

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему Дослідження роботи електропривода поліграфічної машини  
MEDIA MAN

Виконав: студент б курсу, групи 601МЕ  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Степаненко Д.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Захарченко Д.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент \_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки  
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій  
Ступінь вищої освіти Магістр  
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувач кафедри автоматичної,**  
**електроніки та телекомунікацій**  
\_\_\_\_\_ О.В. Шефер  
“ 03 ” вересня 2021 р.

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**  
**Степаненку Денису Олександровичу**

**1. Тема проекту (роботи) «Дослідження роботи електропривода поліграфічної машини MEDIA MAN».**

керівник проекту (роботи) Захарченко Р.В., к.т.н., доцент

затверджена наказом вищого навчального закладу від “25” серпня 2021 року №688фа.

**2. Строк подання студентом проекту (роботи) 15.12.2021 р.**

**3. Вихідні дані до проекту (роботи) продуктивність машин - 100 00 відбитків на годину; швидкість обертання друкованої пари 1500 об/хв при швидкості руху паперової стрічки 15 м/с, не суміщення кольорів - не більше (0,02 – 0,04) мм; товщини шару фарби при офсетному друку дорівнюють (0,1–3) мкм.**

**4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз систем автоматизації машин поліграфічного виробництва. Вимоги, що пред'являються до керування електромеханічними комплексами для досягнення заданих якісних показників друку. Принципи побудови і способи реалізації систем автоматичної синхронізації високоточних рухів циліндрів. Дослідження методів автоматичної синхронізації високоточних рухів циліндрів. Принципи побудови комп'ютеризованих електроприводів, які забезпечують синхронізацію високоточних рухів циліндрів і подачі паперу. Математичний опис електромеханічних систем рулонного механізму. Керування розмотуванням рулону при непрямому і безпосередньому контролі натягу. Математичний опис електромеханічних систем стрічко-ведучих пар циліндрів в друкарських секціях. Система керування швидкістю, співвідношенням швидкостей провідних валів і циліндрів і натягом паперової стрічки. Математичний опис системи автоматичного керування суміщенням фарб. Математичний опис системи керування подачею барвника. Ідентифікація параметрів і моделювання системи керування подачею барвника. Характеристика електромеханічних систем друкованих секцій MEDIA MAN. Комп'ютерна система автоматичного керування комплексу поліграфічної машини. Дослідження систем керування подачею паперу і барвника. Розрахунок економічної ефективності.**

**5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):**

1. Функціональна схема системи автоматизованих багатодвигунних електроприводів поліграфічних машин.
2. Функціональна схема системи електроприводами одного друкарського апарату.
3. Функціональна схема системи керування безперервною групою ПА-ю з регулюванням співвідношень швидкостей і міжсекційних натягів.
4. Функціональна схема апаратної частини системи керування друкарських машин.
5. Функціональна схема системи автоматизованих багатодвигунних електроприводів поліграфічної машини MEDIA MAN.
6. Блок-схема роботи нечіткого регулятора товщини шару фарби, несуміщення кольорів і продуктивності.

7. Функціональна схема системи керування не суміщення кольорів і значення товщини шару фарби на растрових елементах відбитків.
8. Функціональна схема системи керування швидкістю поліграфічних машин.
9. Таблиця техніко-економічних показників.

### 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Економіка	Григор'єва Олеся Володимирівна, к.е.н., доцент		

### 7. Дата видачі завдання 03.10.2021 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
1	Аналіз систем автоматизації машин поліграфічного виробництва. Вимоги, що пред'являються до керування електромеханічними комплексами для досягнення заданих якісних показників друку	10.10.21		10%	Пл. 1
2	Принципи побудови і способи реалізації систем автоматичної синхронізації високоточних рухів циліндрів. Дослідження методів автоматичної синхронізації високоточних рухів циліндрів	15.10.21		20%	Пл. 2
3	Принципи побудови комп'ютеризованих електроприводів, які забезпечують синхронізацію високоточних рухів циліндрів і подачі паперу. Математичний опис електромеханічних систем рулонного механізму	27.10.21	I	30%	Пл. 3
4	Керування розмотуванням рулону при непрямому і безпосередньому контролі натягу. Математичний опис електромеханічних систем стрічко-ведучих пар циліндрів в друкарських секціях	02.11.21		40%	Пл. 4
5	Система керування швидкістю, співвідношенням швидкостей провідних валів і циліндрів і натягом паперової стрічки. Математичний опис системи автоматичного керування суміщенням фарб	10.11.21		50 %	Пл. 5
6	Математичний опис системи керування подачею барвника. Ідентифікація параметрів і моделювання системи керування подачею барвника	24.11.21	II	60%	Пл. 6
7	Характеристика електромеханічних систем друкованих секцій MEDIA MAN. Комп'ютерна система автоматичного керування комплексу поліграфічної машини	30.11.21		70%	Пл. 7
8	Дослідження систем керування подачею паперу і барвника	04.12.21		80%	Пл. 8
9	Розрахунок економічної ефективності	10.12.21		90%	Пл. 9
10	Оформлення магістерської роботи	15.12.21	III	100%	

Магістрант \_\_\_\_\_  
( підпис )

Степаненко Д.О.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
( підпис )

Захарченко Р.В.  
(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

	стор.
<b>ВСТУП</b>	<b>6</b>
<b>РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА</b>	
1.1 Аналіз систем автоматизації машин поліграфічного виробництва	8
1.2 Вимоги, що пред'являються до керування електромеханічними комплексами для досягнення заданих якісних показників друку	11
1.3 Принципи побудови і способи реалізації систем автоматичної синхронізації високоточних рухів циліндрів	15
<b>РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА</b>	
2.1 Дослідження методів автоматичної синхронізації високоточних рухів циліндрів	22
2.2 Принципи побудови комп'ютеризованих електроприводів, які забезпечують синхронізацію високоточних рухів циліндрів і подачі паперу	25
2.3 Математичний опис електромеханічних систем рулонного механізму	30
2.4 Керування розмотуванням рулону при непрямому і безпосередньому контролі натягу	33
2.5 Математичний опис електромеханічних систем стрічко-ведучих пар циліндрів в друкарських секціях	37
2.6 Система керування швидкістю, співвідношенням швидкостей провідних валів і циліндрів і натягом паперової стрічки	40
2.7 Математичний опис системи автоматичного керування суміщенням фарб	46
2.8 Математичний опис системи керування подачею барвника	50
2.9 Ідентифікація параметрів і моделювання системи керування подачею барвника	56
<b>РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА</b>	
3.1 Характеристика електромеханічних систем друкарських секцій MEDIA MAN	64

