера не відповідає лінійній швидкості стрічки, проте це враховується під час обробки вихідного сигналу у мікроконтролерному модулі:

$$W_e(s) = \frac{I_e(s)}{V_c(s)} = 1 \frac{\text{В}\cdot\text{с}}{\text{мм}} \quad (2.18)$$

2.9 Машинне моделювання контуру керування швидкістю камери

Проведено машинне моделювання роботи контуру керування швидкістю камери у середовищі Matlab Simulink, машинна модель використана у моделюванні зображена на рис. 2.12.

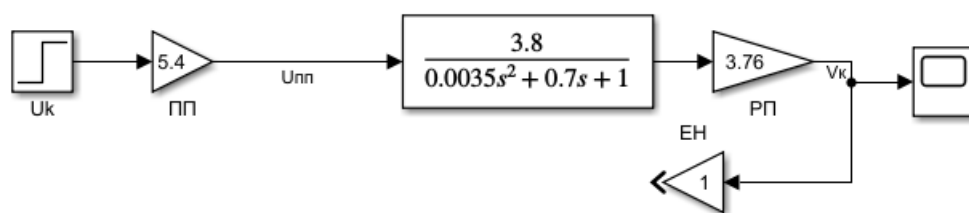


Рисунок 2.12 – Машинна модель контуру керування швидкістю камери в середовищі Matlab Simulink

У результаті моделювання роботи системи були отримані графік перехідного процесу та частотні характеристики системи, що представлені на рис. 2.13 – 2.14.

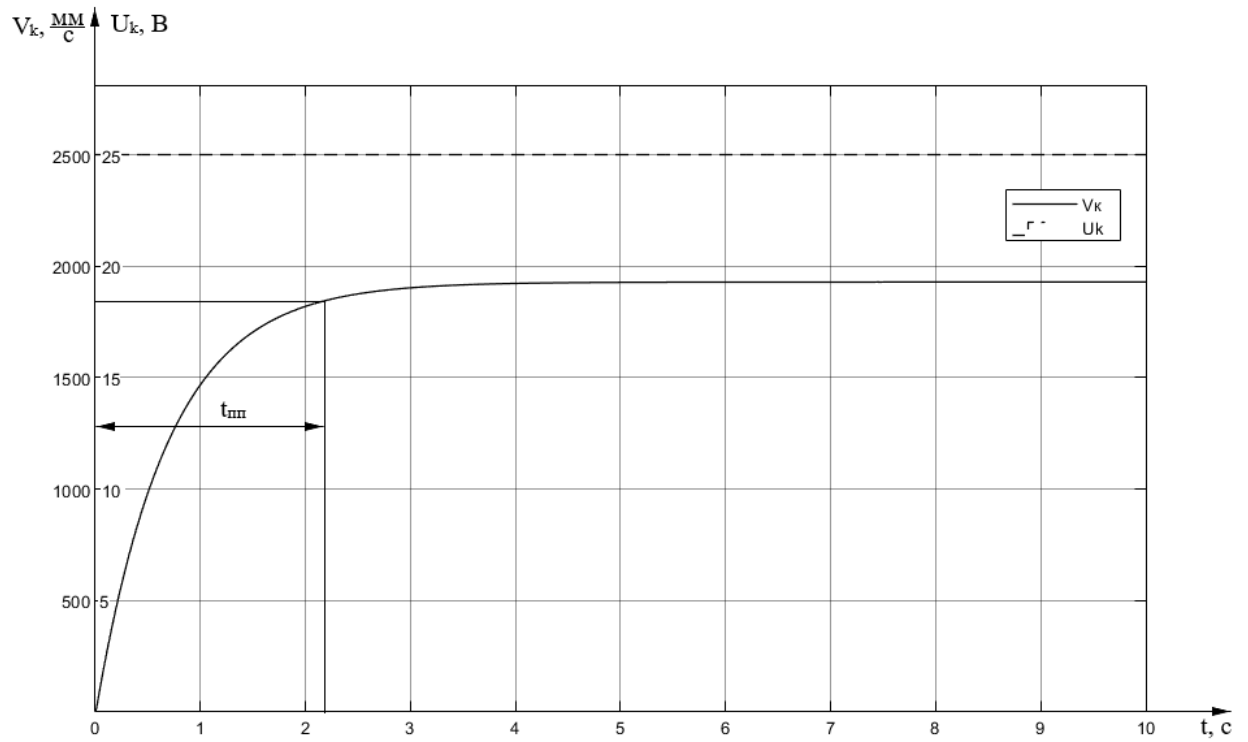


Рисунок 2.13 – Графік перехідного процесу контуру управління швидкістю камери

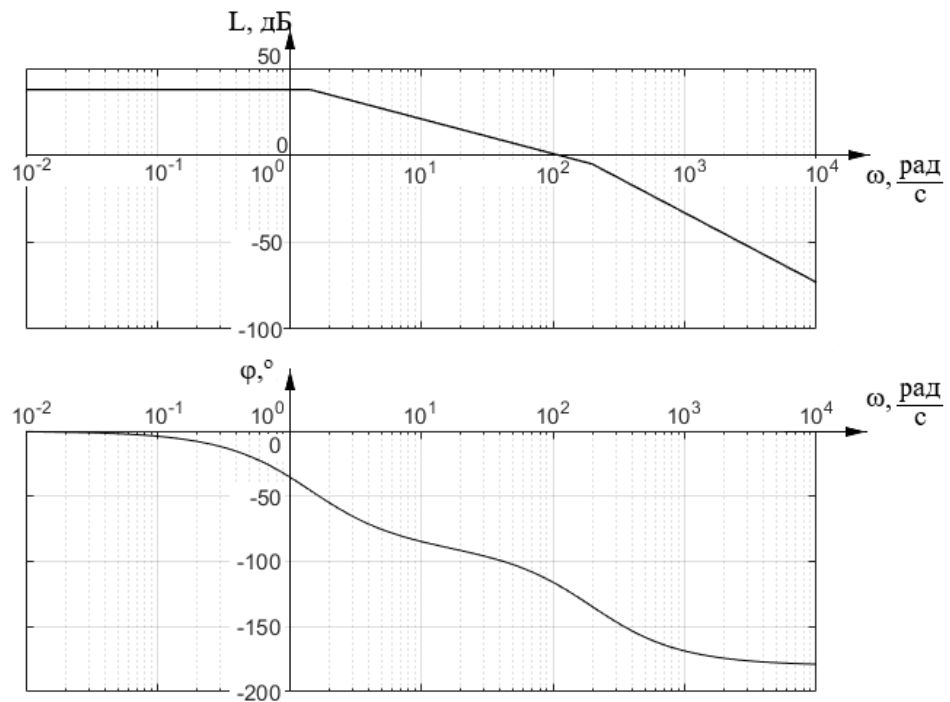


Рисунок 2.14 – Логарифмічно-частотні характеристики контуру управління швидкістю камери

Виходячи з отриманих у результаті моделювання роботи контуру керування швидкістю камери характеристик визначені показники якості функціонування системи, отримані показники якості наведені у табл. 2.4.

Таблиця 2.10 – Показники якості контуру керування швидкістю камери

| Тип впливу | $t_{пп}, c$ | $\sigma, \%$ | $\varepsilon_{ст}, \frac{мм}{с}$ | $L_3, Дб$ | $\varphi_3, ^\circ$ |
|----------------|-------------|--------------|----------------------------------|-----------|---------------------|
| Керуючий вплив | 2.18 | 0 | 1902 | ∞ | 52.7 |

2.10 Постановка задачі синтезу

Метою синтезу системи автоматичного управління є формування системи управління за контуром керування лінійною швидкістю стрічки транспортера та за контуром керування швидкістю камери, обидва контури мають відповідати наступним показникам якості:

- 1) $t_{пп} \leq 0.5c$ – час перехідного процесу;
- 2) $\sigma \leq 5\%$ – перерегулювання;
- 3) $\varepsilon_{ст} \leq 0.1\%$ – статична похибка;
- 4) $\varphi_3 \geq 40^\circ$ – запас стійкості за фазою;
- 5) $L_3 \geq 10Дб$ – запас стійкості за амплітудою.

2.11 Формування функціональної та структурної схеми САУ

Сформовано функціональну схему системи автоматичного управління швидкістю стрічки транспортеру, побудованої на принципі управління за відхиленням, що представлена на рис. 2.15.

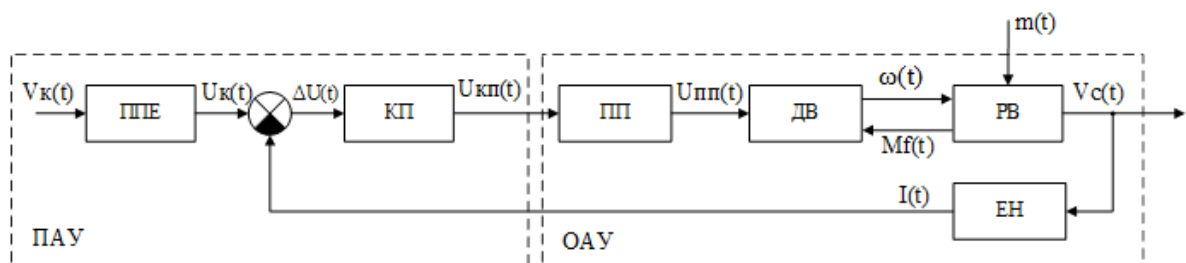


Рисунок 2.15 – Функціональна схема САУ за контуром швидкості стрічки

Позначення, що зображені на рис. 2.15 представлені в табл. 2.11.

Таблиця 2.11 – Позначення функціональної схеми системи за контуром швидкості стрічки

| Позначення | Пояснення |
|---------------|--|
| ППЕ | Перетворюючий пристрій |
| КП | Коригуючий пристрій |
| ПП | Підсилювач потужності |
| ДВ | Двигун |
| РВ | Редуктор та вал транспортеру |
| ЕН | Оптичний енкодер |
| $V_k(t)$ | Керуючий сигнал лінійної швидкості, $\frac{мм}{с}$ |
| $U_k(t)$ | Керуюча напруга, В |
| $\Delta U(t)$ | Напруга відхилення, В |
| $U_{кп}(t)$ | Напруга коригуючого пристрою, В |
| $U_{пп}(t)$ | Напруга підсилювача потужності, В |
| $\omega(t)$ | Кутова швидкість валу електродвигуна, $\frac{об}{с}$ |
| $V_c(t)$ | Лінійна швидкість стрічки транспортеру, $\frac{мм}{с}$ |
| $m(t)$ | Вага вантажу транспортеру, кг |
| $M_f(t)$ | Збурюючий момент від стрічки на валу двигуна, Н*м |
| $I(t)$ | Сигнал з оптичного енкодера, В |

На основі функціональної схеми САУ контуру швидкості стрічки сформовано структурну схему САУ контуру швидкості стрічки, що представлена на рис. 2.16.

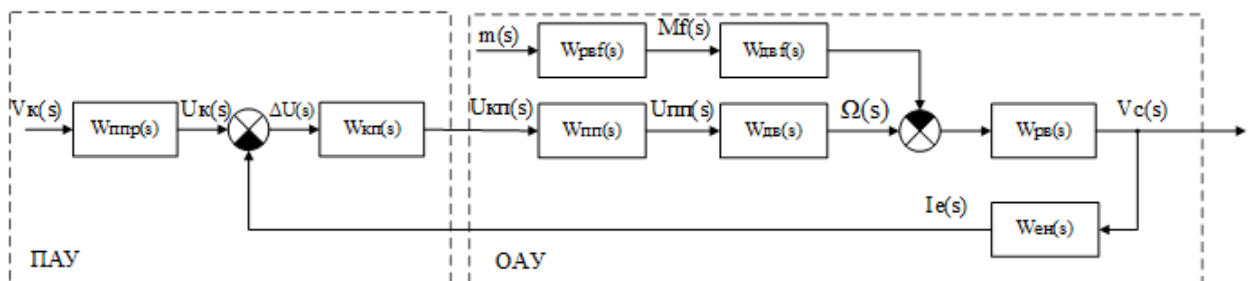


Рисунок 2.16 – Структурна схема системи за контуром швидкості стрічки

Позначення, що зображені на рис. 2.16 представлені в табл. 2.12.

Таблиця 2.12 – Позначення структурної схеми системи

| Позначення | Пояснення |
|---|---|
| $W_{ппр}(s) = \frac{U_k(s)}{V_k(s)} = 1$ | Передавальна функція перетворюючого пристрою, $\frac{В*с}{мм}$ |
| $W_{кп}(s) = \frac{U_{кп}(s)}{\Delta U(s)}$ | Передавальна функція коригуючого пристрою |
| $W_{пп}(s) = \frac{U_{пп}(s)}{U_k(s)} = 5.4$ | Передавальна функція підсилювача потужності |
| $W_{дв}(s) = \frac{\Omega(s)}{U_{пп}(s)} =$ $= \frac{3.8}{0.0035s^2 + 0.7s + 1}$ | Передавальна функція двигуна за керуючим впливом, $\frac{об}{В*с}$ |
| $W_{рвф}(s) = \frac{M_f(s)}{m(s)} = 0.435 * 10^{-3}$ | Передавальна функція валу та редуктора по збурюючому впливу, $\frac{Н*м}{кг}$ |
| $W_{двф}(s) = \frac{\Omega(s)}{M_f(s)}$ $= \frac{-433.22}{0.0035s^2 + 0.7s + 1}$ | Передавальна функція двигуна за збурюючим впливом, $\frac{об}{Н*м*с}$ |
| $W_{рв}(s) = \frac{V_c(s)}{\Omega(s)} = 6.6$ | Передавальна функція валу та редуктора $\frac{мм*с}{об*с}$ |
| $W_e(s) = \frac{I_e(s)}{V_c(s)} = 1$ | Передавальна функція оптичного енодера $\frac{В*с}{мм}$ |
| $V_k(s)$ | Зображення керуючого значення лінійної швидкості |
| $U_k(s)$ | Зображення сигналу керуючої напруги |
| $\Delta U(s)$ | Зображення сигналу напруги відхилення |
| $m(s)$ | Зображення сигналу ваги вантажу |
| $M_f(s)$ | Зображення сигналу збурюючого моменту на валу двигуна |
| $U_{пп}(s)$ | Зображення сигналу напруги підсилювача потужності |
| $\Omega(s)$ | Зображення сигналу кутової швидкості валу двигуна |
| $V_c(s)$ | Зображення сигналу лінійної швидкості стрічки |
| $I_e(s)$ | Зображення сигналу вихідної напруги енодера |

Сформовано функціональну схему системи автоматичного управління швидкістю камери, побудованої на принципі управління за відхиленням, що представлена на рис. 2.17.

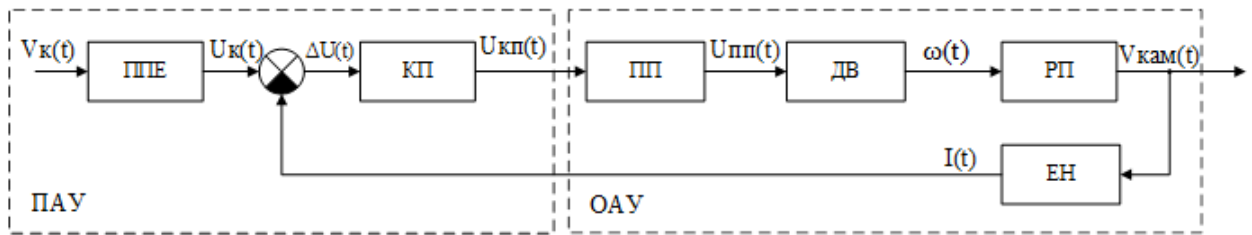


Рисунок 2.17 – Функціональна схема САУ за контуром швидкості камери

Позначення, що зображені на рис. 2.17 представлені в табл. 2.13.

Таблиця 2.13 – Позначення функціональної схеми системи

| Позначення | Пояснення |
|---------------|--|
| ППЕ | Перетворюючий пристрій |
| КП | Коригуючий пристрій |
| ПП | Підсилювач потужності |
| ДВ | Двигун |
| РП | Редуктор та привод камери |
| ЕН | Оптичний енкодер |
| $V_k(t)$ | Керуючий сигнал лінійної швидкості, $\frac{\text{мм}}{\text{с}}$ |
| $U_k(t)$ | Керуюча напруга, В |
| $\Delta U(t)$ | Напруга відхилення, В |
| $U_{кп}(t)$ | Напруга коригуючого пристрою, В |
| $U_{пп}(t)$ | Напруга підсилювача потужності, В |
| $\omega(t)$ | Кутова швидкість валу електродвигуна, $\frac{\text{об}}{\text{с}}$ |
| $V_{кам}(t)$ | Швидкість камери, мм/с |
| $I(t)$ | Сигнал з оптичного енкодера, В |

На основі функціональної схеми САУ контуру швидкості камери сформовано структурну схему САУ контуру швидкості стрічки, що представлена на рис. 2.18.

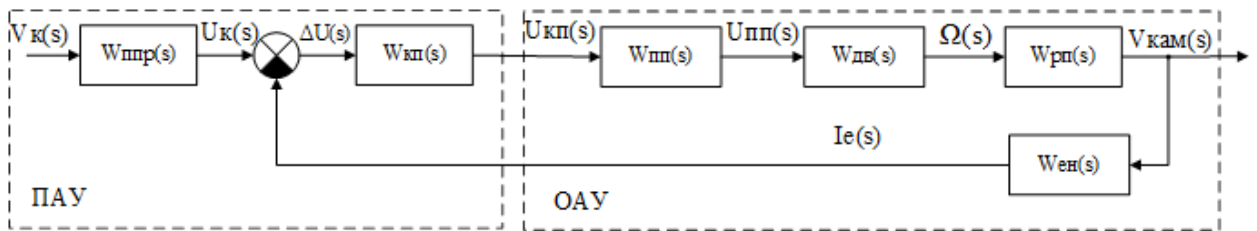


Рисунок 2.18 – Структурна схема САУ контуру керування швидкістю камери

Позначення, що зображені на рис. 2.16 представлені в табл. 2.14.

Таблиця 2.14 – Позначення структурної схеми системи

| Позначення | Пояснення |
|--|--|
| $W_{ппр}(s) = \frac{U_k(s)}{V_k(s)} = 1$ | Передавальна функція перетворюючого пристрою, $\frac{В*с}{мм}$ |
| $W_{кп}(s) = \frac{U_{кп}(s)}{\Delta U(s)}$ | Передавальна функція коригуючого пристрою |
| $W_{пп}(s) = \frac{U_{пп}(s)}{U_k(s)} = 5.4$ | Передавальна функція підсилювача потужності |
| $W_{дв}(s) = \frac{\Omega(s)}{U_{пп}(s)} = \frac{3.8}{0.0035s^2 + 0.7s + 1}$ | Передавальна функція двигуна за керуючим впливом, $\frac{об}{В*с}$ |
| $W_{рп}(s) = \frac{V_c(s)}{\Omega(s)} = 3.76$ | Передавальна функція редуктора та приводу камери $\frac{мм*с}{об*с}$ |
| $W_e(s) = \frac{I_e(s)}{V_c(s)} = 1$ | Передавальна функція оптичного енкодера $\frac{В*с}{мм}$ |
| $V_k(s)$ | Зображення керуючого значення лінійної швидкості |
| $U_k(s)$ | Зображення сигналу керуючої напруги |
| $\Delta U(s)$ | Зображення сигналу напруги відхилення |
| $U_{пп}(s)$ | Зображення сигналу напруги підсилювача потужності |
| $\Omega(s)$ | Зображення сигналу кутової швидкості валу двигуна |
| $V_{кам}(s)$ | Зображення сигналу швидкості |
| $I_e(s)$ | Зображення сигналу вихідної напруги енкодера |

2.12 Дослідження характеристик нескоригованої САУ

Проведено дослідження моделі САУ за обома контурами шляхом моделювання роботи систем, машинна модель контуру керування швидкістю стрічки зображена на рис. 2.19, графіки перехідних процесів за керуючим та збурюючим впливами наведені на рис. 2.20 та 2.21.

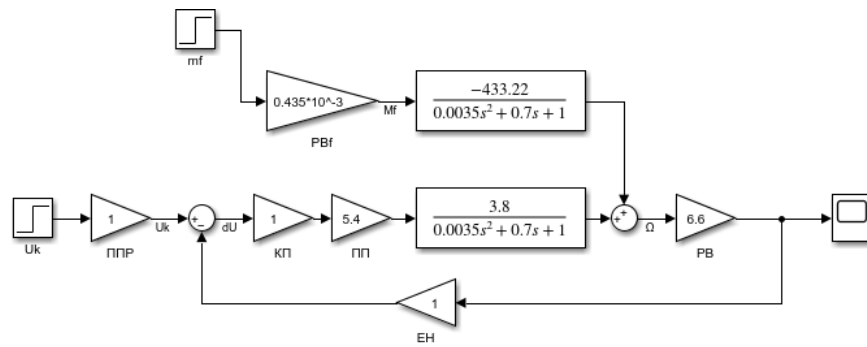


Рисунок 2.19 – Машинна модель САУ за контуром швидкості стрічки

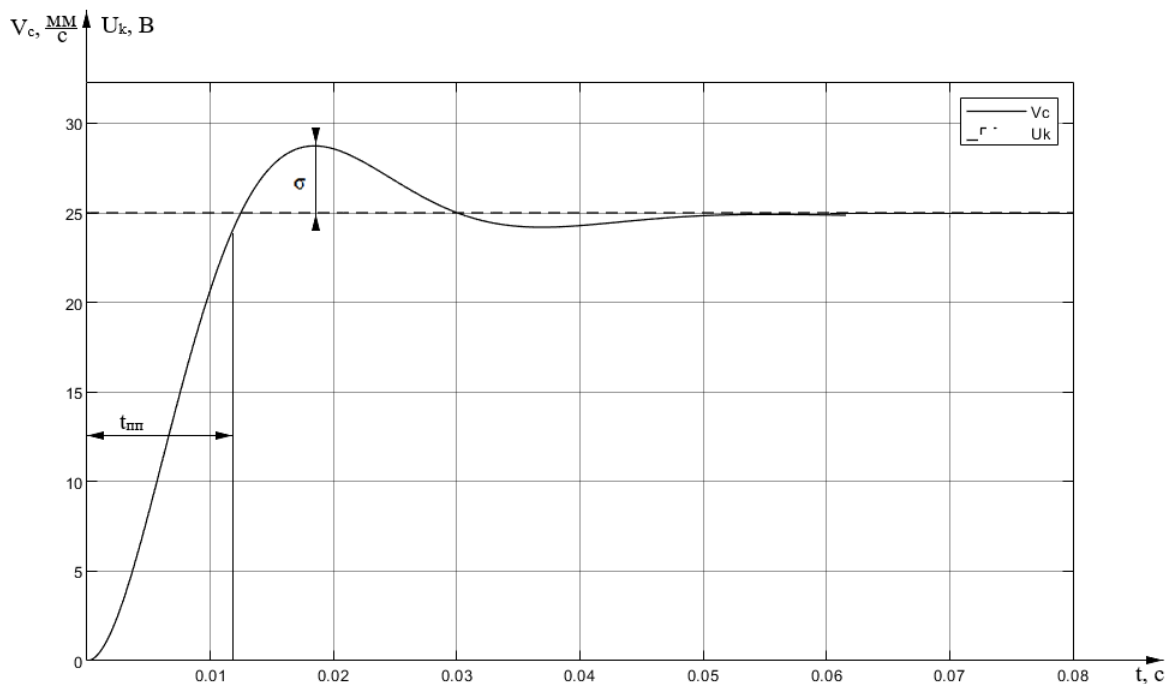


Рисунок 2.20 – Графік перехідного процесу системи автоматичного управління за керуючим впливом

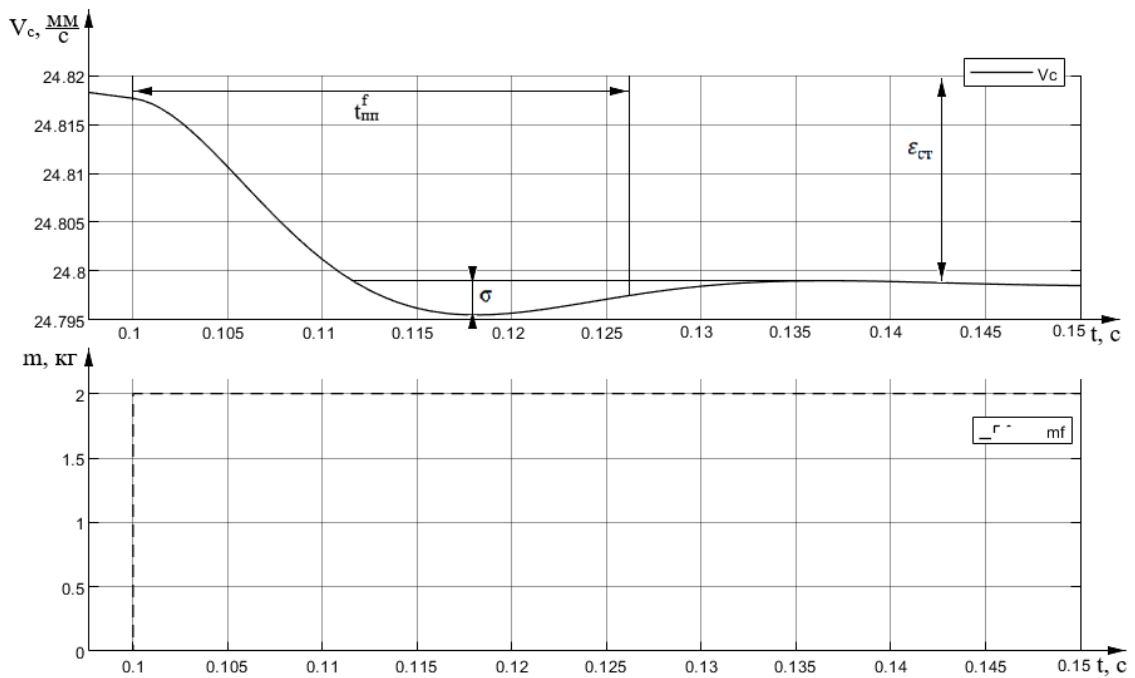


Рисунок 2.21 – Графік перехідного процесу системи за збурюючим впливом

Виходячи з отриманих характеристик системи у вигляді графіків перехідних процесів отримані показники якості системи, отримані показники наведені у табл. 2.5.

Таблиця 2.15 – Показники якості нескоригованої САУ за контуром швидкості стрічки

| № з/п | Тип впливу | Тип ПП | χ | $t_{пп}, c$ | $\sigma, \%$ | $\epsilon_{ст}, \%$ |
|-------|-----------------|-------------|--------|-------------|--------------|---------------------|
| 1 | Керуючий вплив | коливальний | 1 | 0.026 | 15.7 | 0.18 |
| 2 | Збурюючий вплив | коливальний | 1 | 0.026 | 15.5 | 0.0072 |

Машинна модель контуру керування швидкістю камери в середовищі Simulink Matlab, графік перехідного процесу за керуючим впливом зображені на рис. 2.22 та 2.23 відповідно.

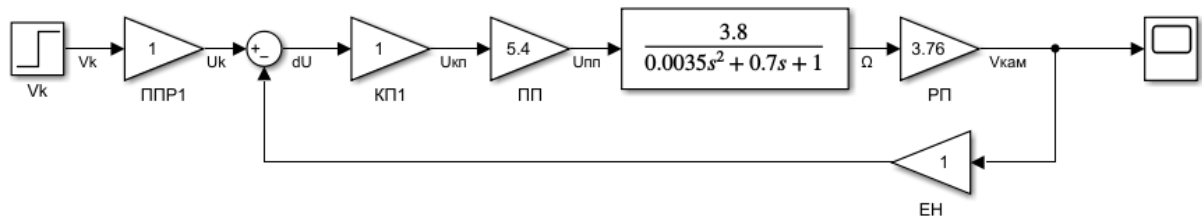


Рисунок 2.22 – Машинна модель САУ в середовищі Simulink

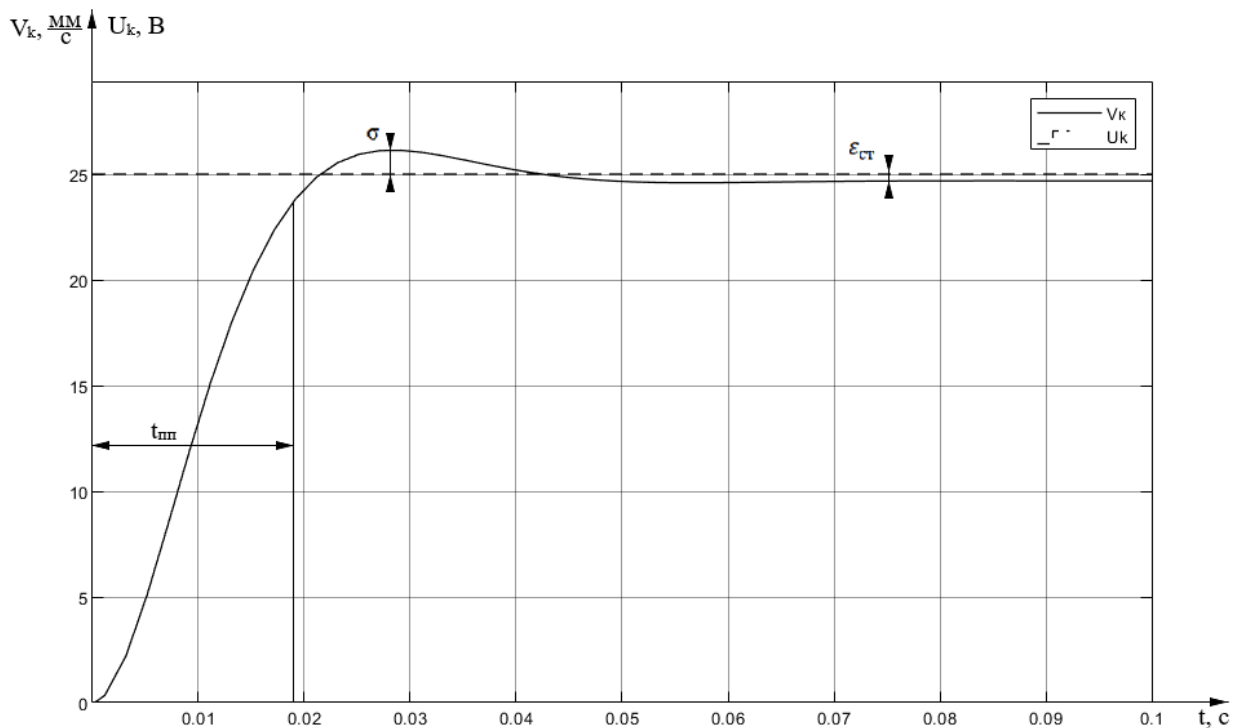


Рисунок 2.23 – Графік перехідного процесу за керуючим впливом

Отримані у результаті аналізу графіку перехідного процесу показники якості наведені у табл. 2.6.

Таблиця 2.16 – Показники якості нескоригованої САУ контуру керування швидкістю камери

| Тип впливу | Тип ПП | χ | $t_{пп}, с$ | $\sigma, \%$ | $\varepsilon_{ст}, \%$ |
|----------------|-------------|--------|-------------|--------------|------------------------|
| Керуючий вплив | коливальний | 1 | 0.03 | 7.9 | 0.108 |

Оскільки показники якості САУ, визначені з отриманих динамічних характеристик, не відповідають умовам, необхідно доповнити системи коригувальним елементом, для досягнення необхідної якості функціонування.

2.13 Синтез коригуючого пристрою

Синтез коригуючого пристрою є необхідною складовою процесу синтезу повноцінної системи управління, адже саме цей елемент системи перетворює сигнал похибки, у системах створених на основі принципу управління за відхиленням, на певний сигнал, що призводить до бажаної реакції об'єкту автоматичного управління. Серед різних варіантів реалізації регулятора, таких як, ПД, синтез методом ЛАЧХ, алгоритми на основі нейронних мереж та ін. для реалізації обрано саме ПД регулятор оскільки алгоритм обчислення його сигналу є простим у порівнянні з іншими, які вимагають значних обчислювальних потужностей, що недоступні на обраному виконавчому пристрої та вимагають набагато дорожчого рішення.

Вихідний сигнал ПД регулятора представляє собою суму сигналів з трьох окремих ланок, на вхід кожної з яких подається сигнал регулятора. Ці елементи представляють собою, відповідно до назви регулятора, пропорційну інтегральну та диференціальну ланки, з наступними передавальними функціями:

$$W_p(s) = K_p; W_I(s) = \frac{K_I}{s}; W_d(s) = K_d s. \quad (2.19)$$

Вихідний сигнал пропорційної складової регулятора прямо залежить від різниці між керуючим сигналом та вихідним сигналом системи, при використанні лише пропорційної ланки у системі буде присутня статична похибка. Збільшення коефіцієнту пропорційної ланки призведе до зменшення статичної похибки та збільшення швидкодії системи, проте також збільшує амплітуду коливань перехідного процесу чи відсоток перерегулювання, при занадто великому значенні цього коефіцієнту система може стати нестійкою.

Інтегральна ланка постійно накопичує сигнал відхилення коли він відмінний від нуля, тому вона використовується для того щоб позбавитися статичної похибки у системі, проте при тривалому перехідному процесі інтегральна складова може встигнути накопичити значення, що істотно подовжить коливання перехідного процесу.

Диференціальна складова може значно пришвидшити швидкодію системи, особливо при ступінчатих змінах керуючого сигналу, оскільки вихідний сигнал залежить від швидкості зміни керуючого сигналу, проте

завелике значення коефіцієнту цієї ланки призведе до погіршення якості перехідного процесу за параметрами перегулювання, амплітуди та частоти коливань та кількості коливань до завершення ПП.

При синтезі систем управління використовуються різні варіанти ПД регулятора, у яких відсутня певна ланка, виходячи з характеру досліджуваної системи обрано ПІ регулятор, оскільки швидкодія нескоригованої системи значно перевищує вимоги, а внесення диференціальної складової регулятора у систему лише збільшить навантаження на ОАУ через різкі зміни керуючого впливу при коливальному ПП.

Аналітичним шляхом можна вивести лише опорні значення коефіцієнтів регулятора, які потім необхідно оптимізувати під функціонування конкретної системи за конкретними вимогами. Одним з методів розрахунку опорних коефіцієнтів є метод Чієна-Хронеса-Ресвіка (CHR), за цим методом коефіцієнти розраховуються виходячи з максимальної швидкості наростання вихідного сигналу системи для перехідного процесу з відсутнім перерегулюванням, пропорційні та інтегральні коефіцієнти регулятора розраховуються за наступними формулами:

$$K_p = \frac{0.35}{a}; K_I = \frac{1.2L}{K}, \quad (2.20)$$

де a – точка перетину осі ординат з дотичною до графіку перехідного процесу;

L – точка перетину осі абсцис з дотичною до графіку перехідного процесу;

K – пропорційний коефіцієнт.

Усі параметри необхідні розрахунку опорних коефіцієнтів регулятора визначаються шляхом графічного аналізу графіку перехідного процесу замкненої системи, графік перехідного процесу за задаючим впливом системи автоматичного управління по контуру керування швидкістю стрічки наведено на рис. 2.24.

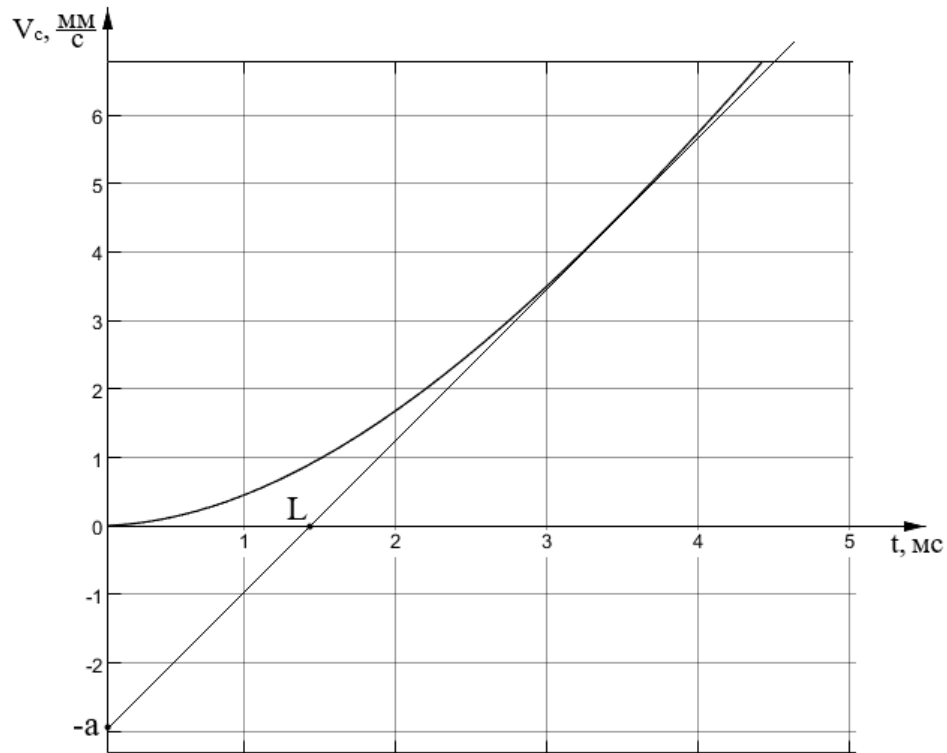


Рисунок 2.24 – Графік перехідного процесу системи по контурам швидкості стрічки

Були визначені опорні коефіцієнти регулятора за контуром управління швидкістю стрічки:

$$\begin{aligned}
 a_1 &= 2.9; \\
 L_1 &= 0.00145; \\
 K_1 &= 0.992; \\
 K_{п1} &= \frac{0.6}{a} = 0.21; \\
 K_{I1} &= \frac{4L}{K} = 0.006.
 \end{aligned}
 \tag{2.21}$$

Проведено оптимізацію коефіцієнтів регулятора контуру керування швидкістю стрічки шляхом поступового перебору значень, графіки перехідних процесів підбору пропорційного коефіцієнту та показники якості наведені на рис. 2.25 та в табл. 2.17 відповідно.

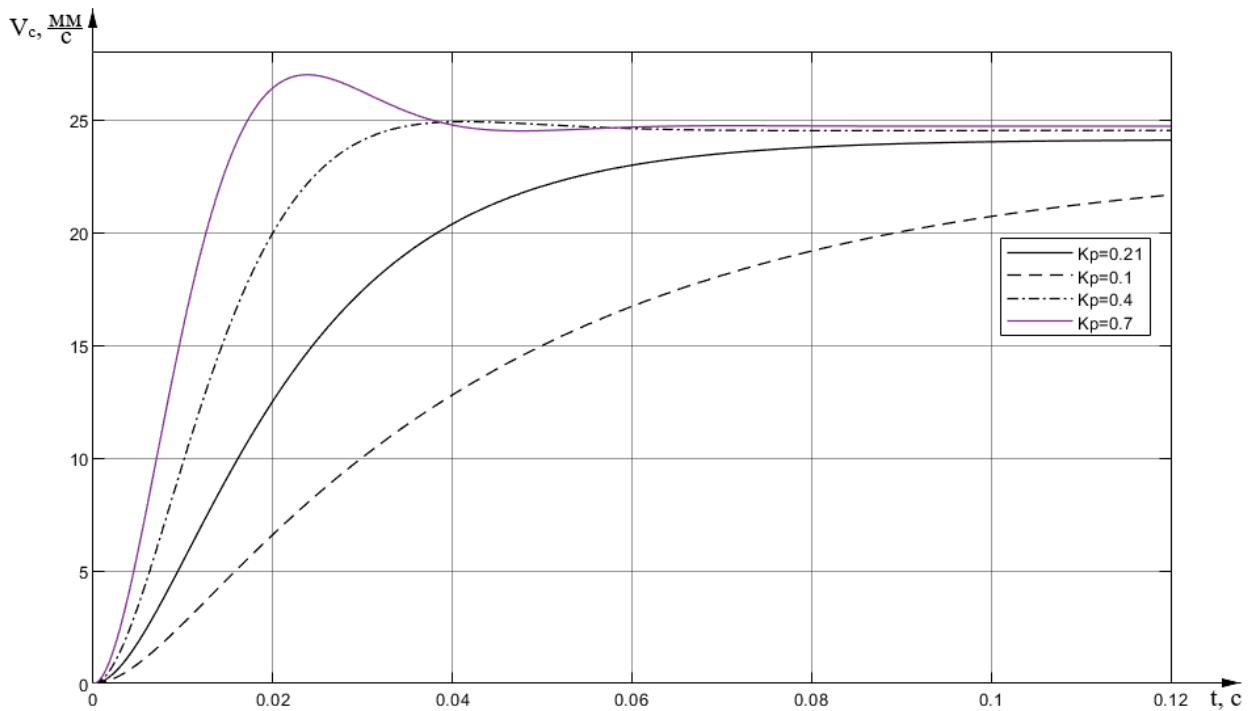


Рисунок 2.25 – Графіки переходних процесів з різними значеннями пропорційного коефіцієнту регулятора

Таблиця 2.17 – Показники якості при різних значеннях пропорційного коефіцієнту

| K_p | $t_{пп}, c$ | $\sigma, \%$ | $\epsilon_{ст}, \%$ |
|-------|-------------|--------------|---------------------|
| 0.7 | 0.135 | 9 | 1 |
| 0.4 | 0.027 | 1.8 | 1.8 |
| 0.21 | 0.58 | — | 3.3 |
| 0.1 | 0.135 | — | 7 |

Серед розглянутих коефіцієнтів обрано $K_{п1} = 0.4$ за критерієм найбільшої швидкодії системи при дотримуванні вимог ТЗ за перерегулюванням, статична похибка істотно не впливає на визначення пропорційного коефіцієнту оскільки вона компенсується інтегральним коефіцієнтом. Перехідні процеси оптимізації інтегральної частини регулятора наведено та показники якості на рис. 2.29 та в табл. 2.18 відповідно.