3.2 Комп'ютерна система автоматичного керування комплексу поліграфічної машини	67
3.3 Дослідження систем керування подачею паперу і барвника	74
3.3.1 Автоматизація керування синхронних рухів циліндрів, подачею паперу і барвника по якості, продуктивності друку	74
3.3.2 Синтез FUZZY-алгоритми для вирішення завдань автоматичного керування подачі паперу і барвника по якості і продуктивності друку	76
3.3.3 Апаратура і програмне забезпечення системи керування подачею паперу і барвника	79
<b>РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА</b>	
4.1 Техніко-економічне обґрунтування	91
4.2 Визначення витрат на модернізацію електропривода поліграфічної машини	91
4.3 Розрахунок річного фонду роботи поліграфічної машини	93
4.4 Розрахунок річної експлуатаційної продуктивності	94
4.5 Розрахунок поточних річних витрат	95
4.6 Розрахунок вартості машино–години роботи поліграфічної машини	97
4.7. Розрахунок вартості технологічної операції на одиницю продукції	98
4.8 Розрахунок економічного ефекту від проведення модернізації	98
<b>ВИСНОВКИ</b>	<b>100</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b>	<b>102</b>
<b>ДОДАТКИ</b>	

## ВСТУП

Основними напрямками вдосконалення автоматизації друкарських процесів в останні роки є: розробка комплексних систем керування агрегатами друкарської машини і параметрами друкарського процесу; розробка систем автоматизованого налаштування барвистого апарату друкарської машини; створення систем збору і відображення параметрів друкарського процесу, а також керування машиною із застосуванням технологічного контролера (ТК) і персонального комп'ютера (ПК). Продуктивність та якість друку постійно зростають. Значною мірою це пов'язано з застосуванням комп'ютерних систем керування, комп'ютеризованих багатодвигунних електроприводів змінного струму. Світова практика показує, що при помірному збільшенні обсягів виробництва друкарських виробів спостерігається істотне підвищення їх якості та продуктивності машин, що свідчить про підвищення попиту і підвищених вимог споживачів до якості друку.

Процес вдосконалення технологічних агрегатів, електроприводів і засобів автоматизації є взаємопов'язаним процесом. Так, поява на ринку надійних і високо динамічних частотно-регульованих електроприводів змінного струму привело до постановки завдань підвищення швидкості машин в 2–2,5 рази, продуктивність сучасних машин досягає 60-г 80 тис. відбитків на годину. З метою підвищення точності підтримки заданої швидкості і натягу паперового полотна між секціями машин, зростають вимоги до динаміки систем керування швидкістю і співвідношенням швидкостей секцій. Підвищення швидкостей машин, безумовно, тягне за собою необхідність підвищення якості систем керування технологічними змінними процесу виробництва друку, основним завданням яких є підтримка з заданою точністю, основних технічних показників – не суміщення кольорів і товщини шару фарби. Вирішення задач регулювання технологічних змінних

можливо тільки на основі використання спеціальних алгоритмів керування, які враховують взаємозв'язок змінних, транспортні запізнювання в виконавчих механізмах, прямих і перехресних каналах об'єкта керування. Актуальним завданням тут є підвищення швидкодії виконавчих механізмів в каналах регулювання не суміщення кольорів і товщини шару фарби.

**Мета роботи і завдання дослідження.** Мета магістерської роботи є розробка шляхів підвищення якості та продуктивності друку шляхом створення автоматичних систем керування на основі математичних моделей.

Для досягнення поставленої мети в роботі ставляться та вирішуються такі завдання:

1. Розробка і дослідження методів автоматичної синхронізації високоточних рухів циліндрів і подачі паперу.

2. Розробка алгоритмів керування комп'ютеризованими електроприводами, що забезпечують синхронізацію високоточних рухів циліндрів і подачі паперу.

3. Розробка і дослідження алгоритмів керування подачею барвника з урахуванням транспортних запізнень в виконавчих механізмах.

4. Дослідження та перспективи конкретних високоточних комп'ютеризованих багатодвигунних електроприводів поліграфічних машин (MEDIA MAN).

Для вирішення поставлених завдань в роботі використана методика, що включає в себе методи теорії автоматичного керування та методи математичного моделювання на ПК.

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Аналіз систем автоматизації машин поліграфічного виробництва

Аналіз друкарської техніки показав основні тенденції в цій галузі – впровадження та вдосконалення систем цифрового керування традиційними друкарськими машинами та розвиток устаткування і технологій цифрового друку.

Цифровий друк продовжує охоплювати поліграфічний ринок. При цьому найбільш широко застосовується в областях, як друк на вимогу, виготовлення персоналізованої продукції (персональні звернення, реклама, запрошення) та виробництво шпалер.

Цифровий друк і, особливо, гібридні друкарські системи пропонують виключні можливості для друку сегментованих видань, в яких велика частина змісту книги незмінна по всьому тиражі, а кілька сторінок адресовані певній групі споживачів або жителям окремої місцевості [1].

Практично всі фірми-виробники традиційного друкарського обладнання тепер поповнили свій модельний ряд машинами цифрового друку з виготовленням друкарських форм безпосередньо в машині: Karat 74 компанії KBA, Speedmaster DI і Quickmaster DI компанії Heidelberg, Dicoxweb компанії MAN Roland тощо.

Разом з цим виробники традиційних друкарських машин не перебудовують глобально виробництво, адже реальну загрозу цифрові машини можуть представляти тільки в області малотиражної продукції.

Розгорнулася інтенсивна робота по створенню та вдосконаленню цифрових систем керування, які дозволили б швидко переналагоджувати традиційні офсетні машини для покриття того сегмента ринку, де можлива конкуренція з цифровим друком. Іншими словами, ці розробки спрямовані на

те, щоб не дати цифровому друку зрушити кордон розділу в бік збільшення тиражів. Тому ростуть швидкості та скорочується час переналагодження. Очевидно, що ні за яких умов навіть найменша офсетна машина з найрозвиненішим цифровим керуванням не віддрукує одного примірника швидше цифрового, але при тиражі в 1000 примірників вони вже можуть конкурувати.

Тенденція розвитку та вдосконалення систем цифрового керування пов'язана з тим, що зараз багато уваги приділяється створенню друкарень, цілком працюючих в єдиній мережі під загальним керуванням. І мова йде не тільки про формат С1Р3 [2].

С1Р3 дозволяє управляти друкарнею на рівні технологічного та організаційного процесу, тобто здійснювати цехове керування. Наразі стоїть питання про контроль роботи всього підприємства на рівні вищого керівництва друкарні: стежити за економікою, витратами матеріалів, управляти друкарськими машинами та іншим устаткуванням. Звідси необхідність, щоб все обладнання, і друкарські машини в тому числі, мали можливість програмного цифрового керування.