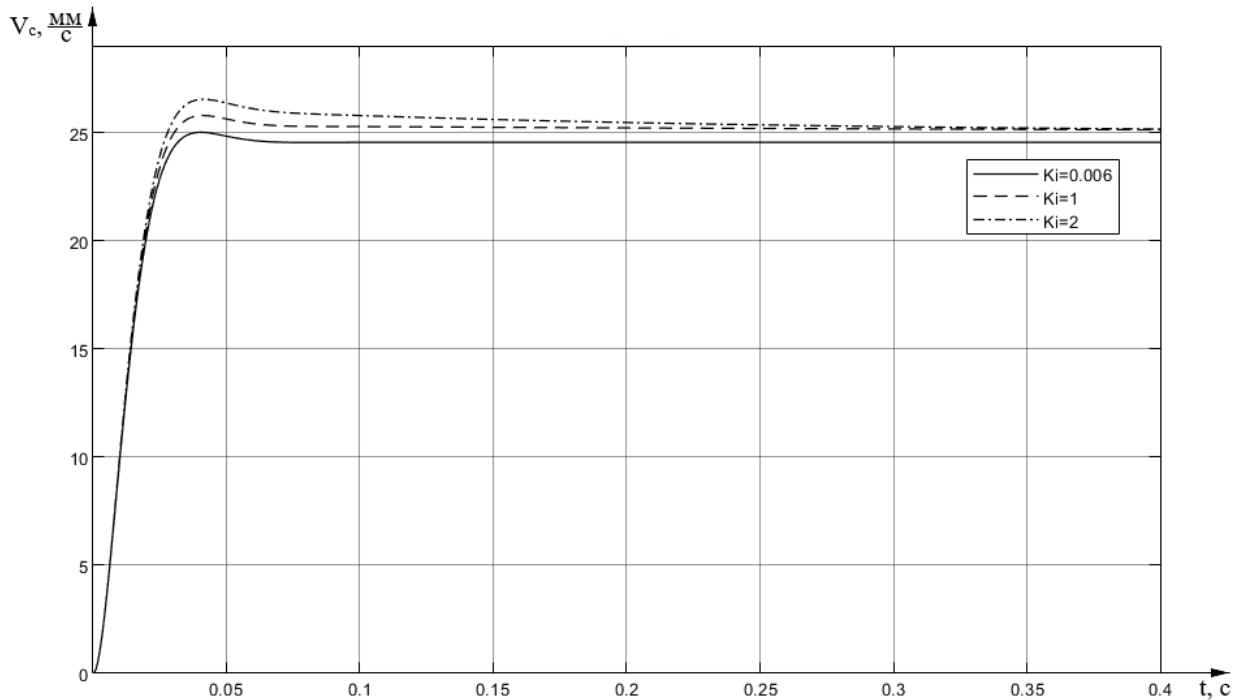


Рисунок 2.26 – Графіки перехідних процесів системи за контуром швидкості стрічки

Таблиця 2.18 – Показники якості при різних значеннях інтегрального коефіцієнту

| K_I | $t_{пп}, c$ | $\sigma, \%$ | Час зменшення похибки до $\varepsilon_{ст} < 0.1\% , c$ |
|-------|-------------|--------------|---|
| 0.006 | 0.023 | 1.8 | 184 |
| 1 | 0.028 | 3 | 0.473 |
| 2 | 0.027 | 6 | 0.472 |

З проведеного дослідження впливу зміни інтегрального коефіцієнту на показники якості перехідного процесу виходить що збільшення коефіцієнту призводить до збільшення швидкості компенсації похибки, проте збільшення цього коефіцієнту також призводить до накопичення більшої інтегральної складової сигналу, яка збільшує перерегулювання та змінює рівень сигналу після завершення перехідного процесу. Оскільки через лінійний характер математичної моделі системи управління на компенсацію похибки не впливає значення інтегрального коефіцієнту, наявності інтегральної ланки регулятора достатньо для повної компенсації похибки але від цього коефіцієнту залежить час, за який похибка буде повністю компенсована, виходячи з цього критерію обрано інтегральний коефіцієнт $K_{I1} = 1$.

Було визначено опорні коефіцієнти регулятора системи за контуром швидкості камери, графік перехідного процесу якої наведено на рис. 2.27.

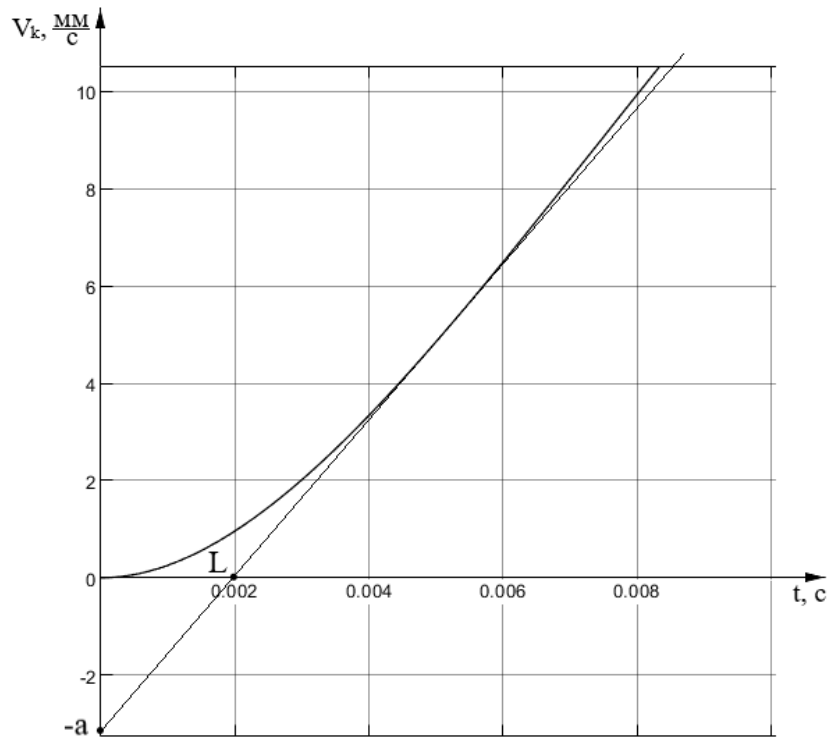


Рисунок 2.27 – Графік перехідного процесу системи автоматичного управління за контуром швидкості камери

$$\begin{aligned}
 a_2 &= 3.13; \\
 L_2 &= 0.002; \\
 K_2 &= 0.987; \\
 K_{п2} &= \frac{0.6}{a} = 0.192; \\
 K_{I2} &= \frac{4L}{K} = 0.008.
 \end{aligned}
 \tag{2.21}$$

Проведено оптимізацію коефіцієнтів регулятора контуру керування швидкістю камери шляхом поступового перебору значень, графіки перехідних процесів з підбором пропорційного коефіцієнту та показники якості наведені на рис. 2.28 та в табл. 2.19 відповідно.

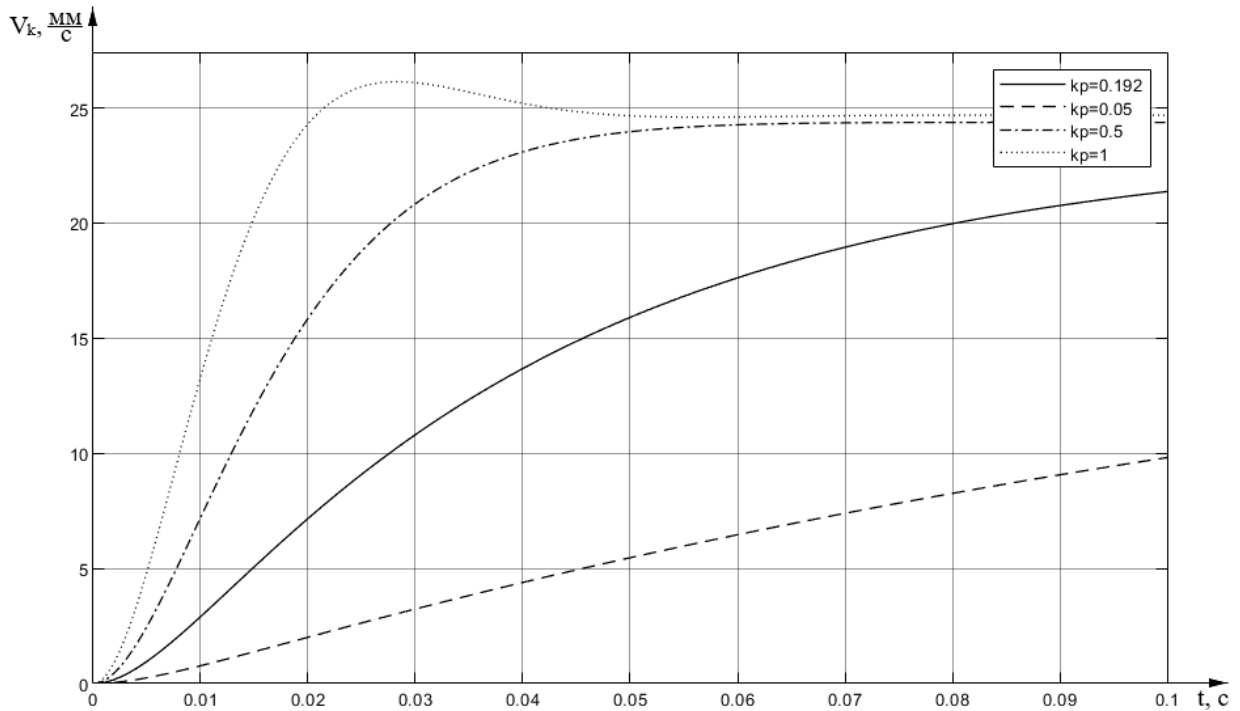


Рисунок 2.28 – Графіки переходних процесів при різних значеннях пропорційного коефіцієнту регулятора

Таблиця 2.19 – Показники якості з різними значення K_p

| K_p | $t_{пп}, c$ | $\sigma, \%$ | $\varepsilon_{ст}, \%$ |
|-------|-------------|--------------|------------------------|
| 1 | 0.03 | 6 | 5 |
| 0.5 | 0.042 | – | 2.6 |
| 0.192 | 0.123 | – | 6.3 |
| 0.05 | 0.417 | – | 20 |

Серед розглянутих коефіцієнтів обрано $K_{п2} = 0.5$ за критерієм найбільшої швидкодії системи при дотримуванні вимог ТЗ за перерегулюванням, статична похибка істотно не впливає на визначення пропорційного коефіцієнту оскільки вона компенсується інтегральним коефіцієнтом. Перехідні процеси оптимізації інтегральної частини регулятора та показники якості наведено на рис. 2.29 та в табл. 2.20 відповідно.

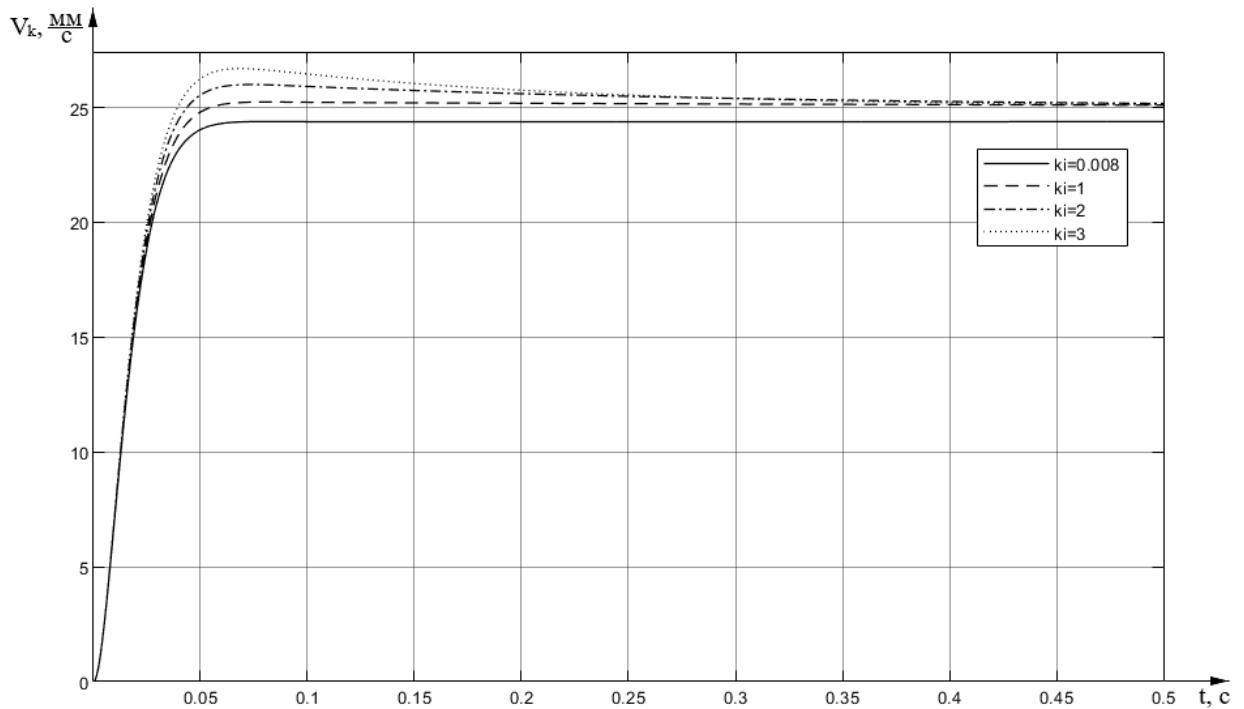


Рисунок 2.29 – Графіки перехідних процесів САУ контуру швидкості камери при різних значеннях інтегральної складової

Таблиця 2.20 – Показники якості з різними значеннями K_I

| K_I | $t_{пп}, c$ | $\sigma, \%$ | Час зменшення похибки до $\varepsilon_{ст} < 0.1\%, c$ |
|-------|-------------|--------------|--|
| 0.008 | 0.046 | — | 179 |
| 1 | 0.04 | — | 0.603 |
| 2 | 0.036 | 4 | 0.564 |
| 3 | 0.124 | 6.6 | 0.451 |

Обрано $K_{I2} = 2$.

2.14 Дослідження скоригованої САУ

Проведено дослідження скоригованої системи автоматичного управління за контурами швидкості стрічки та камери шляхом машинного моделювання роботи системи у середовищі Matlab Simulink. Машинна модель САУ контуру керування швидкістю стрічки, графіки перехідних процесів системи за керуючим та збурюючим впливами, графіки логарифмічно-частотних характеристик системи представлені на рис. 2.30 – 2.31.

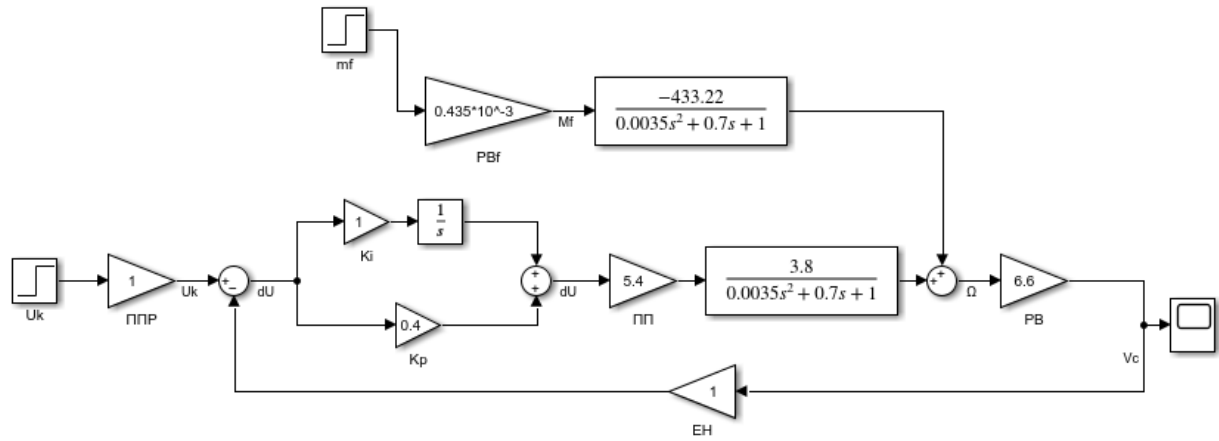


Рисунок 2.30 – Машинна модель скоригованої САУ контуру швидкості стрічки

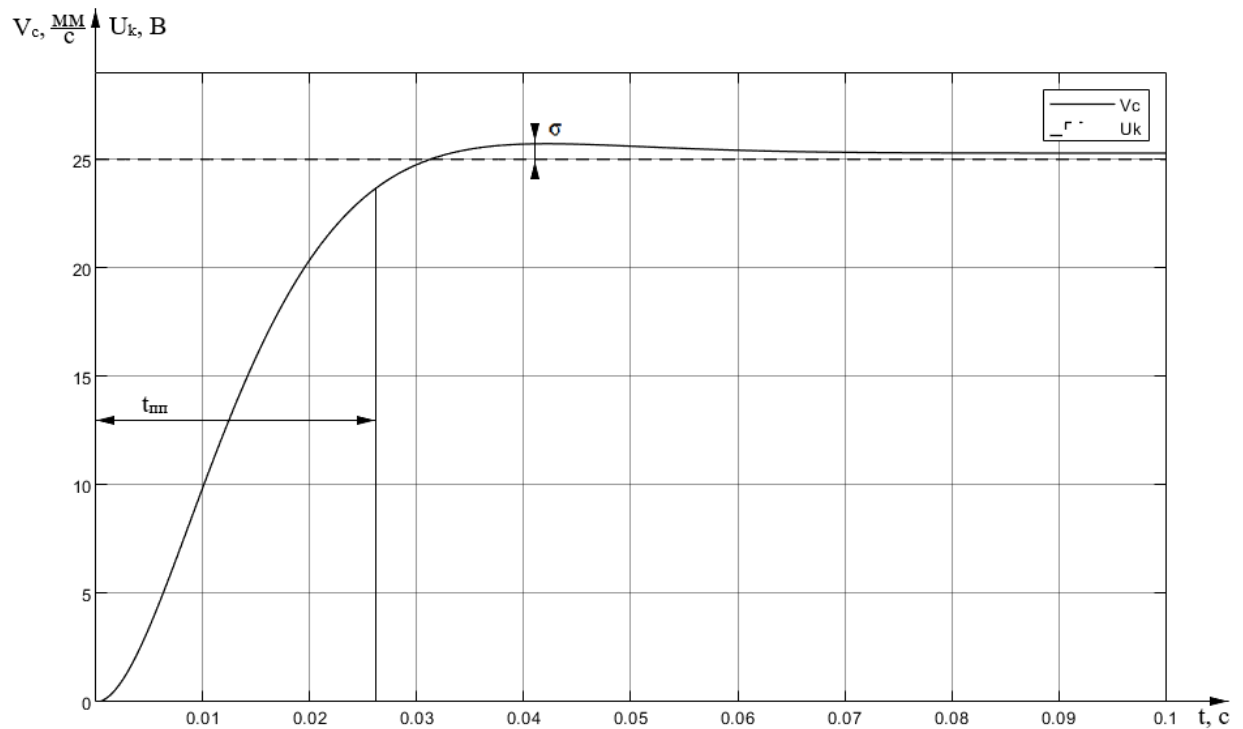


Рисунок 2.31 – Графік перехідного процесу скоригованої системи за контуром швидкості стрічки за керуючим впливом