Цифрове керування не є чимось абсолютно новим – воно існувало і раніше, але сфера його дії обмежувалася однією машиною (регулювання подачі паперу і фарби, контроль приведення тощо). Сучасні програми вирішують завдання керування не тільки конкретною машиною, але і всім підприємством, припускаючи, що друкарська машина є елементом загальної системи друкарні. Тепер завдяки об'єднанню всього обладнання з програмним керуванням в єдину мережу став можливим централізований контроль всього циклу операцій – від підготовки видання до видачі готової продукції.

Наступна тенденція в розвитку друкарського обладнання – це підвищення барвистості. Переважна частина газетних машин, особливо

великих агрегатів, виконується в багатоколірному виконанні, а листові машини містять по 10–12 друкарських секцій.

Для отримання сухого відбитку, готового до подальшої обробки, адже для видалення розчинника, паперове полотно в пристроях сушіння нагрівають або обробляють електромагнітним випромінюванням – в цьому випадку можна друкувати на швидкостях до 30 000 об/год. Такі машини демонструють практично вагу основного виробника: KBA, Heidelberg, MAN Roland тощо, представлені на цьому ринку [3].

В сучасній поліграфії дуже чітко простежується ще одна тенденція: сьогодні високу частку поліграфічної продукції займає упаковка, що обумовлює зміни в побудові машин, в тому числі і друкарській.

Великі журнальні машини, особливо ротаційні, оснащуються обладнанням, що дозволяє робити в лінії практично все: друк, шиття, обрізання з трьох сторін, упаковку. Цей напрямок все більше поширюється і до розробок додаткових пристроїв підключається все більше фірм. Дуже цікавий та дешевий пристрій для тристоронньої обрізки, яка встановлюється безпосередньо після фальцапарата, запропонувала на виставці фірма Ferag.

Передові позиції в області створення рулонних машин одинарного обсягу займає компанія Heidelberg, випустивши машину Mainstream з шириною рулону 1700 мм і швидкістю друку 80 000 оборотів на годину, що забезпечує продуктивність на рівні машин подвійного обсягу, швидкість яких не перевищує 45 000 оборотів на годину.

Фірма MAN Roland є найбільшою машиною одинарного об'єму Regioman та має ширину рулону 1400 мм. Вона підходить для друку німецьких і багатьох американських газет, але для нашої країни потрібно ширина рулону 1680 мм (для газет формату А2).

Фірма KBA створила компактну невелику (висота 3,2 м) чотирьох-барвисту газетну рулонну машину одинарної ширини і одинарного обсягу під назвою Cortina. Ця машина має цікаву конструкцію, а вибір технології

«сухого» офсету, на яку орієнтується КВА, за словами представників фірми, пов'язаний з вимогами щодо зниження забруднення навколишнього середовища.

Отже, можливі найнесподіваніші рішення – об'єднання традиційного та цифрового друку, тобто зближення за якістю та швидкостям [4].

## **1.2 Вимоги, що пред'являються до керування електромеханічними комплексами для досягнення заданих якісних показників друку**

Систему керування сучасною поліграфічною машини, що являє собою сукупність основного та допоміжного технологічного обладнання з різним ступенем автоматизації, доцільно представити у вигляді трирівневої ієрархічної системи керування. Структура системи представлена на рисунку 1.1.

Перший – нижній рівень містить взаємопов'язану електромагнітну підсистему (ЗЕП), вхідними змінними у якої є сигнали керування різними напівпровідниковими перетворювачами, а вихідними змінними  $N$  – електромагнітні моменти (сили) електродвигунів. Керування взаємопов'язаними електромагнітними змінними має місце при управлінні електродвигунами постійного і змінного струмів, адже необхідно здійснити незалежне керування електромагнітним моментом і потоком. Базою для математичного опису електромагнітних підсистем є теоретична електротехніка, і, зокрема, рівняння Кірхгофа і Максвелла, а при наявності еквівалентних схем, адекватних фізичним процесам – теорія лінійних і нелінійних електричних ланцюгів.

Другий рівень містить взаємопов'язану механічну підсистему (ВМП), що має зворотні зв'язки з ЗЕП по ланцюгах електромагнітної індукції. Вихідними змінними ВМП є змінні  $q$ , що характеризують рух виконавчих механізмів (лінійні і кутові переміщення, швидкості, пружні сили і моменти).

Керування взаємопов'язаними механічними підсистемами здійснюється багатодвигунними електроприводами.

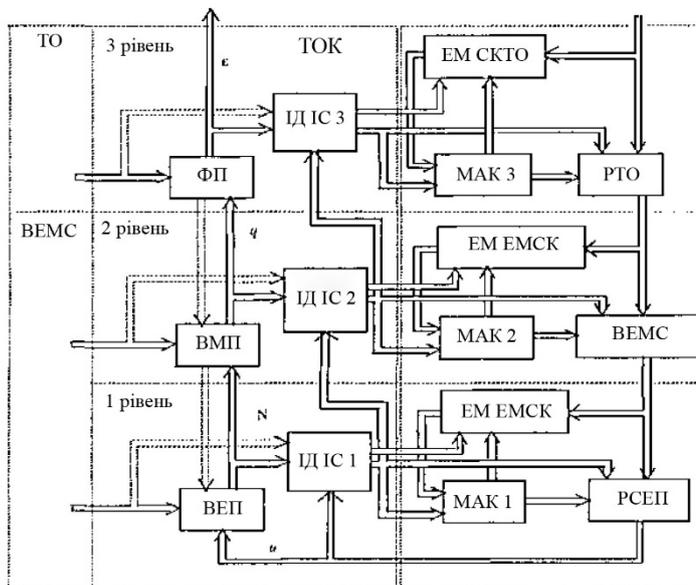


Рисунок 1.1 – Структура тривірневої ієрархічної системи керування

Базою для математичного опису механічної підсистеми є теоретична механіка, і, зокрема, рівняння Лагранжа і Ньютона. Розглянуті спільно підсистеми ВМП і ЗЕП утворюють взаємопов'язану електромеханічну систему (BEMC).

Третій рівень містить функціональну підсистему (ФП), що забезпечує формування показників якості 8 технологічного процесу. На даному рівні здійснюється керування технологічними змінними об'єкта (ТО), яке диктує необхідність керування механічними змінними, а через них – і керування електромагнітними змінними. Математичний опис функціональних підсистем містить опис фізичних процесів, характерних для тієї або іншої технології.

Для кожної з підсистем можливо розглядати відповідні їм регулятори: РВЕП, РBEMC, та РТО, що знаходяться в міжрівневій підпорядкованості в комплексі керування (КК) взаємозалежної системи аналогічно тому, як це має місце в технологічному об'єкті керування (ТОК). На регулятори

надходять сигнали завдань змінних  $N$ ,  $q$  виміряні або обчислені значення змінних. Підсистеми кожного рівня містять інформаційні засоби (ІЗ) і ідентифікатори (ВД), що формують необхідну інформацію для процесу керування на кожному рівні і в системі керування в цілому. У загальному випадку системи керування кожного рівня є адаптивні системи, що здійснюють адаптацію через модулі адаптивного керування (МАК) відповідно до еталонним моделям процесів керування в електромагнітній, електромеханічній системах керування (ЕМ ЕСУ, ЕМ ЕМСУ) та в системі керування технологічним об'єктом в цілому (ЕМ СКТО).

У найбільш загальному вигляді опис кожної з підсистем може бути виконано у вигляді системи нелінійних диференціальних рівнянь:

$$\dot{X} = F(x, u, f, t); \quad (1.1)$$

або:

$$\dot{X} = A(x, t)x + B(x, t)u + D(x, t)f; \quad (1.2)$$

$$Y = C(x, t);$$

де:  $A(x, t) + B(x, t)$ ,  $D(x, t)$  – матриці стану, керування і обурення відповідно;

$C(x, t)$  – масштабна матриця;

$x$ ,  $u$ ,  $f$ ,  $y$  – вектори змінних стану, керування, обурення і вимірюваних змінних відповідно.

Розробка алгоритмів керування електроприводами технологічних об'єктів виконується, як правило, з урахуванням двох найважливіших оцінок якості – швидкодії і пов'язаної з нею продуктивністю та інтегральною квадратичною оцінкою помилок керування і пов'язаних з нею якістю технологічного процесу.

У теорії і практиці керування взаємопов'язаними електромеханічними системами прагнуть отримати нормовані динамічні процеси на основі типових алгоритмів керування при малих і великих змінах змінних. Для

автономних систем при малих змінах змінних – це широко відомі в методах каскадного (підлеглого) керування налаштування контурів регулювання на «оптимум по модулю» (ОМ) і «симетричний оптимум» (СО), а в методах модального керування – стандартні розподіли коренів характеристичних поліномів.

Як було зазначено вище, алгоритми керування змінні взаємопов'язаних електромеханічних систем визначаються особливостями формування показників якості технологічного процесу на рівні функціональних підсистем. Якість продукції, що випускається друкарською продукцією характеризується основними технічними показниками. Серед них поєднання кольорів, значення товщини шару фарби на растрових елементах відбитків (оптична щільність), колірний фон, чистота кольору, чіткість відтворення, розтягування, рівномірність розподілу фарби на відбитку. До складу основних нормованих показників – технологічних змінних процесу – входять основне несуміщення кольорів і товщини шару фарби (оптична щільність).

Значною мірою якість друкарської продукції визначається точністю підтримки і стабільності друкарського процесу. Під стабільним мається на увазі процес, що забезпечує при заданих режимних умовах друкування збереження нормованих значень показників якості відбитків протягом всього тиражу.

При формуванні якісних показників друкування ставиться завдання регулювання деяких механічних змінних за допомогою системи, багатодвигунного електроприводу машини. Так, наприклад, великий вплив на механічні властивості полотна паперу надає його натяг в друкарських секціях і фальцапараті.

Рішення задач роздільного регулювання електромагнітних, механічних і технологічних змінних можливо за допомогою системи керування, що містить ряд окремих підсистем, кожна з яких пов'язана з вирішенням певного завдання і локалізована по відношенню до технологічного устаткування. В

даний час застосовуються в основному тільки децентралізовані системи керування друкарською машиною. Основна причина необхідності децентралізації системи керування виробництвом полягає в наявності запізнень в каналах керування і спотворення інформації в каналах її передачі, а також в характері збурюючих впливів, що діють на суміщення кольорів та оптичну щільність.

### **1.3 Принципи побудови і способи реалізації систем автоматичної синхронізації високоточних рухів циліндрів**

Автоматизовані електроприводи друкарських машин являють собою різні за складністю системи автоматичного керування, починаючи від найпростіших розімкнутих систем керування електроприводами на базі асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором, що здійснюють пуск, гальмування і реверсування двигуна, без регулювання швидкості, до багатоконтурних замкнутих систем електроприводів змінного струму, що забезпечують стабілізацію однієї або декількох регульованих координат.

Замкнені системи автоматичного керування (САК) електроприводами (ЕП) можуть бути цифровими (комп'ютеризованими) системами керування електроприводами. Комп'ютеризовані САК ЕП припускають використання в системі тільки цифрових (імпульсних) пристроїв.

Відповідно до викладеної вище концепції трирівневої ієрархічної системи керування електромеханічного комплексу, структура системи керування поліграфічної машини має узагальнений вигляд, показаний на рисунку 1.2.

Функціональна схема системи керування електроприводами одного друкарського апарату показана на рисунку 1.3.

На схемі позначено: БК – блок керування приводу, КТ – контролер технологічний, ПО – пульт оператора, ДН, ДОЩ, ДЯВ – датчики, відповідно, натягу, оптичної щільності, якості відбитка.

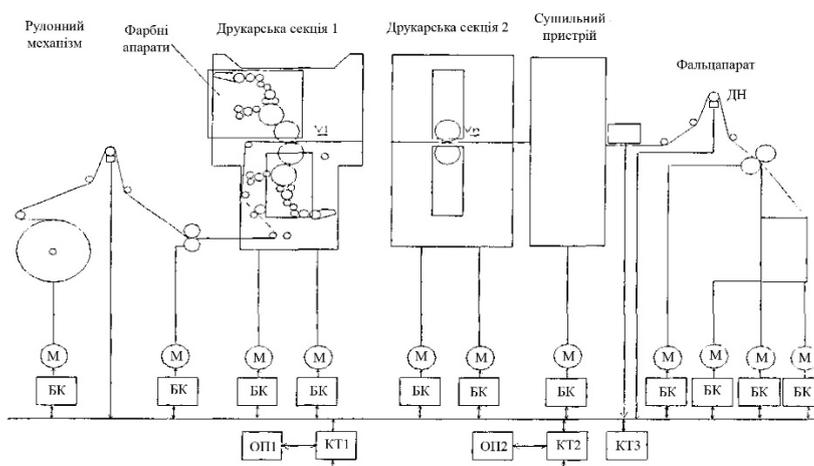


Рисунок 1.2 – Функціональна схема системи автоматизованих багатодвигунних електроприводів машини