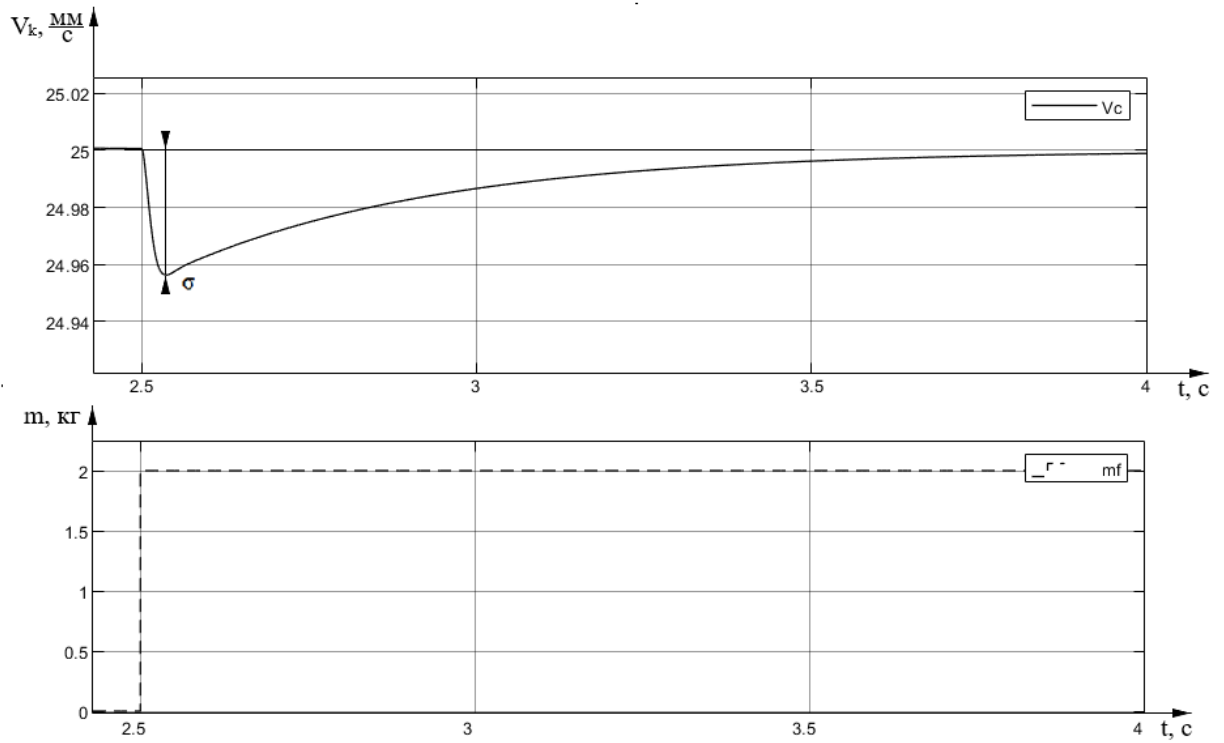


Рисунок 2.32 – Графік перехідного процесу скоригованої системи за контуром керування швидкістю стрічки за збуренням

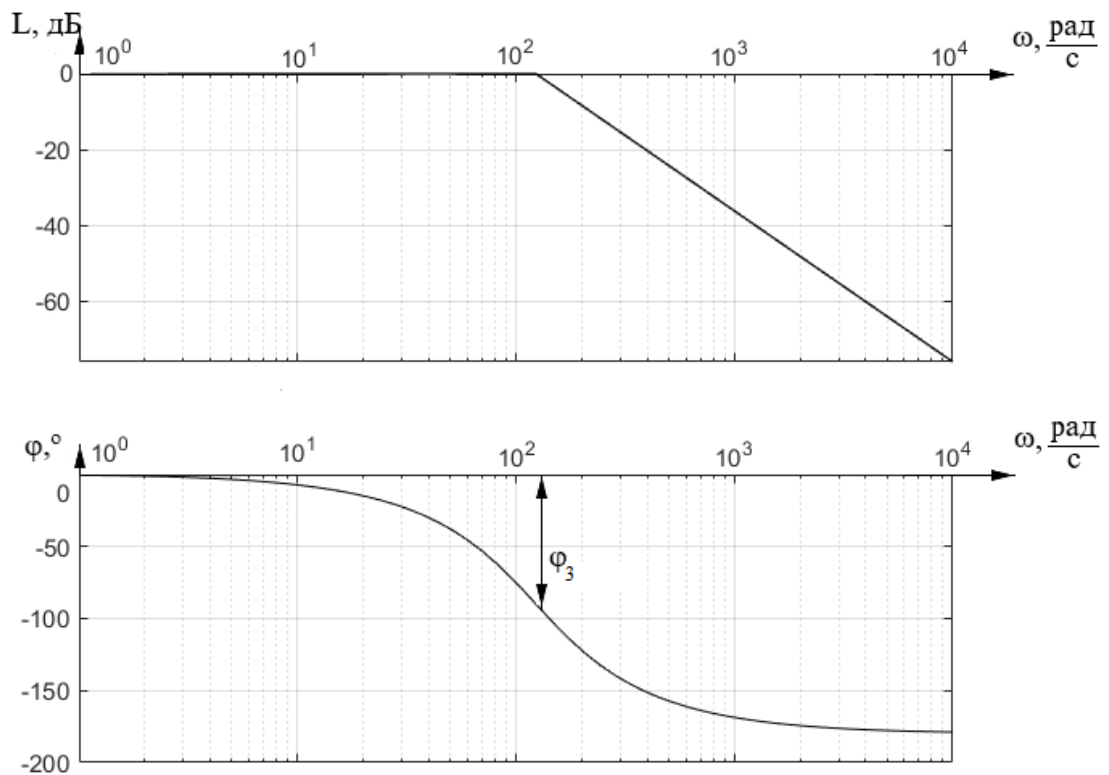


Рисунок 2.33 – Логарифмічно-частотні характеристики скоригованої САУ за контуром керування швидкістю стрічки

Визначені виходячи з отриманих динамічних та частотних характеристик показники якості функціонування системи вказані у табл. 2.11.

Таблиця 2.21 – Показники якості скоригованої системи за контуром керування швидкістю стрічки

| № з/п | Тип впливу | $t_{пп}, c$ | $\sigma, \%$ | $\epsilon_{СТ}, \%$ | $L_3, Дб$ | $\varphi_3, ^\circ$ |
|-------|-----------------|-------------|--------------|---------------------|-----------|---------------------|
| 1 | Керуючий вплив | 0.028 | 3 | 0 | ∞ | 160 |
| 2 | Збурюючий вплив | 0 | 0.17 | 0 | — | — |

Машинна модель системи в середовищі Matlab Simulink за контуром керування швидкістю камери, графік перехідного процесу системи за керуючим впливом, частотні характеристики системи наведені на рис. 2.34 – 2.36.

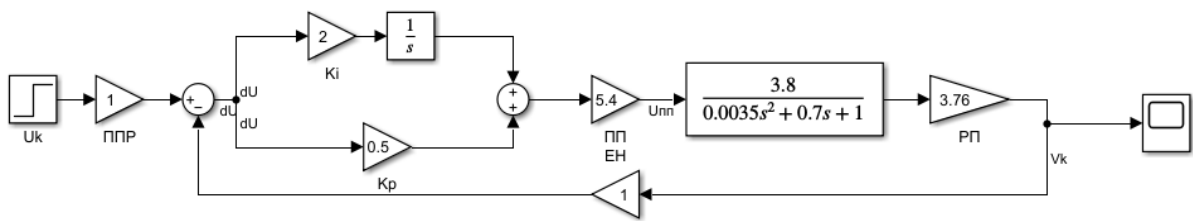


Рисунок 2.34 – Машинна модель скоригованої САУ в середовищі Matlab Simulink за контуром керування швидкістю камери

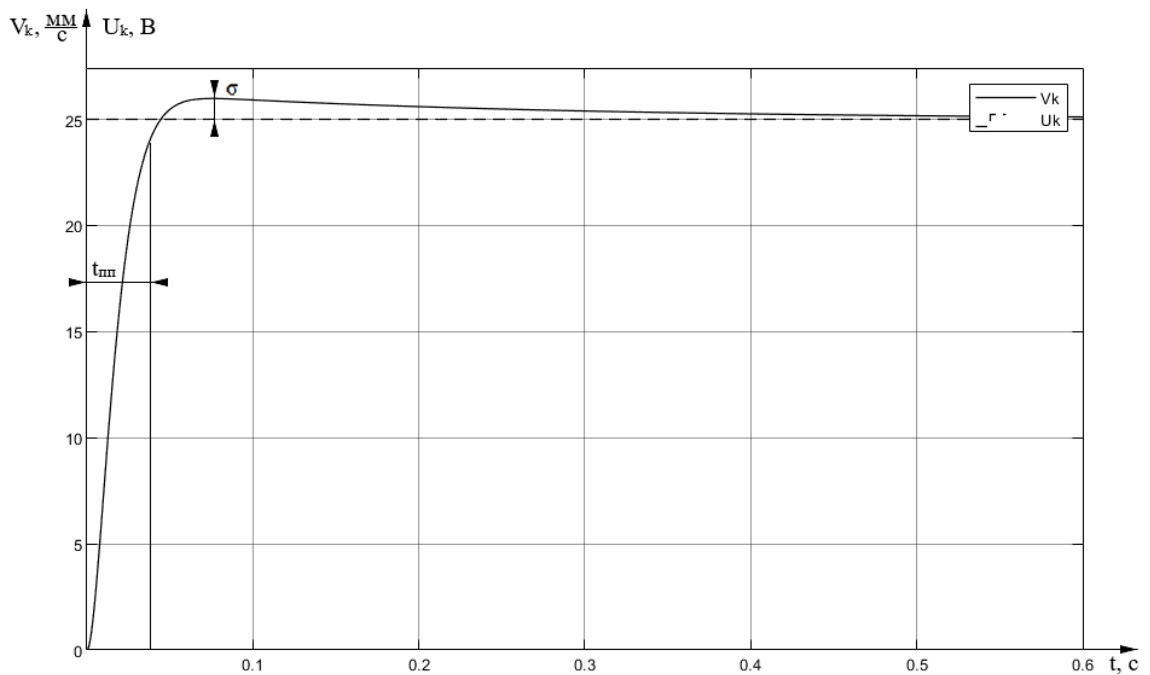


Рисунок 2.35 – Графік перехідного процесу скоригованої системи за контуром керування швидкістю камери

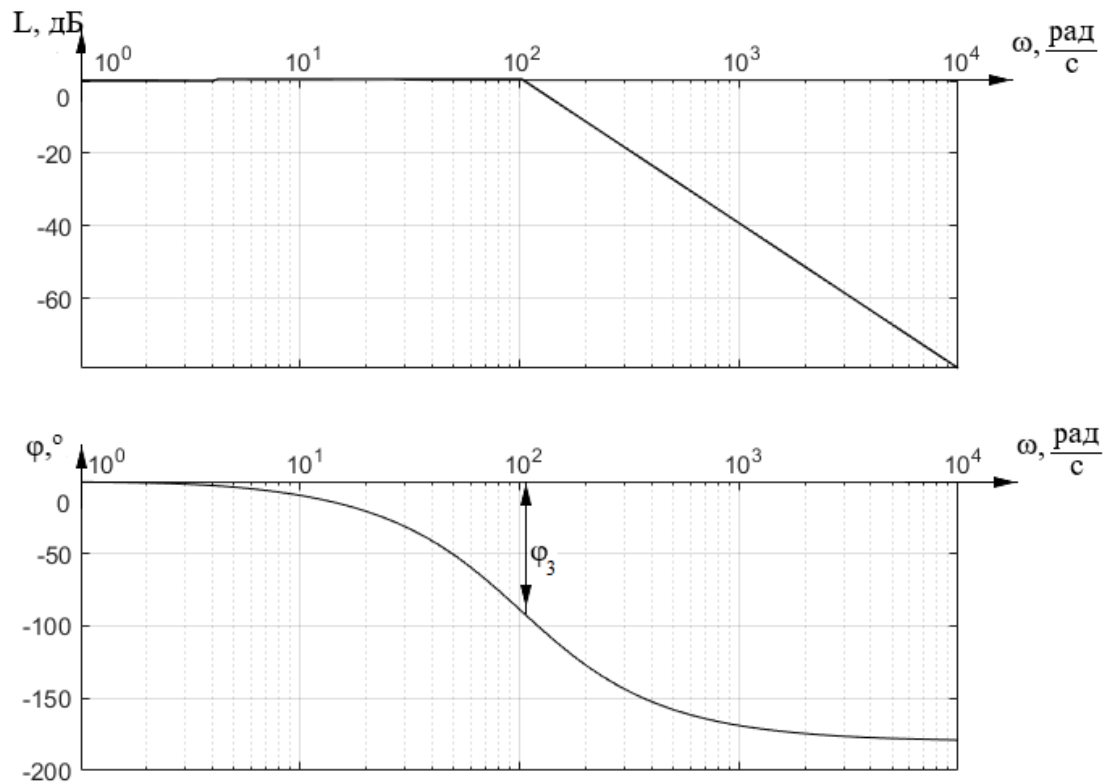


Рисунок 2.36 – Логарифмічно-частотні характеристики скоригованої системи за контуром керування швидкості камери

Визначені виходячи з отриманих динамічних та частотних характеристик показники якості функціонування системи вказані у табл. 2.22.

Таблиця 2.22 – Показники якості скоригованої системи за контуром керування швидкості камери

| Тип впливу | $t_{пп}, c$ | $\sigma, \%$ | $\varepsilon_{ст}, \%$ | $L_3, Дб$ | $\varphi_3, ^\circ$ |
|----------------|-------------|--------------|------------------------|-----------|---------------------|
| Керуючий вплив | 0.036 | 4 | 0 | ∞ | 154 |

2.15 Висновки

У даному розділі проведено аналіз двох контурів об'єкту автоматичного управління що являють собою контур управління лінійною швидкістю стрічки транспортеру та контур управління швидкістю камери, побудовані їх математичні моделі та проведено машинне моделювання роботи об'єкту. Виходячи з результатів машинного моделювання виведені динамічні та частотні характеристики ОАУ, та визначені показники якості, що не

відповідають висунутим вимогам у технічному завданні. Необхідно провести синтез системи автоматичного управління для коригування роботи об'єкту.

Сформовано структуру САУ контурів управління швидкістю стрічки та САУ управління швидкістю камери стенду “Стрічковий транспортер”, проведено дослідження роботи системи шляхом машинного моделювання в середовищі Matlab Simulink та визначені показники якості функціонування системи. Для зміни показників якості до рівня вказаних у вимогах до системи синтезовано коригувальний елемент. Коригувальним компонентом обрано ПІ регулятор, вибір цього типу регулятора обумовлено простотою його реалізації на контролері. Отримані опорні значення коефіцієнтів ПІ регулятора за методом CHR та оптимізовані до необхідного стану системи. Проведено повторне дослідження системи шляхом машинного моделювання, показники якості функціонування системи задовольняють висунуті умови.

3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Задачі контролера і визначення складу вхідної і вихідної інформації

У даній системі контролер використовується для аналізу та обробки вхідних сигналів, керуючого впливу системи у вигляді заданої швидкості стрічки транспортеру та логічних імпульсів, отриманих з оптичних енкoderів на валу стрічки та приводі руху камери. Після обробки вхідних даних розраховується, відповідна до закону управління, керуюча напруга для приводів стрічки та камери.

Інформація про обертання пасивного валу транспортеру та обертання приводу камери надходить у вигляді логічних імпульсів, які формуються у оптичному енкoderі відповідно до положення диску з прорізами, кількість імпульсів відповідають положенню, частота швидкості. З ПК передається число у форматі посилки послідовного порту, яке є керуючим впливом у системі, вихідна аналогова напруга формується на виходах ЦАП що керується контролером. Вхідні та вихідні сигнали контролеру надані у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Вхідні та вихідні сигнали контролеру

| Сигнал | Напрямок | Тип |
|--------------------------|----------|-----------------------------------|
| Швидкість стрічки | Вхідний | Логічні імпульси |
| Швидкість камери | Вхідний | Логічні імпульси |
| Кінцеве положення камери | Вхідний | Логічні імпульси |
| Задаюча швидкість | Вхідний | Цифровий пакет послідовного порту |
| Керуючий вплив стрічки | Вихідний | Аналоговий сигнал |
| Керуючий вплив камери | Вихідний | Аналоговий сигнал |

3.2 Розробка алгоритмічного забезпечення

Контролер лише змінює вихідний сигнал на своїх контактах та розрахунки відповідно до закладеної до нього програми. Для коректного відпрацювання закону управління необхідне чітке дотримання контролером періоду квантування дискретного регулятора, для чого таймер контролеру відраховує імпульси кварцу під напругою та підіймає флаг, що означає

необхідність виконання розрахунку вихідного сигналу, після певної кількості імпульсів. Алгоритм програми контролера представлений на рис. 3.1.

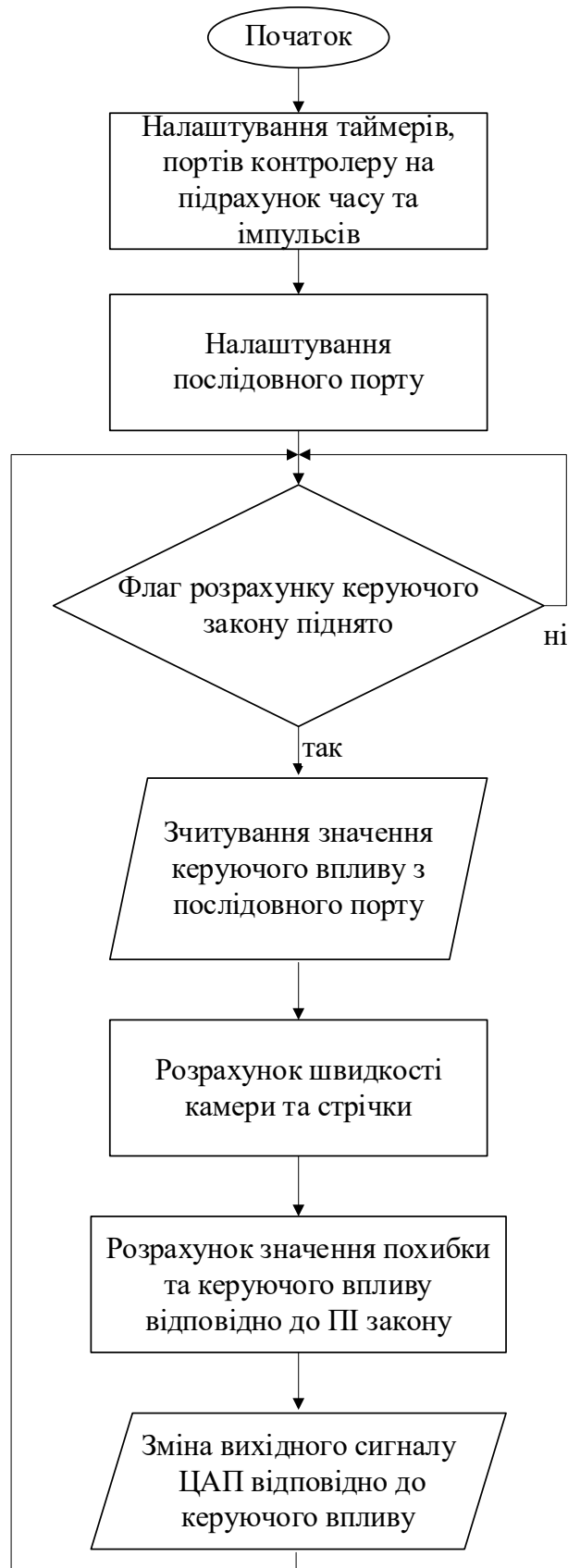


Рисунок 3.1 – Алгоритм програми контролера

3.3 Розробка структури цифрового контролера

Сформовану функціональну схему комунікацій контролерів, що представлена на рис. 3.2.