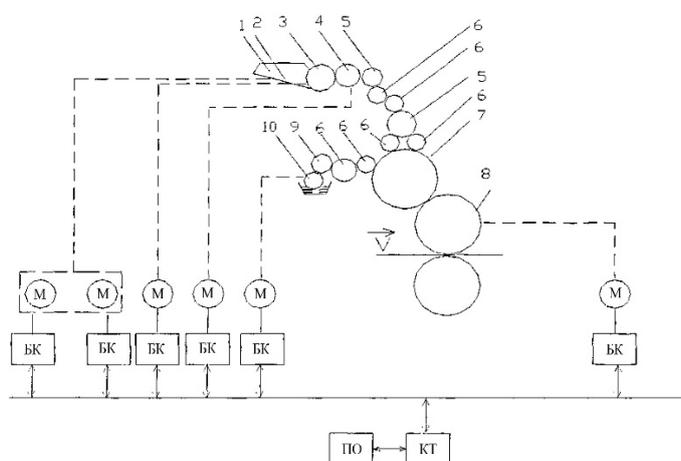


Рисунок 1.3 – Функціональна схема системи електроприводами одного друкарського апарату

Прийнято наступні позначення: 1 – ящик з фарбою, 2 – ніж, 3 – барвистий друкуючий циліндр, 4 – барвистий передавальний валик, 5 – розкатні валики, 6 – накатні валики, 7 – формовий циліндр, 8 – друкуючий циліндр, 9 – зволожуючий передавальний валик, 10 – зволожуючий друкуючий циліндр.

Основними завданнями системи керування багатодвигунним електроприводом друкарської машини є послідовне з'єднання секційних електроприводів, розподіл навантажень в приводах, що складаються з декількох приводних секцій, кінематично пов'язаних загальним валом, а також підтримання заданого натягу полотна паперу між окремими секціями машини.

Енергетична магістраль комплексу складається з живильних трансформаторів, некерованих випрямлячів з фільтрами, автономних інверторів напруги. Розподілена система керування включає в себе інформаційні шини, що поєднують технологічний контролер з контролерами керування групами електроприводів.

Технологічні контролери призначені для отримання інформації про стан технологічного процесу від різних датчиків, обробки отриманої інформації відповідно до закладеної програми, видачі керуючих впливів на процес.

Станції оператора призначені для відображення інформації про технологічний процес, завданні режимів керування процесом і введення завдань параметрів процесу.

Сканер, або інтелектуальна платформа, призначений для переміщення встановлених на ньому датчиків. Сканер оснащений власним контролером, який обробляє інформацію, що надходить з датчиків, і передає по спеціальній шині даних в технологічний контролер. Для забезпечення постійної точності вимірювання контролер автоматично виводить датчики за край паперового полотна та проводить стандартизацію. Сканер в режимі безперервного сканування збирає інформацію про якість друку.

Інформація від технологічного контролера на станцію оператора і назад передається по системній шині. Мережева організація системи дозволяє виводити на операторську станцію інформацію з будь-якого технологічного контролера, підключеного до мережі.

Мережева шина призначена для підключення мережевого принтера та забезпечення можливості підключення до інших систем керування, обліку тощо.

Останнім часом всі провідні виробники друкарських машин розробляють моделі з прямими приводами (багатодвигунний електропривід). Технологія прямих приводів в друкарських машинах повинні відповідати наступним вимогам: знижувати час переналаштувань, кількість відходів і собівартість при підвищенні якості друку.

Електропривод складається з наступних функціональних частин:

- електродвигунів змінного струму;
- датчиків швидкості;
- шаф системи автоматичного регулювання, керування, вимірювання, захисту і сигналізації з встановленими перетворювачами частоти, які керують контролерами, вступними автоматичними вимикачами, контакторами, захисною і комутаційною апаратурою;
- пультів керування з встановленими панелями оператора і органами оперативного керування електроприводом;
- системи діагностики і контролю електроприводу;
- системи моніторингу та вібродіагностики двигунів.

Система послідовного ведення призначена для автоматичного узгодження швидкостей регульованих приводів машини, як в процесі технологічних змін робочої швидкості, так і в режимах пуску та зупинки.

На рисунку 1.4, наведена функціональна схема системи регулювання швидкості, співвідношенням швидкостей провідних валів та циліндрів і натягом паперової стрічки, яка відноситься до паперовопровідної системи машини.

Для якісної подачі паперової стрічки швидкість наступних пар провідних циліндрів паперовопровідної системи перевищує швидкість

попередніх пар приблизно на 2–3%. В таких умовах паперова стрічка в процесі руху отримує деяке подовження і знаходиться в напруженому стані.

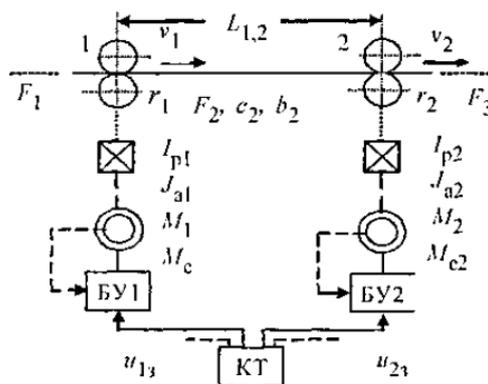


Рисунок 1.4 – Функціональна схема системи регулювання швидкості, співвідношенням швидкостей провідних валів і циліндрів і натягом паперової стрічки

Поведінка полотна на ділянці розтягування довжиною  $L$  з урахуванням швидкісного і внутрішнього демпфірування описується диференціальними рівняннями:

$$F_j = \left[ \left( \frac{c_j}{p} \right) + b_f \right] [v_{i+1} - v_j (1 + \varepsilon_j)]; \varepsilon_j = \left( \frac{1}{L_j} \right) \left[ \frac{1}{c_j + b_j p} \right] F_2; p = \frac{d}{dt}; \quad (1.3)$$

де:  $F_j$  – натяг;

$\varepsilon_j$  – відносне подовження;

$v_{i+1}$  і  $v_j$  – лінійні швидкості полотна на початку і в кінці ділянки розтягування;

$c_j$  і  $b_j$  – коефіцієнти жорсткості і внутрішнього демпфування.

Прагнення підвищити продуктивність рулонних ротаційних машин призводить до збільшення швидкостей руху паперових стрічок. При цьому для зменшення небезпеки обриву паперової стрічки використовують різні амортизуючі пристрої: пружинні, пневматичні, петльові, механічні. Великого поширення набули пружинні амортизаційні валики. Разом з тим

застосування пружинного амортизатора призводить до деякого збільшення відносного подовження. Ефективно їх застосування в разі знакозмінної зміни натягу паперової стрічки, наприклад, в результаті биття рулону. Разом з цим, набувають поширення системи амортизації з використанням високодинамічних систем керування натягом, з використанням датчиків, що перебувають під валиками переміщення.