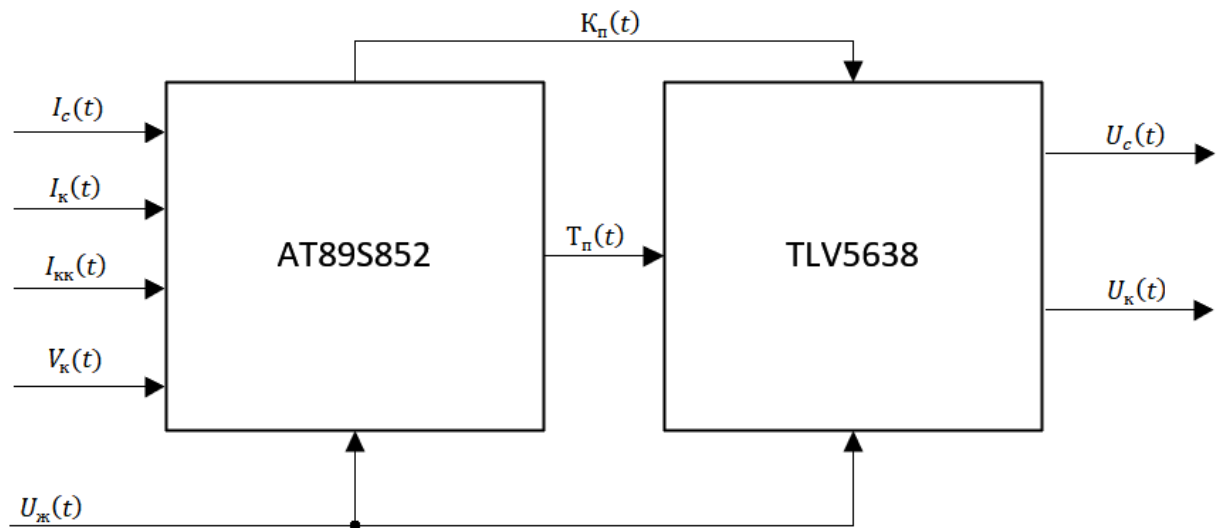


Рисунок 3.2 – Функціональна схема комунікацій контролеру

Позначення, що зображені на рис. 3.2 представлені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Позначення функціональної схеми комунікацій контролеру

| Позначення | Пояснення |
|-------------------|--|
| $I_c(t)$ | імпульси енкодору приводу стрічки |
| $I_k(t)$ | імпульси енкодору приводу камери |
| $I_{kk}(t)$ | імпульси датчиків кінцевого положення камери |
| $V_k(t)$ | керуючий вплив швидкості стрічки, $\frac{\text{мм}}{\text{с}}$ |
| $U_{\text{ж}}(t)$ | напруга живлення контролеру, В |
| $K_{\text{п}}(t)$ | задаюча напруга до перетворювача, В |
| $T_{\text{п}}(t)$ | тактуючі імпульси перетворювача |
| $U_c(t)$ | керуюча напруга приводу стрічки, В |
| $U_k(t)$ | керуюча напруга приводу камери, В |
| AT89S8252 | мікроконтролер |
| TLV5638 | двоканальний ЦАП |

Виходячи з функціональної схеми комунікацій контролера, розроблено принципову електричну схему комунікацій контролера, що представлена на рис. 3.3.

Мікроконтролерний модуль складається з контролера AT89S8252 до якого занесено розроблену програму, ЦАП TLV5638 що перетворює сигнали з контролера на аналогову напругу керування приводами стану, часозадавального ланцюга яких забезпечує тактування роботи контролера та роз'ємів необхідних для комунікації за станом, ПК та програмуванням й живленням контролера.

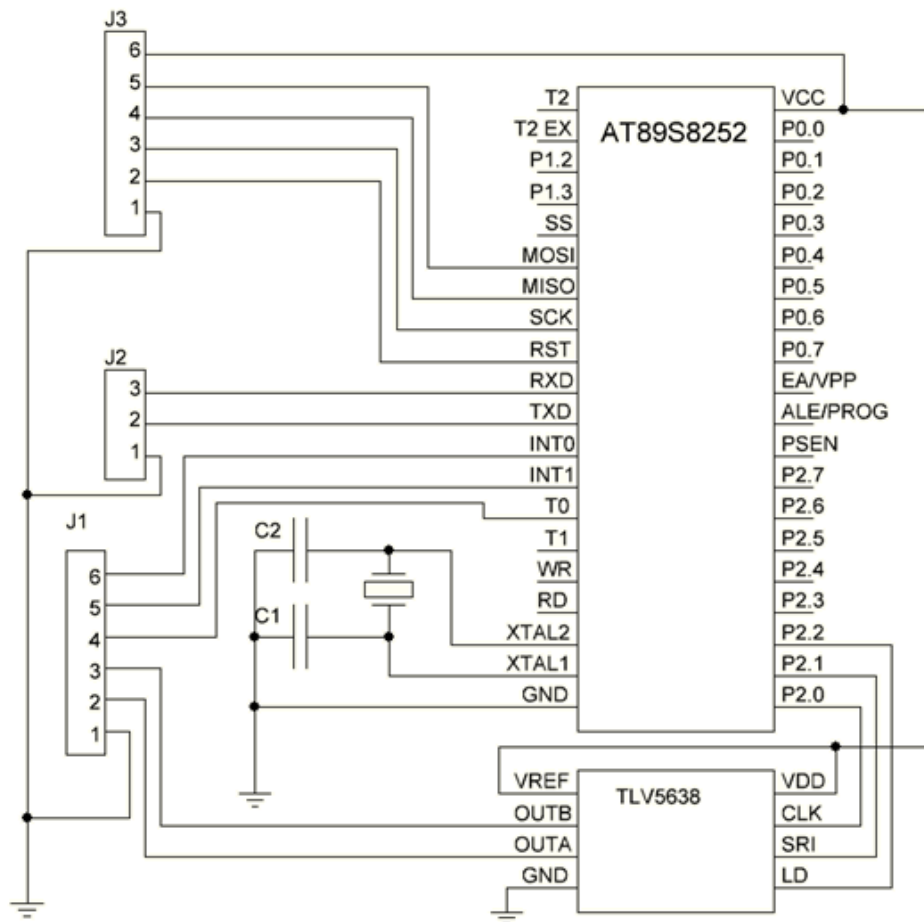


Рисунок 3.3 – Принципова електрична схема комунікацій контролера

3.4 Висновки

У даному розділі розроблено алгоритм програми контролера, який дозволить виконувати поставлені задачі, виходячи з алгоритму та структури ОАУ створена функціональна та принципова електрична схема комунікацій контролера, які дозволять виконувати поставлені задачі.

4 ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА

4.1 Задачі і методи проведення досліджень

Для транспортеру було відібрано об'єкти за кольором та формою. Оскільки поставлена задача є двовимірною ідентифікацією об'єкту за допомогою двох камер, то потрібно розпізнавати об'єкт за відповідним кольором та формою, тому необхідно провести дослідження способів виділення контурів об'єктів за допомогою способів технічного зору та розробити програмний додаток, що проводить ідентифікацію вантажу, виходячи з його кольору та форми.

У дослідницькій частині дипломної роботи проводиться дослідження засобів ідентифікації об'єкту переміщення транспортером за формою та кольором.

Розроблена програма ідентифікації вантажу має коректно та точно класифікувати об'єкти та робити це за мінімально можливий проміжок часу, ця вимога обумовлена тим, що система функціонує у реальному часі та зменшення часу ідентифікації вантажу призведе до збільшення пропускнувості системи.

Розробка системи технічного зору буде проводитися на мові Python в середовищі PyCharm. Основна обробка зображень буде проводитися за допомогою бібліотеки OpenCV, що має багато способів для аналізу, класифікації та обробки зображення.

4.2 Програма дослідження

Для початку було проведено дослідження виділення контуру за методом Canny та ВЧ-фільтрації для більш чіткого зображення, результати якого представлені на рис. 4.1, але даний метод не розповсюджується для ідентифікації кольору, лише межі.

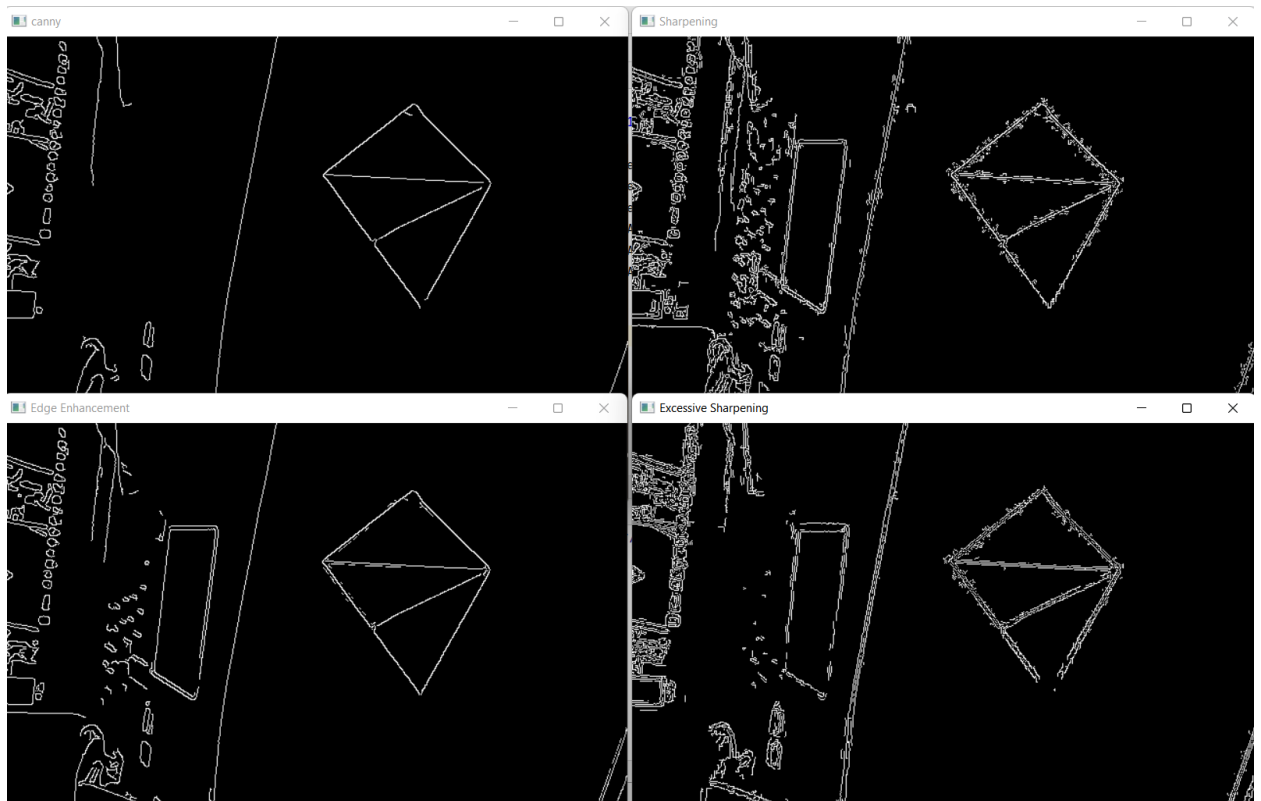


Рисунок 4.1 – Результати обробки

Для початку було переведено інтерактивне зображення з простору BGR в простір HSV, бо в цьому просторі краще підібрати пороги. Цей простір складається з трьох компонентів: Hue, Saturation, Value. Hue визначає кут кольору в кольоровому колі RGB. Saturation – насиченість – контролює кількість використаного кольору. Колір зі 100% насиченістю буде найчистішим із можливих, а 0% насиченості дає відтінки сірого. Value відповідає за яскравість кольору. Колір з яскравістю 0% є чисто чорним, а колір зі 100% яскравістю не містить чорного кольору. Важливо відзначити, що три виміри колірної моделі HSV взаємозалежні. Якщо для параметра значення кольору встановлено значення 0%, кількість відтінку та насиченості не має значення, оскільки колір буде чорним. Так само, якщо для насиченості кольору встановлено значення 0%, відтінок не має значення, оскільки колір не використовується. Оскільки розмір відтінку є круглим, колірну модель HSV найкраще зобразити у вигляді циліндра, що представлена на рис. 4.2 [3].

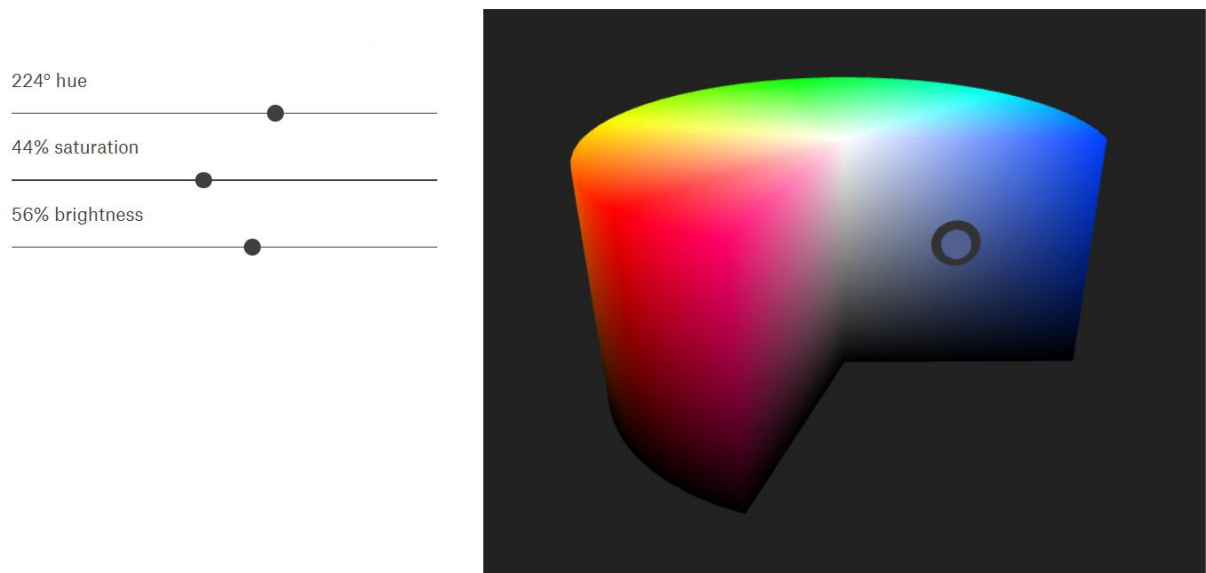


Рисунок 4.2 – Колірна модель HSV

Для подальшої обробки було проведено розмиття методом Blur для того, щоб при обробці не були захвачені не потрібні пікселі, лише зображення об'єкту однорідного кольору.

Було проведено бінарізацію зображення для виділення контурів по кольору, використовуючи функцію `inRange`[4]. Пороги були підібрані для кожного кольору об'єкту – синій, зелений та жовтий. Програма для підбору порогів представлена в лістингу Г.1.

Для виділення контурів було використано метод `findContours`, що витягує контури із бінарного зображення, використовуючи алгоритм: контур представляє собою послідовність прилеглих одне до одного пікселів, що знаходяться на границі між різними значеннями на бінарному зображенні[5].

4.3 Результати досліджень

Блок-схема алгоритму ідентифікації форми об'єкту на зображенні наведена на рис. 4.3.

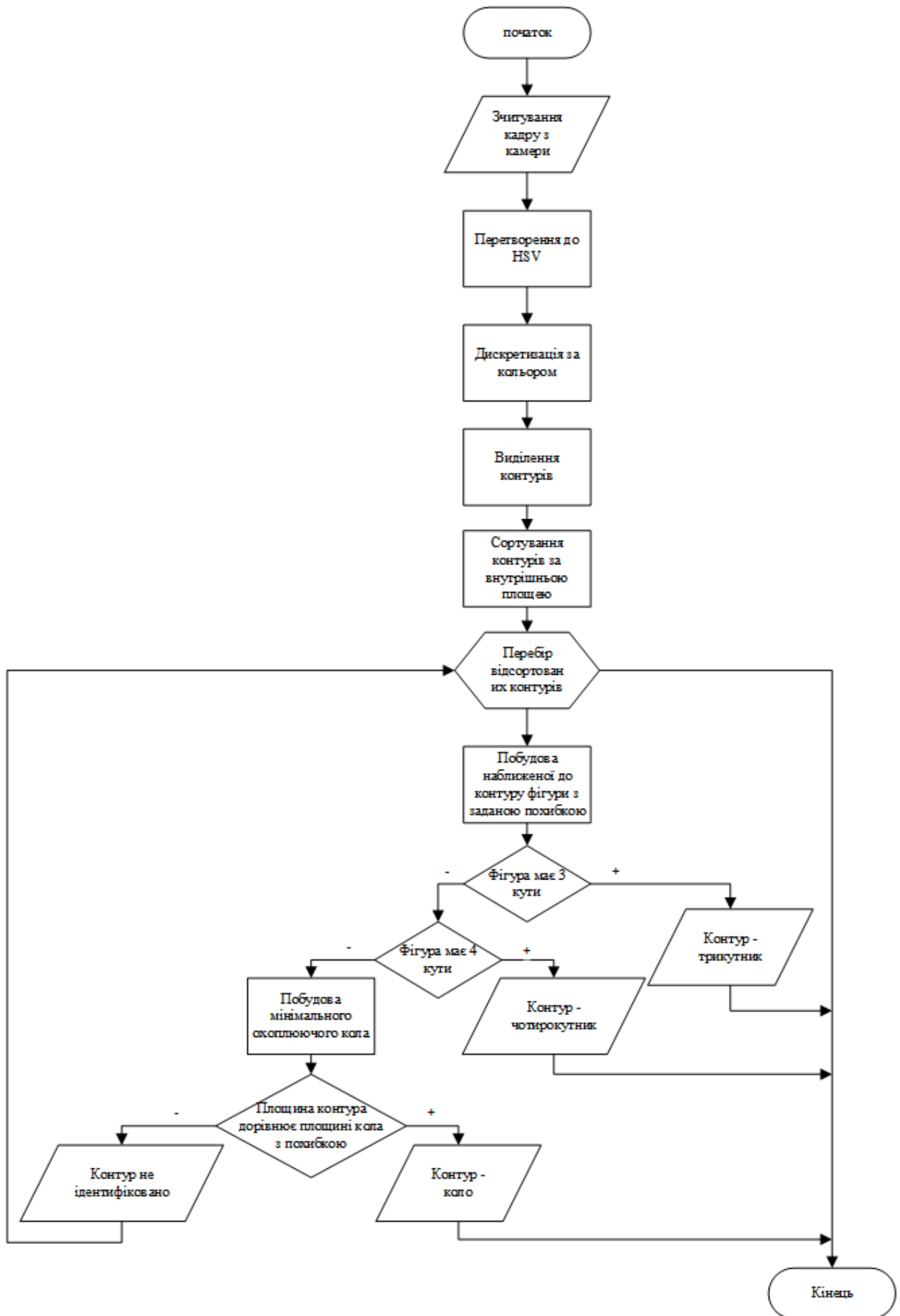


Рисунок 4.3 – Блок-схема алгоритму ідентифікації об'єкту

В результаті дослідження було створено додаток, що дозволяє ідентифікувати зображення об'єкта за кольором та формою. Результати досліджень представлені на рис. 4.4 – 4.8.