Таким чином, перевагами машин з прямим приводом:

- ліквідується традиційна дорога та громіздка конструкція з приводом від головного валу. Пропадає необхідність в використанні великої кількості механічних елементів: кулачків, валів, редукторів – їх замінює електроніка;
- індивідуальні приводи дозволяють здійснювати безступінчасте регулювання довжини відбитка. У зв'язку з цим розширюються технологічні можливості, досягається значна економія запечатування. Крім того, можливе регулювання довжини відбитка в невеликих межах за рахунок зміни швидкостей обертання формового і друкарського циліндрів відносно один одного, що може використовуватися для компенсації розтягування пакувального полотна;
- з'являється можливість високоякісного друку на матеріалах різної товщини;
- скорочується час на підготовку машини до друку.

Недоліки машин з прямими приводами:

- впровадження нових технологічних рішень завжди пов'язане з необхідністю додаткових інвестицій;
- відсутність досвіду експлуатації створює додатковий психологічний бар'єр для користувачів;
- для обслуговування складної техніки потрібно висококваліфікований персонал, що є додатковою статтею витрат.

У друкарських машинах для виконання всього різноманіття поліграфічних параметри недоступні без передплати кілька індивідуальних

приводів – багатодвигунний електропривод. У системах багатодвигунних електроприводів можливе використання загальних випрямлячів для групи широтно-імпульсних перетворювачів або автономних інверторів. Переваги таких схем в можливості енергозбереження передачею енергії гальмування з двигуна на двигун.

У системах багатодвигунних електроприводів, що використовують один блок введення та кілька інверторів, енергія гальмування одного з двигунів може перекачуватися по мережі постійної напруги на інші, не гальмуючи двигуни. В цьому випадку гальмівний резистивний модуль може не використовуватися. У разі групового гальмування електродвигунів без такого модуля обійтися не можна.

Аналогічно виконуються перетворювачі частоти фірми «ABB».

В рамках концепції «ACS 600 Multi Drive» («ACS 600 багатодвигунний електропривод» – від 2,2 до 5 кВт, від 380 до 690 В) розроблена єдина система керування приводами із загальною живильною шиною постійного струму для широкого діапазону потужностей, що дозволяє знизити витрати на налаштування і забезпечує максимальні ефективність і економічність при її використанні. Система має можливість свого розширення за рахунок об'єднання з іншими системами керування – від простих до охоплюючих все підприємство. Для керування великими системами електроприводів можливо рішення у вигляді розподіленої системи керування. Для її координації використовуються додаткові контролери і швидкодіючі локальні шини. Також є в наявності додатки до системи у вигляді програмного забезпечення (програмні пакети: «Alvabuild for Windows», «DrjveLink», «DrivcWindow», «DriveSupport»), метою яких є зниження інжинірингових витрат в залежності від вимог, що пред'являються до системи керування.

## РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1 Дослідження методів автоматичної синхронізації високоточних рухів циліндрів

Системи стабілізації швидкості (ССШ) електроприводів друкарських циліндрів застосовуються в тих випадках, коли з заданою точністю необхідно підтримувати швидкість руху друкарських циліндрів. Режими роботи ССШ тривалі з безперервним технологічним процесом. Як правило, такі промислові установки є багатодвигунними та містять від декількох електроприводів до декількох десятків електроприводів.

При тривало-безперервних режимах роботи ССШ особливих вимог до режиму пуску електроприводів не пред'являється. Режим пуску є допоміжним, ССШ проектується виходячи в основному з умов забезпечення заданої точності стабілізації швидкості в сталому режимі. Важливо при цьому виключити довготривалі дрейфи в інформаційно-вимірювальних частинах ССШ, які викликаються головним чином тепловими процесами. Найбільш важливим показником ССШ є точність стабілізації, про яку можна судити, наприклад, по відхиленню швидкості в сталому режимі після завершення перехідного процесу при зміні статичного моменту або напруги мережі. Ставлення відхилення  $\Delta w_{ст}$  до заданої швидкості  $w_3$ , визначає показник статичної точності ССШ  $\Delta w_{ст} / w_3$ , який може бути також визначений в процентному вираженні. Показник статичної точності застосовується в основному для оцінки порівняно грубих ССШ.

В сучасних системах керування електроприводами в якості регуляторів використовуються модулі контролерів приводів, і не складно отримувати невеликі статичні помилки по швидкості, якщо регулятор швидкості виконувати з інтегральною складовою. У зв'язку з цим більш важливим показником, що характеризує точність ССШ, є показник динамічної точності,

пов'язаний з оцінкою миттєвих відхилень швидкості на різних тимчасових інтервалах [7].

Миттєві відхилення швидкості залежать від ряду факторів, головні з яких:

- динамічні зміни моменту опорів і напруги мережі;
- параметричні збурення в електродвигунах, напівпровідникових перетворювачах і кінематичних передачах;
- похибки вимірювання поточних значень швидкості та перешкоди в каналах керування.

Якщо один з названих чинників виявляється більш значним у порівнянні з іншими, то точність може бути оцінена з урахуванням тільки цього фактору. В іншому випадку необхідно робити оцінку точності з урахуванням всіх основних чинників, що призводять до нестабільності системи керування.

Динамічна точність може оцінюватися по відношенню миттєвого максимального відхилення  $\Delta w_{\text{MT}}$  або середньоквадратичного відхилення  $\Delta w_{\text{СРК}}$ , до заданого значення швидкості  $w_3$ . Друга оцінка повніше характеризує точність системи, так як вона заснована на статистичних характеристиках відхилень. Динамічна точність ССШ для групи високоточних – менше 0,01%.

Залежно від вимог по точності системи електроприводу виконуються з різними інформаційними та керуючими пристроями. Застосовуються аналого-цифрові і цифрові пристрої, в яких по-різному здійснюється запис завдання вимірювання швидкості і формування алгоритмів керування.

Існують відмінності в виконанні силової частини електроприводів – у виборі напівпровідникового перетворювача, електродвигуна, кінематичної передачі. Для високоточних систем доцільно виконувати електроприводи безредукторними з керуванням від широтно-імпульсних перетворювачів.

Істотним фактором у проектуванні ССШ є діапазон регулювання рівня швидкості  $d = w_{\text{макс}} / w_{\text{мін}}$ ; де  $w_{\text{макс}}$ ,  $w_{\text{мін}}$  – максимальна і мінімальна швидкості

електроприводу. В сучасних АСУ ЕП можна забезпечити діапазони регулювання швидкості до 100 000 та більше [7].