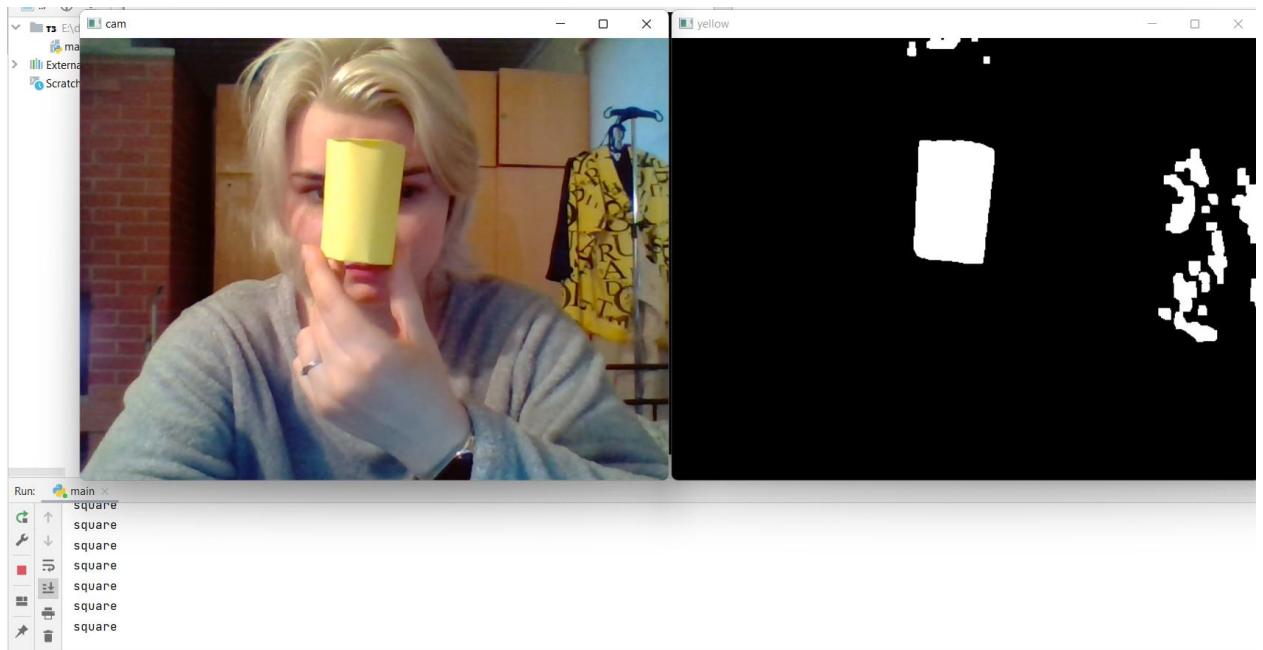


Рисунок 4.4 – Бінаризоване зображення жовтого об'єкту в одній площині

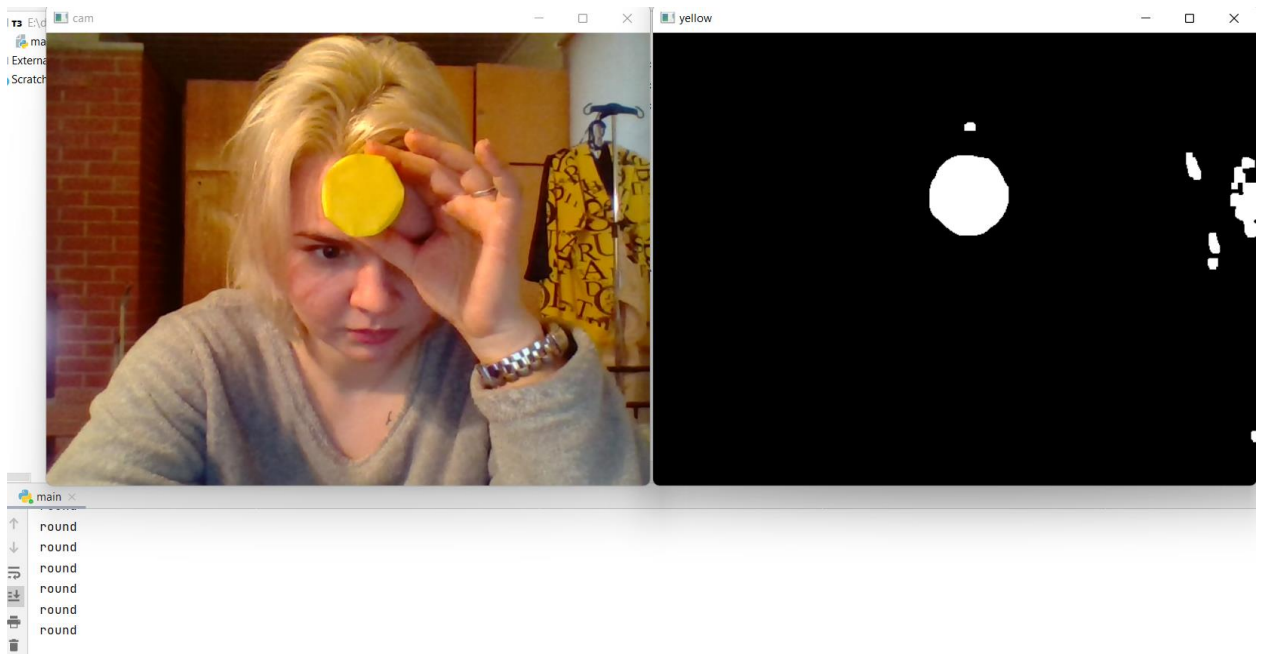


Рисунок 4.5 – Бінаризоване зображення жовтого об'єкту в другій площині

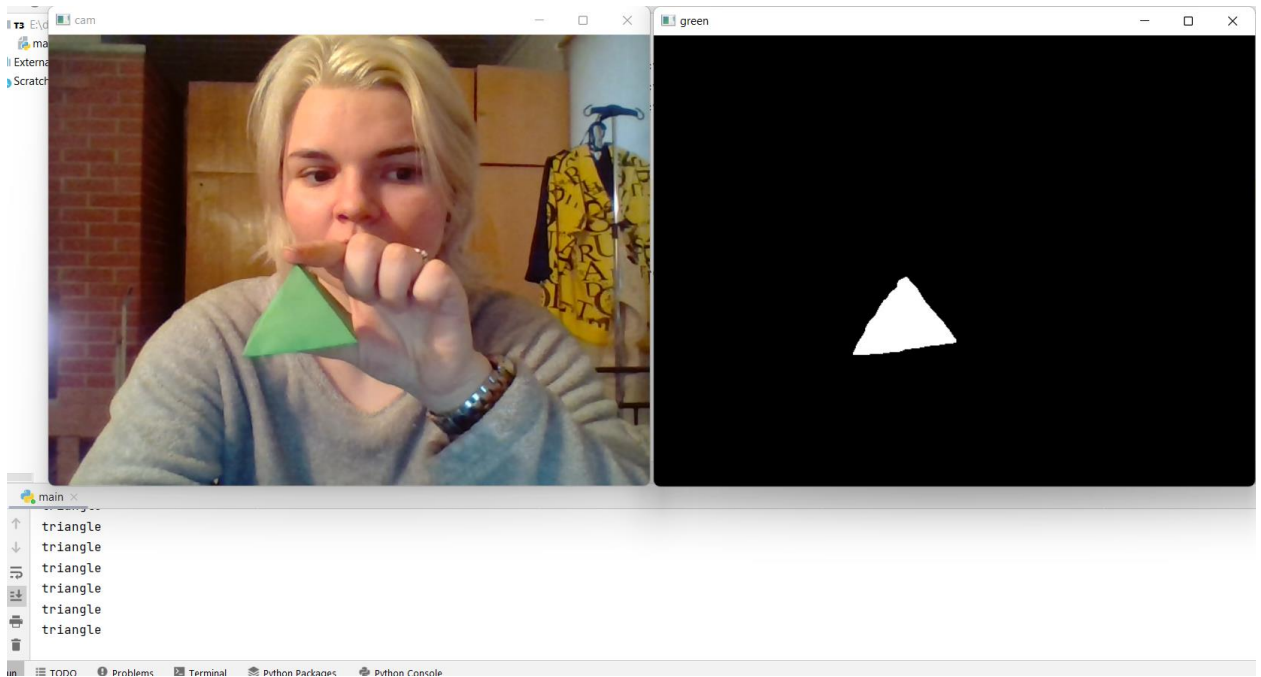


Рисунок 4.6 – Бінаризоване зображення зеленого об'єкту в одній площині

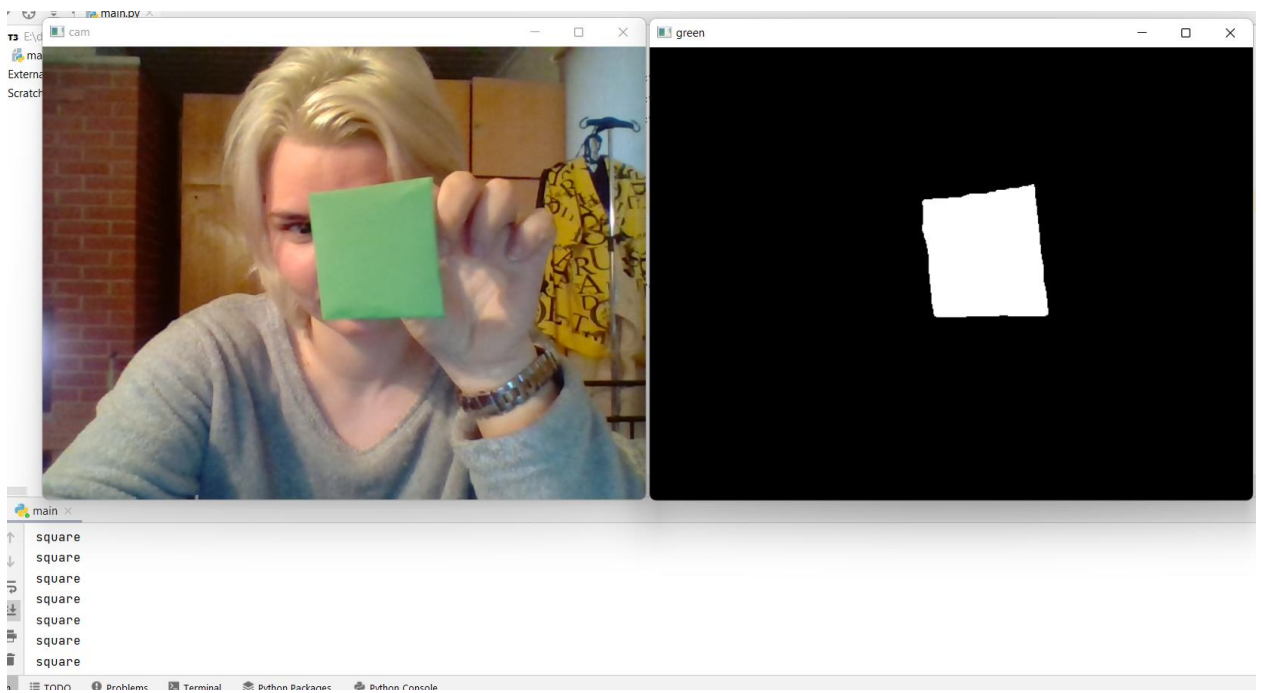


Рисунок 4.7 – Бінаризоване зображення зеленого об'єкту в другій площині

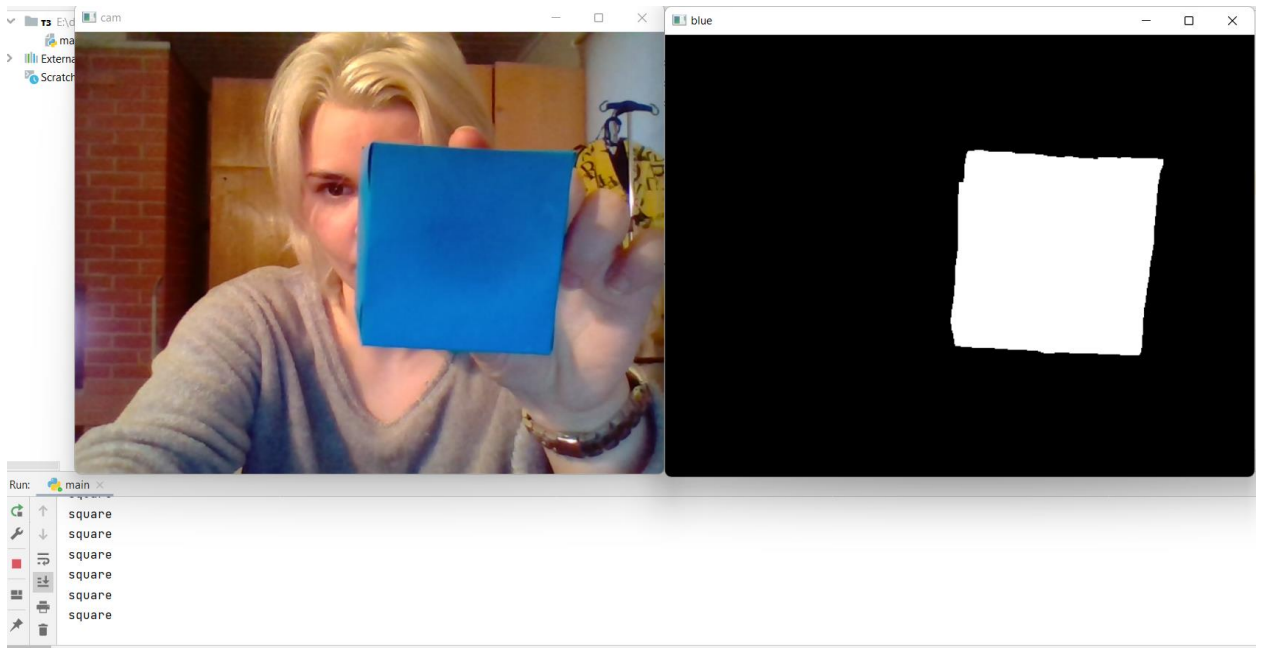


Рисунок 4.8 – Бінаризоване зображення синього об'єкту

На даному випадку коректно виявлено форму проекції об'єкту. Програмний код розробленого додатку наведено у лістингу В.1 додатку В.

4.4 Висновки

В даному розділі було проведено дослідження методів ідентифікації та розроблено додаток для класифікації вантажу.

5 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

5.1 Задачі і засоби виконання експериментальної розробки

Метою проведення експерименту є перевірка роботи додатку для ідентифікації об'єктів транспортування за кольором та формою. Для перевірки використовувався ПК, розроблено програмне забезпечення, дві камери.

5.2 Опис лабораторної установки

В експериментальному дослідженні працездатність перевірялось здатність розробленого додатку ідентифікувати об'єкти транспортування. Перевірка проводилась на обмеженій вибірці, що представляла собою синій куб, жовтий циліндр та зелену піраміду, що представлені на рис. 5.1.

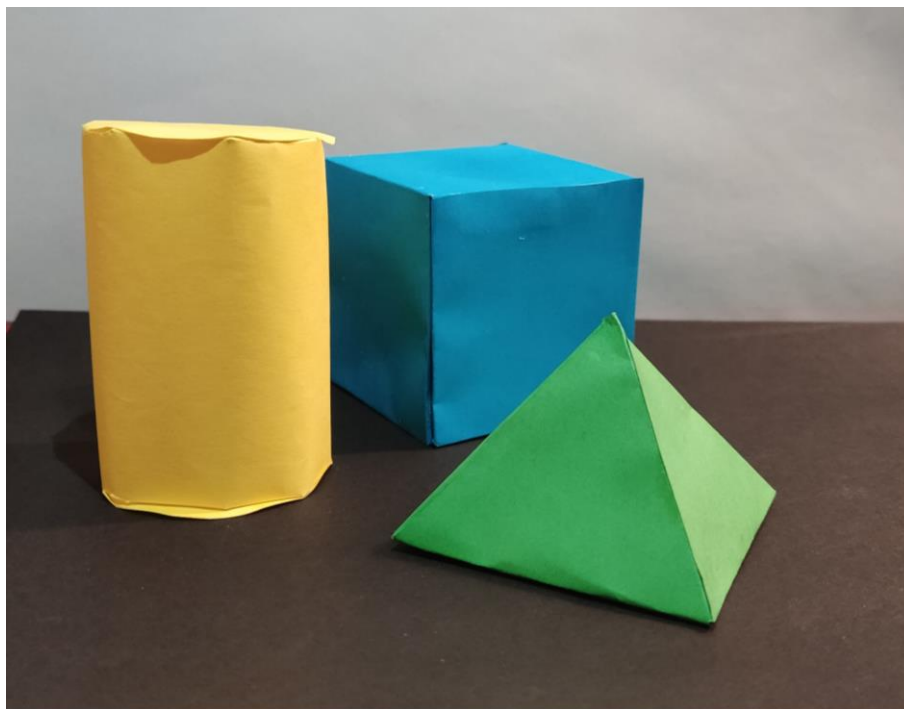


Рисунок 5.1 – Об'єкти транспортування

Програма виконувалася на ПК до якого було під'єднано дві камери. Одна камера знаходилася перпендикулярно до об'єкту в горизонтальній площині, а інша знаходилася перпендикулярно до об'єкту в вертикальній площині.

5.3 Аналіз результатів проведення експериментів і впровадження розробки

Під час проведення експерименту усі розглянуті об'єкти ідентифікації було визначено коректно за зображенням кожної з камер, приклади ідентифікації об'єктів представлені на рис. 5.2 – 5.4.

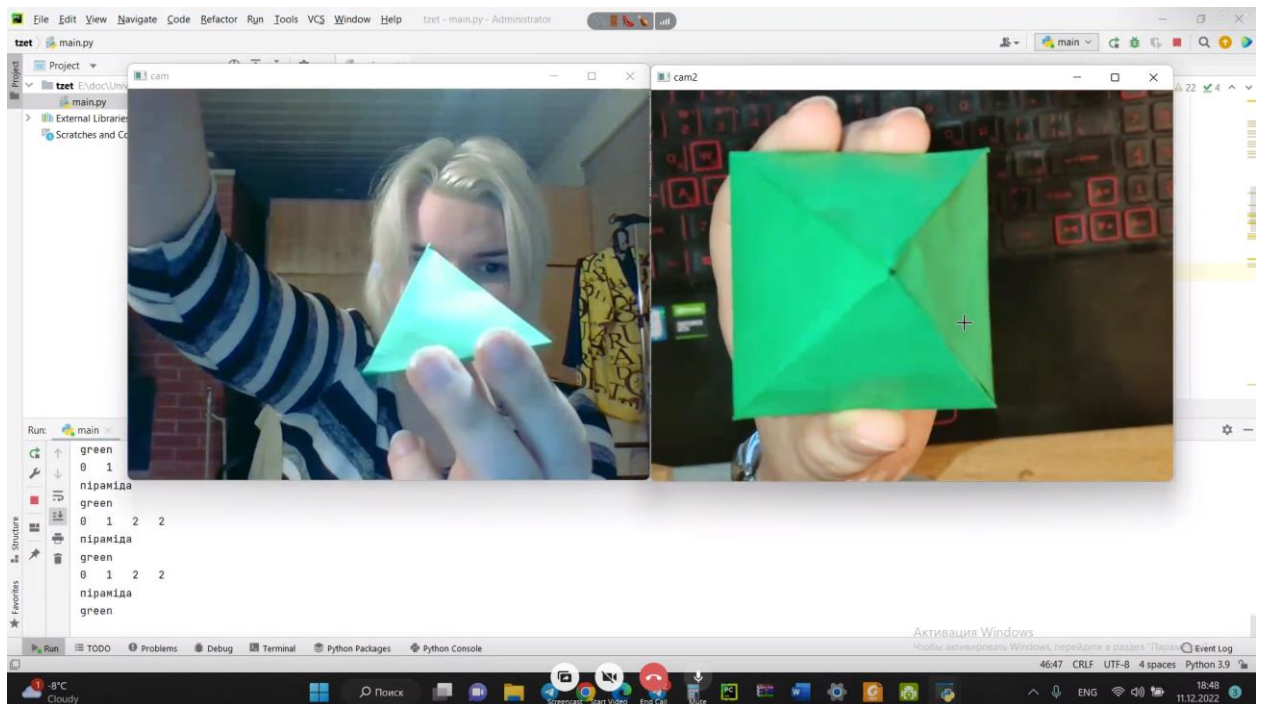


Рисунок 5.2 – Ідентифікація об'єкту зелена піраміда

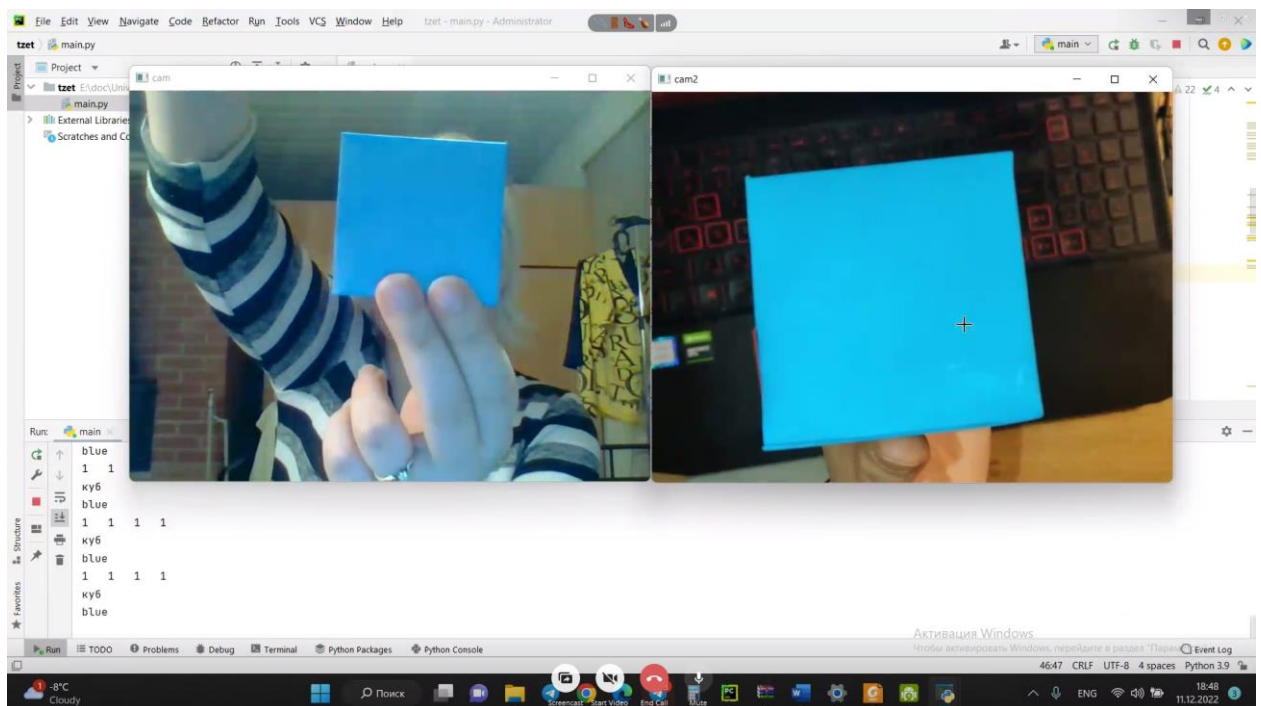


Рисунок 5.3 – Ідентифікація об'єкту синій куб

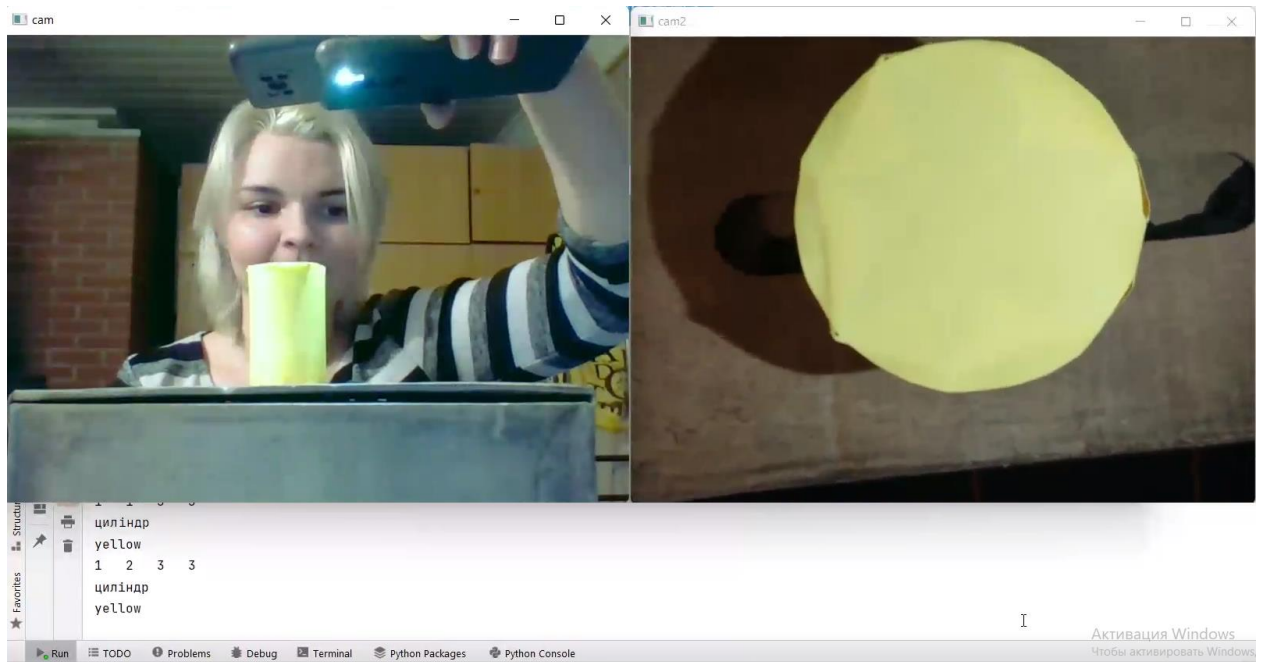


Рисунок 5.4 – Ідентифікація об'єкту жовтий циліндр

В ході експерименту виникли похибки у ідентифікації жовтого циліндру в зв'язку з тим, що він тримався в заданому положенні людськими руками, що перешкоджали виділенні контуру об'єкту шляхом фільтрації за кольором. Проте після заміни способи закріплення більш відповідного до умов реальної експлуатації ідентифікація проходила коректно.

5.4 Висновки

В даному розділі було проведено експериментальне дослідження роботи системи ідентифікації об'єктів транспортування за кольором та формою.

6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

6.1 Основні поняття і положення

В економічній частині даного проекту розглядається розділ собівартості розробки САУ стрічкового транспортеру.

Далі розглядається собівартість розроблюваного макету даного виробу, тобто виражена в грошових одиницях сума усіх витрат підприємства на виробництво та реалізацію продукції. Собівартість продукції складається з ряду найменувань витрат. Сюди входять: витрати на основні матеріали, на комплектуючі вироби, пряма та додаткова заробітна плата, витрати на утримання та експлуатацію обладнання, утримання транспорту, а також цілий ряд загальнодержавних аналогів та відрахувань.

6.2 Опис виробу

Виріб являє собою систему автоматичного управління стрічковим транспортером за контурами швидкості стрічки та швидкості камери. Система реалізована на основі мікроконтролеру AT89S8252.

6.3 Сегментування ринку

Сегментація ринку - це процес поділу споживачів на групи з урахуванням різних принципів і факторів сегментації. У процесі сегментації виділяють сегменти ринку.

Розроблювана система поставляється заводам, підприємствам, які використовують стрічкові транспортери з необхідністю класифікації вантажу. Оскільки дані системи виробляються на замовлення, то сегментування ринку доцільно проводити за кінцевим замовником.

Основною характеристикою сегмента є ємність - кількість виробів, які можуть бути продані в рік.

Повна потреба сегменту розраховується з урахуванням конкретних особливостей товару і сегментів. Для багатьох видів товарів індивідуального і промислового призначення $S_{1пол.i}$ можна розрахувати по наступній формулі:

$$S_{1пол.} = N_1 \cdot Q_1 \cdot m_1, \quad (6.1)$$

де: N_1 – кількість підприємств споживачів виробу в і-му сегменті;

Q_1 – середня річна програма виробів в і-му сегменті, для яких буде постачатись розглянутий товар;

m_1 – кількість комплектуючих у одному виробі (1 шт.)

Результати аналізу ринку на потребу сегменту наведені у табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Сегментування і розрахунок повної ємності ринку

| № з/п | Виробник | Завод-виробник | | | |
|-------|----------------|----------------|------------|-----------|---------------|
| | | N_1 | Q_1 , шт | m_1 ,шт | S_1 ,шт/рік |
| 1 | ООО«Альбатрос» | 1 | 70 | 1 | 70 |
| 2 | АВАКС | 1 | 40 | 1 | 40 |
| 3 | SpaiTech | 1 | 40 | 1 | 40 |
| 4 | Разом | 3 | 130 | 3 | 150 |

Виходячи з показників наведених у табл. 6.1. повна ємність ринку складає $150 \frac{\text{шт}}{\text{рік}}$.

6.4 Аналіз конкурентоспроможності

Конкурентоспроможність товару – це ступінь його відповідності обраному ринку з комерційних, технічних і економічних показників, забезпечуючи можливість збуту товару на цьому ринку. Це ті характеристики, які вигідно вирізняють даний товар від товарів-конкурентів.

Проведемо аналіз конкурентоспроможності нового виробу, за допомогою узагальненого показника якості, який враховує всю систему основних одиничних показників, і характерний для даного пристрою.

У процесі аналізу ринку збуту були виявлені основні конкуренти на українському ринку, такі як PackTech, ENGITRUST. Головною відмінністю їх виробів від розроблюваної системи є відсутність контролю засобами технічного зору, які представляються окремо, після чого вся система потребує додаткового налагоджування.

При порівнянні варіантів використовується наступний порядок розрахунку.

1. Виділяються еталонні значення окремих показників якості і формується гіпотетичний варіант.

Гіпотетичний варіант - штучно створений варіант, в якому кожен показник має найкраще можливе значення.

2. Кожному показнику якості присвоюємо коефіцієнт вагомості, в сумі рівні 1.3.

Розраховується відносне значення одиничних показників шляхом порівняння P_{ij} із $P_{i_{гип}}$ з урахуванням того, що для гіпотетичного варіанти відносні показники дорівнюють одиниці ($K_{i_{гип}} = 1$), для інших $K_{ij} \leq 1$.

$$K_{ij} = \frac{P_{ij}}{P_{гип}}, \quad (6.2)$$

де: P_{ij} – абсолютні значення і-го показника для j-го варіанту;

$P_{гип}$ – абсолютні значення і-го показника для гіпотетичного варіанти

Отримані результати наведені в табл. 6.2.

Виходячи з результатів порівняльного аналізу, найбільше значення показника якості має розробляється виріб. Найближчим конкурентом є продукція PackTech. Рівень якості пропонованого виробу порівняно з цим конкурентом становить:

$$Y_{н-б} = Y_{1-2} = \frac{K_1^0}{K_2^0} = \frac{0.94}{0.82} = 1.14. \quad (6.3)$$

Порівняння виробів, присутніх на українському ринку, показало, що розробляється продукт забезпечує найбільшу точність стабілізації.

За отриманими рівнем якості можна зробити висновок, що становище на ринку вироби, буде стійким.

Таблиця 6.2 – Аналіз конкурентоспроможності

| Показники якості | Коефіцієнт вагомості | Абсолютні значення показників якості | | | | Відносні значення показників якості | | | | | | | |
|---|----------------------|--------------------------------------|----------|---------|--------------|-------------------------------------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | |
| | | Розроблюваній | PackTech | ENGITRU | Гіпотетичній | K_{i1} | $K_{i1}b_i$ | K_{i2} | $K_{i2}b_i$ | K_{i3} | $K_{i3}b_i$ | K_{i4} | $K_{i4}b_i$ |
| Точність стабілізації | 0.4 | 10 | 8 | 7 | 10 | 1.0 | 0.4 | 0.8 | 0.32 | 0.7 | 0.28 | 1.0 | 0.4 |
| Здатність підлаштуватися під зміну параметрів | 0.15 | 10 | 8 | 7 | 10 | 1.0 | 0.15 | 0.8 | 0.12 | 0.7 | 0,1 | 1.0 | 0.15 |
| Швидкодія | 0.25 | 9 | 9 | 6 | 10 | 0.9 | 0.22 | 0.9 | 0.22 | 0.6 | 0.15 | 1.0 | 0.25 |
| Складність реалізації | 0.1 | 8 | 9 | 5 | 10 | 0.8 | 0.08 | 0.9 | 0.09 | 0.5 | 0.05 | 1.0 | 0.1 |
| Напрацювання на відмову | 0.1 | 9 | 7 | 10 | 10 | 0.9 | 0.09 | 0.7 | 0.07 | 1.0 | 0.1 | 1.0 | 0.1 |
| Разом | 1 | | | | | | 0.94 | | 0.82 | | 0.68 | | 1.00 |

6.5 Розрахунок собівартості і ціни виробу

Собівартість продукції складається з ряду найменувань витрат. Сюди входять: розробники і їх денні оклади; трудомісткість робіт; основна заробітна плата; матеріали і покувні вироби.

Для розробки виробу необхідна участь наступних робочих, таких як: керівник, розробник, складальник, монтажник. Тривалість робочого місяця в середньому вважається 22 дня. Склад виконавців наведено в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 - Склад виконавців роботи

| № з/п | Посада | Посадові оклади, грн | |
|-------|-------------|----------------------|---------|
| | | Денні | Місячні |
| 1 | Керівник | 390 | 8580 |
| 2 | Розробник | 350 | 7700 |
| 3 | Монтажник | 310 | 6820 |
| 4 | Складальник | 310 | 6820 |
| 5 | Разом | 1360 | 29920 |

Денної посади оклад складу виконавців робіт становить: керівник – 390 грн., розробник – 350 грн., монтажник – 310 грн., складальник – 310 грн.

Розрахунок трудомісткості робіт для розробки САУ представлений в таблиці 6.4.

Після чого необхідно обчислити основну заробітну плату безпосередньо виконавців розробки системи автоматичного управління, з урахуванням трудовитрат, кількості виконавців і середньоденної заробітної плати. Для цього заробітну плату працюючих виконавців і заробітну плату за день, треба помножити на кількість днів, тоді буде отримано:

$$ОЗП = \sum N_i * ЗП_{ср}, \quad (6.4)$$

де: N_i – кількість днів, відпрацьовані i -ми виконавцями за стадіями,
 $ЗП_{ср}$ – денні оклади i -х виконавців.

Таким чином, основна заробітна плата за місяць за формулою (6.5) становить:

$$ОЗП = 390 * 11 + 350 * 20 + 310 * 16 + 310 * 17 = 21520 \text{ грн.} \quad (6.5)$$

Таким чином, основна заробітна плата за місяць становить 21520 грн.

Таблиця 6.4 – Розрахунок трудомісткості робіт

| Вид робіт | Тривалість, дні | Трудомісткість, чол дні | Керівник | Розробник | Складальник | Монтажник |
|---|-----------------|------------------------------------|----------|-----------|-------------|-----------|
| Постановка задачі | 1 | 2 | + | + | | |
| Розробка ТЗ | 2 | 4 | + | + | | |
| Погодження та затвердження ТЗ | 2 | 4 | + | + | | |
| Розробка ескізного проекту | 4 | 8 | + | + | | |
| Комплектування (покупка і доставка необхідних деталей) | 4 | 4 | | | + | |
| Збірка і монтаж комплектації | 3 | 6 | | | + | + |
| Збори продукту | 4 | 12 | | + | + | + |
| Налагодження продукту | 5 | 5 | | | | + |
| Перевірка відповідності продукту | 2 | 4 | + | + | | |
| Випробування і здача продукту в експлуатацію | 5 | 15 | | + | + | + |
| Разом | 32 | 64 | 11 | 20 | 16 | 17 |

Далі потрібно зробити розрахунок додаткової заробітної плати, яка дорівнює 15% від основної заробітної плати:

$$\begin{aligned} \text{ДЗП} &= \text{ОЗП} * 15\%; \\ \text{ДЗП} &= 21520 * 0.15 = 3228 \text{ грн.} \end{aligned} \quad (6.6)$$

Після цього розрахуємо вартість покупки виробів і матеріалів, необхідних для виготовлення системи управління. Перелік покупних виробів складається з урахуванням переліку всіх комплектуючих елементів системи. Перелік покупних виробів і матеріалів заведено в таблицю 6.5. Ціни наведені в гривнях.

Таблиця 6.5 – Перелік покупних виробів і матеріалів

| № з/п | Назва матеріалів | Кількість виробів, шт. | Ціна, грн./шт. |
|-----------------------|--------------------------|------------------------|----------------|
| 1 | Печатна плата | 1 | 95 |
| 2 | Мікроконтролер АТ89S8252 | 1 | 180 |
| 3 | Роз'єми | 3 | 10 |
| 4 | ЦАП | 1 | 50 |
| Ціна покупних виробів | | | 355 |

Таким чином, вартість покупних виробів для системи позиціонування становить 355 грн.

Для виготовлення САП використовувалося певне обладнання, вартість якого наведено в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 – Вартість основних засобів

| № з/п | Основні засоби | Кількість, шт. | Ціна, грн. |
|-------|-------------------------|----------------|------------|
| 1 | Робочий стіл з лещатами | 1 | 3150 |
| 2 | Лампа | 1 | 300 |
| 3 | Стілець | 4 | 400 |
| 4 | ПК | 1 | 15000 |
| 5 | Паяльна установка | 1 | 1200 |
| 6 | Випалювач | 1 | 735 |
| 7 | Всього, Сп | 9 | 21985 |

Також необхідно зробити розрахунок амортизації (Ам), яка дорівнює 25% від Об.

$$A = \frac{Об * 25\%}{Дм * М} * Пр = \frac{21985 * 0.25}{22 * 12} * 32 = 666.21 \text{ грн}, \quad (6.7)$$

де: Об – вартість усього обладнання;

Дм – кількість робочих днів у місяці;

М – кількість місяців в року;

Пр – тривалість виконання роботи в днях.

Розрахунок витрат виробництва по калькуляційних статтях витрат, наведені у таблиці 6.7.

Таблиця 6.7 – Собівартість і ціна виробу за статтями

| № | Статті | Сума, грн. | Примітки |
|----|---------------------------------|------------|----------------------|
| 1 | Основна заробітна плата (ОЗП) | 29920 | |
| 2 | Додаткова заробітна плата (ДЗП) | 4488 | 15% від ОЗП |
| 3 | Єдиний соціальний податок | 7569.76 | 22%*(ОЗП+ДЗП) |
| 4 | Матеріали й куплені вироби | 355 | Із табл. 6.4 |
| 5 | Амортизація | 666.21 | 25%от Сп/ Нднів* Пр |
| 6 | Позавиробничі витрати | 11968 | 40% від ОЗП |
| 7 | Собівартість (С) | 54966.97 | п.1+п.2+п.3...п.6 |
| 8 | Прибуток (П) | 10993.40 | 20% від С |
| 9 | Ціна без НДС (ПДВ) | 65960.37 | П + С |
| 10 | НДС (ПДВ) | 13192.08 | 20% від ціни без НДС |
| 11 | Ціна з НДС (ПДВ) | 79152.45 | п.9 + п.10 |

Таким чином, ціна лічильника без урахування ПДВ становить – 65960.37 грн., а з урахуванням ПДВ – 79152.45грн.

Рентабельність продукції (норма прибутку) - це відношення загальної суми прибутку до витрат виробництва і реалізації продукції (відносна величина прибутку, що припадає на 1 грн. Поточних витрат), дорівнює:

$$P = \frac{Ц - С}{С} * 100\% = \frac{79152.45 - 54966.97}{54966.97} * 100\% = 44\%, \quad (6.7)$$

де: Ц – ціна одиниці продукції;

С – собівартість одиниці продукції.

Виробнича собівартість визначається за формулою:

$$BC = \frac{С}{КП} = \frac{54966.97}{150} = 366.45, \quad (6.8)$$

де: КП – кількість замовлених екземплярів.

Розрахуємо величину оптової ціни одного виробу ЦПП (без врахування ПДВ):

$$\text{ЦПП} = \text{BC} \cdot \left(1 + \frac{\text{P}}{100}\right) = 366.45 * \left(1 + \frac{44}{100}\right) = 527.69 \text{ грн} \quad (6.9)$$

6.6 Розрахунок точки безбитковості

При впровадженні у виробництво приладу важливо знати чи стане цей виробничий процес рентабельним і чи буде він приносити бажаний прибуток. Для цього необхідно визначити точку безбитковості (ТБ).

Для підтвердження стійкості проекту необхідно, щоб значення ТБ було менше значень нормальних обсягів виробництва. Чим далі від них значення ТБ (у відсотковому співвідношенні), тим стійкіше проект.