При зміні швидкості в широкому діапазоні можуть істотно змінюватися динамічні характеристики збурюючих впливів і похибки інформаційних пристроїв. У цих умовах ССШ можуть виконуватися з переналаштуванням структури інформаційної та керуючої частин системи.

Позиційні системи електроприводів друкарських циліндрів використовуються в механізмах подач паперової стрічки. Характерним для таких приводів є наявність модулів вимірювання та регулювання положення. Загальні принципи побудови та розрахунку позиційних систем електроприводів викладені в [15]. В сучасних комплектних електроприводах реалізація цих режимів виконується за допомогою інтелектуальних модулів розширення контролерів приводів.

Динамічна точність систем визначається точністю інформаційно вимірювальних засобів і пропускнуою здатністю. У зв'язку в точних ССШ застосовуються керовані перетворювачі з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) і регулятори з інтегральними складовими.

Як відомо, позиційні режими реалізуються з використанням обмежень вихідних сигналів регуляторів положення і швидкості.

Програмною реалізацією регуляторів передбачається також аналіз рівнів сигналів завдання і помилок систем і їх похідних, меж допустимих значень змінних, корекцію обмежень та інші додаткові функції, що забезпечують задані або гранично-досяжні динамічні властивості систем.

Позиційні режими з прямокутними тимчасовими діаграмами прискорень забезпечують найбільшу швидкодію, але не є оптимальними по електроспоживанню [18] і, найголовніше, є збудниками полігармонічних коливань механізмів і джерелом додаткових похибок руху виконавчих органів. У зв'язку з цим використовують алгоритми формування трикутникових, трапецієдальних або гармонійних тимчасових діаграм

прискорень при обробці заданих переміщень. Деяка втрата в швидкодії систем принципового значення не має.

При реалізації систем з дискретними датчиками положення (наприклад, оптикоелектронними) позиціонування виконується з точністю  $\theta_0$  одного кроку датчика. При цьому в контролері приводу розраховується відповідно до величини завдання і обмеженнями на похідні прискорення оптимальної траєкторії руху механізму. Похибка позиціонування в таких системах може бути невеликою. При використанні в якості датчиків положення лазерних інтерферометрів похибка може вимірюватися мікроміліметрах [26].

## **2.2 Принципи побудови комп'ютеризованих електроприводів, які забезпечують синхронізацію високоточних рухів циліндрів і подачі паперу**

У багато-масовій і пружній механічній підсистемі (ПМП), керування якою здійснюється багатодвигунними електроприводами, механічна підсистема може бути представлена у вигляді багатьох елементів із зосередженими масами, з'єднаних між собою безмасовими пружними зв'язками.

При дослідженні ПМП виникають наступні завдання:

1) визначення структури механічної моделі ПМП, що забезпечує при  $m$  вхідних і  $r$  вихідних змінних оптимальне рішення задачі керування ПМП в друкарських апаратах (рис. 2.1);

2) аналізу і синтезу ПМП, відповідно до яких на стадії проектування знаходяться такі поєднання інерційно-жорстких і демпфуючих параметрів, які забезпечували б малу інтенсивність коливань механізму в заданих смугах частот сепаратних підсистем керування [27].

Відповідно до завдань і загальним алгоритмам синтезу електромеханічних підсистем можна окремо сформулювати і завдання синтезу електромагнітних і механічних підсистем.

Завдання синтезу електромагнітної підсистеми формується з умови отримання мінімумів динамічних помилок відтворення керуючих впливів. Синтез електромагнітних підсистем з цієї умови найчастіше може бути зведений до синтезу керованого напівпровідникового перетворювача з заданою пропускнуою здатністю керуючих впливів, адже обмеження по цій смузі частот і є перешкодою в реалізації контурів керування з заданими смугами частот, що забезпечують відтворення спектра керуючих впливів практично без спотворень.

Завдання синтезу пружних багато-масових механічних підсистем формується з умови отримання заданих динамічних підсистем в істотних для систем керування рухами смугах частот [27]. Завдання синтезу ПМП формується за результатами синтезу електромеханічної системи керування з умови отримання заданої смуги пропускання системи і відповідно мінімальних частот пружних коливань ПМП.

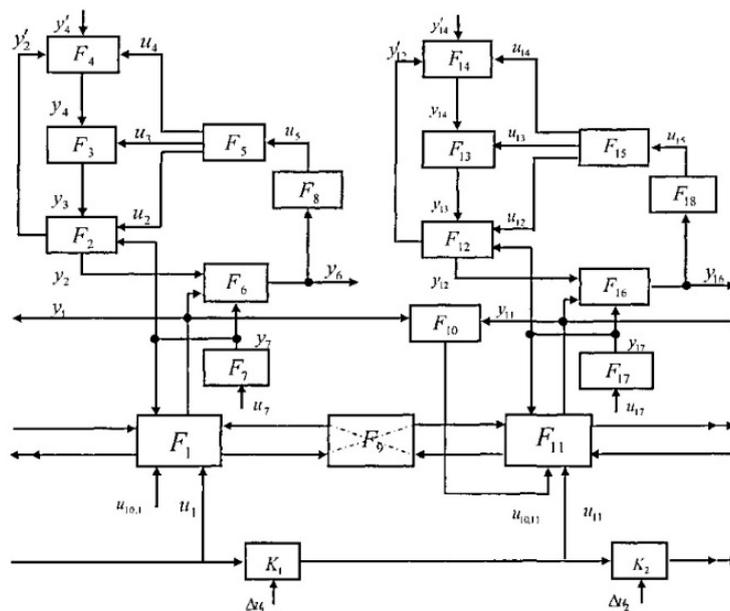


Рисунок 2.1– Структурна схема системи керування двома друкарськими апаратами  $j$  і  $j+1$ , взаємопов'язаними паперовою стрічкою

Символами  $F_1, i = 1...10$  (рис. 2.1) відображено для апарату  $j$  математичний опис відповідно:  $F_1$  – системи керування поточним становищем формового циліндра і натягом паперової стрічки;  $F_2$  – процесу передачі фарби від друкарського до формного циліндрів з керуванням балансом розчин-фарба;  $F_3$  – система керування профілем ножа подачі фарби;  $F_4$  – система керування в'язкістю фарби;  $F_5$  – алгоритму керування загальної та зональної подачею фарби;  $F_6$  – процесу передачі фарби від формового циліндра до відбитка на папері;  $F_7$  – системи керування зусиллям притиснення;  $F_8$  – системи вимірювання оптичної щільності відбитка;  $F_9$  – взаємозв'язків друкарських апаратів рухаючою пружною паперовою стрічкою;  $F_{10}$  – системи фазової синхронізації початкових положень друкарських циліндрів [25].