Дохід від реалізації виробів знаходимо множенням ціни одного ЦПП на кількість замовлених екземплярів КП:

$$\text{ДР} = \text{ЦПП} \cdot \text{КП} = 527.69 \cdot 150 = 79153.20 \text{ грн.} \quad (6.10)$$

Аналітичний розмір критичної програми (РКП) розраховують діленням постійних витрат $\text{РП}_{\text{ост}}\text{В}$ на різницю між ціною одного виробу ЦПП і змінними витратами, які приходяться на один виріб ($\text{З}_\text{м}\text{В}_0$), тобто:

$$\text{РКП} = \frac{\text{РП}_{\text{ост}}\text{В}}{\text{ЦПП} - \text{З}_\text{м}\text{В}_0} = \frac{12634.21}{527.69 - 282.22} = 51.46 \approx 52 \text{ од.} \quad (6.11)$$

Річні постійні витрати $\text{РП}_{\text{ост}}\text{В}$ складаються із суми наступних витрат:

$$\text{РП}_{\text{ост}}\text{В} = \text{А}_\text{м} + \text{ПВ} = 666.21 + 11968 = 12634.21 \text{ грн,} \quad (6.12)$$

де: ВУО – витрати на утримання обладнання;

$\text{А}_\text{м}$ – амортизація;

ПВ – позавиробничі витрати;

Річні змінні витрати $\text{РЗ}_\text{м}\text{В}$ складаються із суми наступних витрат:

$$\begin{aligned} P_{3M}B &= BM + \text{ФОП} + \text{ЄСВФОП} = 355 + 34408 + 7569.76 \\ &= 42332.76 \text{ грн,} \end{aligned} \quad (6.13)$$

де: BM – матеріали та куплені вироби;

ФОП – фонд оплати праці;

ЄСВФОП – єдиний соціальний внесок.

Змінні витрати, які приходяться на один виріб, визначаємо діленням річних змінних витрат на річну програму випуску виробу:

$$Z_{MB_0} = \frac{P_{3M}B}{\text{КПП}} = \frac{42332.76}{150} = 282.22 \text{ грн.} \quad (6.14)$$

Графічне представлення точки безбитковості представлено на рис. 6.1.

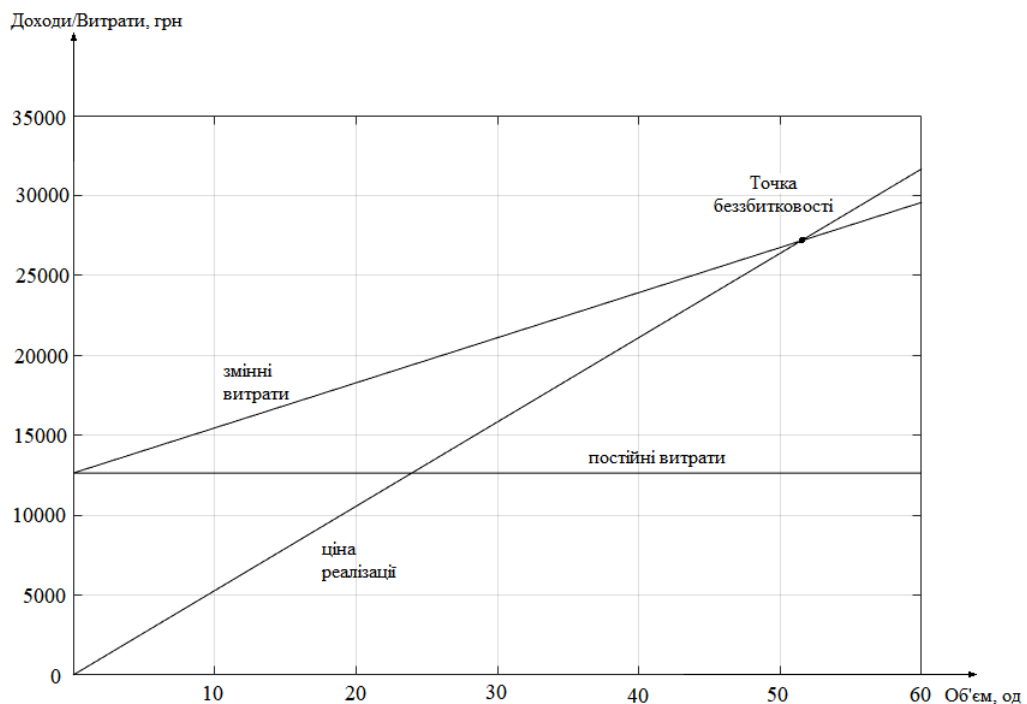


Рисунок 6.1 – Графік безбитковості

Графік безбитковості показує, що при об'ємі продаж 52 шт., дохід від реалізації продукції перевищує загальні витрати, таким чином, в зоні між ними ми отримуємо прибуток.

6.7 Висновки

В даному розділі проведено аналіз вартості та ціна системи управління. Проведено розрахунок вартості розробки регулятора з ПДВ, що становить 79152.45 грн . Визначена собівартість, що становить 54966.97 грн. Заробітна плата при розробці склала 29920 грн та відрахування у соціальний фонд становлять 7569.76грн. Проведено аналіз ринку, виходячи з якого виведена конкурентоспроможність пристрою.

Визначена точка безбитковості при реалізації проекту. Обсяг безбитковості становить 52 одиниці.

ЗАКЛЮЧЕННЯ

В даній роботі було розроблено систему автоматичної стабілізації стрічкового конвеєру за контурами швидкості стрічки та камери, також розроблено програмний додаток для двовимірної ідентифікації об'єктів транспортування за формою та кольором.

Перший етап полягав в дослідженні об'єкту автоматичного управління, що представляє собою стрічковий конвеєр. Побудована функціональна схема та визначені складові ОАУ. В якості методу управління обрано управління за відхиленням.

Другий етап полягає полягав у визначенні математичної моделі динаміки руху транспортеру та камери у вигляді диференціальних рівнянь. На основі передавальних функцій ОАУ, визначених виходячи з математичної моделі, створена машинна модель у середовищі Simulink. Шляхом моделювання визначені показники якості що не відповідають висунутим умовам необхідно було провести синтез системи автоматичної стабілізації для виконання поставленої задачі.

Проведено синтез системи автоматичного управління, сформованої за принципом управління за відхиленням, систему доповнено ПІ регулятором. Проведено дослідження синтезованої системи та визначені показники якості функціонування системи за рухом стрічки та камерою. Показники якості руху стрічки за керуючим впливом ($t_{\text{пп}} = 0.028$ с, $\sigma = 3\%$, $L_3 = \infty$ Дб, $\varphi_3 = 160^\circ$) та за збуренням ($t_{\text{пп}}^f = 0$ с, $\sigma = 0.17\%$), а також показники якості за рухом камери ($t_{\text{пп}} = 0.036$ с, $\sigma = 4\%$, $L_3 = \infty$ Дб, $\varphi_3 = 154^\circ$) відповідають заданим. В кожному випадку відсоток статичної помилки відсутній за рахунок інтегральної складової ПІ закону.

На четвертому етапі було розроблено програмний додаток за допомогою мови Python, використовуючи бібліотеку OpenCV, для двовимірної ідентифікації об'єктів транспортування та проведено експеримент, що доводить правильність роботи програми.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Belt Conveyors – [Електронний ресурс]. URL: <https://www.iqsdirectory.com/articles/conveyors/belt-conveyors.html>
2. McGuire, Patrick M. (2009-08-05). Conveyors: Application, Selection, and Integration.
3. Color models and color spaces – [Електронний ресурс]. URL: <https://programmingdesignsystems.com/color/color-models-and-color-spaces/index.html>
4. Thresholding Operations using inRange – [Електронний ресурс]. URL: https://docs.opencv.org/4.x/da/d97/tutorial_threshold_inRange.html
5. Satoshi Suzuki and others. Topological structural analysis of digitized binary images by border following. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 30(1):32–46, 1985.
6. Проектирование и программирование микропроцессорных систем управления [Текст]: учеб. пособие по курс. проектированию / В. Г. Джулгаков. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2016. – 92 с.
7. ATMEGA – [Електронний ресурс]. URL: <https://avr.ru/docs/d-sheet/atmega>
8. A. & S. K. Irfan, "Modeling of an Integrated Energy Efficient Conveyor System Model using Belt Loading Dynamics," *Indian Journal of Science and Technology*, vol. 9, no. 47, pp. 1-6, 2016.
9. Методи синтезу систем автоматичної стабілізації та позиціонування: навч. посібник / А. Е. Басова, А. С. Кулік, С. Н. Пасичник, Н. Н. Харіна. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2019. – 192 с.
10. Кулік, А. С. Методи моделювання об'єктів автоматичного управління [Текст]: навч. посібник / А. С. Кулік, С. Н. Пасичник. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М.Є. Жуковського «Харків. авіац. інт-т», 2018. – 168 с.
11. Об'єктно-орієнтоване проектування систем керування [Текст] : навч. посіб. / Л. О. Краснов, О. В. Гавриленко. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2020. – 184 с.
12. Система управління конвеєрної стрічки: пат. 11132651 Японія: Ган Хоу; заявл. 18.12.2017 ;опубл. 28.09.2021.

13. Система керування накопичувальним конвеєром: пат. US6315104В1 США: Джеффри Т. Еберт; заявл. 22.04.2000 ; опубл. 13.11.2001.

14. Системи та методи ідентифікації властивостей упаковки в автоматизованій системі промислової робототехніки: пат. 10949635 США: Шон Едвардс, Ерік Нівес, Пол Хвасс, Джошуа Кертіс; заявл. 11.04.2020 ;опубл. 16.03.2021.

15. Пристрій і спосіб ідентифікації об'єктів за допомогою кольорового кодування: пат. 8126264 Ізраїль: Ран Кафторі, Ронен Горовіц; 2012.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Патентний пошук

| Код патенту | Країна, рік | Назва | Автор | Реферат |
|-------------|--------------|---------------------------------------|---------|--|
| 11132651 | Японія, 2021 | Система управління конвеєрної стрічки | Ган Хоу | Система керування конвеєрною стрічкою здатна детально визначати стан конвеєрної стрічки. Стан конвеєрної стрічки відстежується обчислювальним блоком на підставі даних індикатора, що вказує на стан пристрою стрічкового конвеєра, і даних індикатора, що вказує на середовище використання стрічки конвеєрної, встановленої на пристрої стрічкового конвеєра; щонайменше, одні дані про величину зносу гуми верхнього покриття, ударної сили, що діє на конвеєрну стрічку, що розтягує сили, індикатор, що показує стан серцевини, і індикатор, що показує стан нескінченної ділянки, що входить в сервер блоком введення; та базу даних специфікацій ременів та базу даних діапазонів допусків, в яку діапазон допусків для кожного з вхідних елементів запроваджується заздалегідь відповідно до специфікацій ремня, що зберігаються в блоці зберігання. |

Продовження табл. А.1

| Код патенту | Країна, рік | Назва | Автор | Реферат |
|-------------|----------------|---|------------------|--|
| US6315104B1 | США, 2001 | Система керування накопичувальним конвеєром | Джеффри Т. Еберт | Система управління накопичувальним конвеєром включає кілька конвеєрів зони накопичення, кожен з яких оснащений модулем управління, з'єднаним з муфтою з електронним управлінням. Система включає один двигун, пов'язаний з кожним накопичувальним конвеєром для приводу конвеєрних роликів. Муфта зв'язує приводний ролик на кожному конвеєрі із двигуном через приводний елемент, такий як ланцюг. Модуль управління управляє роботою конвеєрів, визначаючи наявність чи відсутність предмета по дорозі одного чи кількох датчиків предмета. Коли шлях заблокований, що означає наявність предмета, модуль посилає сигнал вгору потоком і отримує сигнали з зон нижче потоку для управління роботою ролика для кожної зони. |

Продовження табл. А.1

| Код патенту | Країна, рік | Назва | Автор | Реферат |
|-------------|--------------|---|--|--|
| 10949635 | США, 2021 | Системи та методи ідентифікації властивостей упаковки в автоматизованій системі промислової робототехніки | Шон Едвардс, Ерік Нівес, Пол Хвасс, Джошуа Кертіс | Транспортна система сканування пакетів, яка об'єднує перше двовимірне зображення принаймні з другим двовимірним зображенням або тривимірними хмарами точок для розрахунку чи оцінки фізичних властивостей пакета та/або визначення наявності двох чи більше пакетів у купа. Зібрані дані зображення перетворюються системою за винаходом для забезпечення зворотного зв'язку в режимі реального часу з людиною-оператором, щоб він міг підтримувати розуміння продуктивності системи. Дані зображень також можна використовувати для перевірки якості інших частин систем доставки та транспортування пакетів і документування стану пакетів, які пройшли через систему. |

Продовження табл. А.1

| Код патенту | Країна, рік | Назва | Автор | Реферат |
|-------------|---------------|---|----------------------------|--|
| 8126264 | Ізраїль, 2012 | Пристрій і спосіб ідентифікації об'єктів за допомогою кольорового кодування | Ран Кафторі, Ронен Горовіц | <p>Пристрій і метод виявлення об'єкта на зображенні шляхом визначення кольорових областей на зображенні, де такі кольори є попередньо визначений шаблон кольорів, який може бути надрукований, наприклад, на об'єкті на зображенні. Формувач зображення може захоплювати зображення об'єкта, яке включає попередньо визначений шаблон кольорових областей відомих кольорів у відомому або заздалегідь визначеному місці об'єкта. Формувач зображення може передавати дані зображення процесору, який може ідентифікувати попередньо визначений зразок заздалегідь визначених кольорів заздалегідь визначеної області об'єкта на зображенні. Процесор може шукати значення, яке може бути збережене, наприклад, базі даних пам'яті, де таке значення відповідає виявленому шаблону.</p> |

ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – Огляд науково-технічної літератури

| Країна | Назва літератури | Автор | Реферат |
|---------|---|---|---|
| Україна | Методи синтезу систем автоматичної стабілізації та позиціонування | А.С. Кулік А.Є. Басова С.М. Пасічник Н.М. Харіна | В посібнику розглянуто три типових методу синтезу синтезу систем автоматичної стабілізації та позиціонування. |
| Україна | Методи моделювання об'єктів автоматичного управління | А.С. Кулік С.М. Пасічник | У даному посібнику були проаналізовані основні методи моделювання об'єктів управління та отримані навички по формуванню нелінійних рівнянь за допомогою рівнянь Лагранжа другого роду, а також по проведенню аналітичної лінеаризації при розкладанні у ряд Тейлора |
| Україна | Об'єктно-орієнтоване проектування систем керування (з використанням Python і бібліотеки OpenCV) | Л. О. Краснов О. В. Гавриленко | Запропоновано матеріали для теоретичного й практичного вивчення об'єктноорієнтованого підходу до створення програмного забезпечення систем керування, зокрема систем із технічним зором. Докладно розглянуто можливості мови Python з використанням ресурсів бібліотеки OpenCV для оброблення зображень і відеоінформації. Наведено багато прикладів. |
| США | Конвеєри: застосування, вибір та інтеграція | Патрік М. Макгуайр, П.Е. | Ця книга призначена для ознайомлення з широкою різноманітністю типів конвеєрів і методів застосування. |

ДОДАТОК В

Лістинг В.1 – Повний код програми ідентифікації об'єкту переміщення

```

import cv2
import math

def find_form(image):
    hsv = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2HSV)
    hsv = cv2.blur(hsv, (5, 5))

    mask_B = cv2.inRange(hsv, (93, 232, 99), (109, 255, 255))
    mask_B = cv2.erode(mask_B, None, iterations=3)
    mask_B = cv2.dilate(mask_B, None, iterations=3)

    mask_G = cv2.inRange(hsv, (50, 59, 141), (86, 255, 255))
    mask_G = cv2.erode(mask_G, None, iterations=3)
    mask_G = cv2.dilate(mask_G, None, iterations=1)

    mask_Y = cv2.inRange(hsv, (22, 69, 120), (69, 255, 255))
    mask_Y = cv2.erode(mask_Y, None, iterations=3)
    mask_Y = cv2.dilate(mask_Y, None, iterations=3)

    contours_B, hierarchy = cv2.findContours(mask_B, cv2.RETR_TREE,
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
    contours_G, hierarchy = cv2.findContours(mask_G, cv2.RETR_TREE,
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)
    contours_Y, hierarchy = cv2.findContours(mask_Y, cv2.RETR_TREE,
cv2.CHAIN_APPROX_SIMPLE)

    if contours_B:
        for i in range(0, len(contours_B)):
            contours_B[i] = (contours_B[i], 1)
    if contours_G:
        for i in range(0, len(contours_G)):
            contours_G[i] = (contours_G[i], 2)
    if contours_Y:
        for i in range(0, len(contours_Y)):
            contours_Y[i] = (contours_Y[i], 3)

    contours = contours_B + contours_G + contours_Y
    if contours:
        contours = sorted(contours, key=lambda x: cv2.contourArea(x[0]),
reverse=True)
        for i in range(0, len(contours)):
            if cv2.contourArea(contours[i][0]) >= 200:
                area = cv2.contourArea(contours[i][0])
                approx = cv2.approxPolyDP(contours[i][0], 0.05 *
cv2.arcLength(contours[i][0], True), True)
                (x, y), radius = cv2.minEnclosingCircle(contours[i][0])
                circle_area = radius * radius * math.pi
                if len(approx) == 3:
                    return (0, contours[i][1])
                    break
                elif len(approx) == 4:
                    return (1, contours[i][1])
                    break
                elif (area >= (0.8 * circle_area)) and (area <= (1.2 *
circle_area)):
                    return (2, contours[i][1])
                    break
    return (3, 4)

```

```

cap = cv2.VideoCapture(0)
cap2 = cv2.VideoCapture(1)

while True:
    ret, frame1 = cap.read()
    ret, frame2 = cap2.read()

    cv2.imshow('cam', frame1)
    cv2.imshow('cam2', frame2)

    fig_hor, col_hor = find_form(frame1)
    fig_vert, col_vert = find_form(frame2)

    # эту строчку потом закоментировать
    print(fig_hor, " ", fig_vert, " ", col_hor, " ", col_vert)

    if (fig_vert == 3) or (fig_hor == 3):
        continue

    if col_hor == col_vert:
        if (fig_hor == 0) and (fig_vert == 0):
            print("тетраїдер")
        elif (fig_hor == 0) and (fig_vert == 1):
            print("піраміда")
        elif (fig_hor == 0) and (fig_vert == 2):
            print("конус")
        elif (fig_hor == 1) and (fig_vert == 0):
            print("призма")
        elif (fig_hor == 1) and (fig_vert == 1):
            print("куб")
        elif (fig_hor == 1) and (fig_vert == 2):
            print("циліндр")
        elif (fig_hor == 2) and (fig_vert == 0):
            print("конус")
        elif (fig_hor == 2) and (fig_vert == 1):
            print("циліндр")
        elif (fig_hor == 2) and (fig_vert == 2):
            print("шар")

    if col_hor == 1:
        print("blue")
    elif col_hor == 2:
        print("green")
    elif col_hor == 3:
        print("yellow")

    c2 = cv2.waitKey(1)
    if c2 == 27:
        break

cap.release()
cap2.release()
cv2.destroyAllWindows()

```

ДОДАТОК Г

Лістинг Г.1 – Код програми для підбору порогів

```
import cv2

def nothing(x):
    pass

cap = cv2.VideoCapture(0)

cv2.namedWindow("prg")

cv2.createTrackbar("H_low", "prg", 0, 180, nothing)
cv2.createTrackbar("H_up", "prg", 0, 180, nothing)
cv2.createTrackbar("S_low", "prg", 0, 255, nothing)
cv2.createTrackbar("S_up", "prg", 0, 255, nothing)
cv2.createTrackbar("V_low", "prg", 0, 255, nothing)
cv2.createTrackbar("V_up", "prg", 0, 255, nothing)

while True:
    ret, frame = cap.read()
    cv2.imshow('cam', frame)

    hsv = cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2HSV)
    hsv = cv2.blur(hsv, (5, 5))

    H_low=cv2.getTrackbarPos("H_low", "prg")
    H_up = cv2.getTrackbarPos("H_up", "prg")
    S_low = cv2.getTrackbarPos("S_low", "prg")
    S_up = cv2.getTrackbarPos("S_up", "prg")
    V_low = cv2.getTrackbarPos("V_low", "prg")
    V_up = cv2.getTrackbarPos("V_up", "prg")

    mask = cv2.inRange(hsv, (H_low, S_low, V_low), (H_up, S_up, V_up))
    mask = cv2.erode(mask, None, iterations=3)
    mask = cv2.dilate(mask, None, iterations=3)

    cv2.imshow('mask', mask)

    key = cv2.waitKey(1)
    if key == 27:
        break
```