Символами  $F_{3,i=11...18}$  відображені аналогічні математичні описи для друкарського апарату  $j+1$ , Коефіцієнти  $K_1, K_2$  визначають співвідношення швидкостей відповідно  $j, j+1$  і  $j+1, j+2$  друкарських циліндрів.

На схемі позначені:  $U_i, i = 1...17$  – керуючі впливи,  $Y_i, i = 1...17$  – вихідні змінні локальних систем керування;  $y_2', y_{12}'$  – оцінка температури формового та фарбо-подаючих циліндрів;  $y_4', y_{14}'$  – оцінка густоти фарби.

Задана статична точність досягається шляхом налаштування друкарського процесу в налагоджувальному режимі роботи машини. Задана динамічна точність досягається конструктивним рішенням ряду принципів завдань на стадії створення машини, вибором відповідних алгоритмів керування і автоматичним налаштуванням взаємопов'язаних систем керування в режимах робочого функціонування машини.

Запишемо критерій оптимізації з умови досягнення заданої динамічної точності друку:

– швидкодії (з урахуванням обмежень на споживану потужність) та пов'язаною з ним продуктивністю;

– інтегральної квадратичної оцінки помилок керування  $i$ , пов'язаним з ним, якістю технологічного процесу.

Для взаємозалежної системи керування друкарською машиною, містить  $m$  сепаратних систем і забезпечує регулювання  $m$  вихідних змінних маємо  $m \times m$  матрицю оцінок регулювання змінних:

$$J = [J_{ij}], i = j = \bar{1, m}; \quad (2.1)$$

Формально декомпозиція забезпечується при реалізації умов діагональної домінантності матриці  $J$ , тобто:

$$J_{ii} \gg \sum J_{ij}, i \neq j; \quad (2.2)$$

де:  $J_{ij}$  – діагональний елемент матриці;

$\sum J_{ij}, i \neq j$  – сума недіагональних елементів рядка матриці оцінок.

Узагальнена оцінка може бути записана в цьому випадку у вигляді:

$$J \approx \sum r_i J_{ii}; \quad (2.3)$$

де:  $r_i > 0, \sum_{i=1}^n r_i = 1$  – ваговий коефіцієнт оцінки кожної регульованої

змінної, яка враховує її внесок у формування показників якості технологічного процесу.

Розглядаючи малі відхилення змінних, в якості  $J_{ij}$  можна використовувати інтегральну квадратичну оцінку (ІКО), при якій помилки  $i$ -ї змінної записується у вигляді:

$$J_{ij} = a_{oi} I_{oij} + a_{li} I_{lij} + \dots + a_{ri} I_{rij} + \dots + a_{ni} I_{rij} = \sum a_{ri} I_{rij}; \quad (2.4)$$

де:  $a_{ri}$  – вагові коефіцієнти;  $I_{jj} = \int e_{ij}^2(t) dt$   $I_{lij} = \int (de_{ij}(t)/dt)^2 dt$  і т.

Мінімізація узагальненої оцінки (2.1) пов'язана з мінімізацією приватних оцінок локальних систем. Частина з цих оцінок можна врахувати у вигляді обмежень, відповідних допустимих значень. Сформулюємо завдання оптимізації локальних систем керування.

Відповідно до критерію (2.3) узагальненою оцінкою якості відбитків є оцінка:

$$J = \delta = \sum_{i=1}^6 r_i \delta_i; \quad (2.5)$$

де:  $\delta_i$  – приватні оцінки похибок локальних систем.

Відповідно до локальних систем, розглянутими вище, маємо:  $\delta_1$  – похибка позиціонування друкарського циліндра;  $\delta_2$  – похибка системи стабілізації швидкості друкарського циліндра;  $\delta_3$  – похибка системи керування співвідношенням швидкості і натягу;  $\delta_4$  – похибка системи подачі фарби на друкарський циліндр;  $\delta_5$  – похибка системи регулювання в'язкості;  $\delta_6$  – похибка системи регулювання балансу розчин-фарба.

При використанні ІКО у взаємозалежних системах мінімізація матриці  $J$  призводить до реалізації умови (2.2), що відповідає декомпозиції системи, адже перетворення взаємопов'язаних сепаратних систем в квазіавтономній системі.

Декомпозиція взаємозалежної електромеханічної системи може бути формально забезпечена застосуванням багатовимірного регулятора, синтезованого методами модального керування. Але більш практичною є динамічна декомпозиція, що забезпечується, висловлюючись мовою синергетичної теорії керування, організацією притягуючих множин в фазовому просторі змінних [27]. В електромеханічних системах  $m$  притягуючих множин можуть бути утворені в  $m$  сепаратних системах, синтез алгоритмів керування якими виконується по фазовим змінним та за узагальненими змінними, істотно впливає па динаміку системи. Такими змінними є частоти комутації широтно-імпульсних модуляторів керованих напівпровідникових перетворювачів, власні частоти коливань механізмів, смуги пропускання або частоти зрізу сепаратних систем.

### 2.3 Математичний опис електромеханічних систем рулонного механізму

В основі математичного моделювання, виходячи з фізичного процесу, повинні бути використані наступні параметри (рис. 2.2):

$v_p(t)$ ,  $v_B(t)$  – швидкості рулону і стрічко-ведучих циліндрів;  $L_{p,1}$  – шлях стрічки між рулонним і стрічко-провідним циліндрами;  $F_{ПР}(t)$ ,  $\varepsilon_B(t)$  – натяг і відповідне йому відносне подовження стрічки на виході і стрічко-ведучих циліндрів [20–23,27,30].

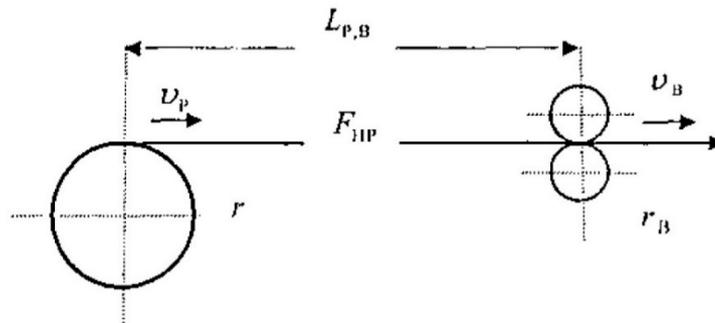


Рисунок 2.2– Функціональна схема системи керування рулонним механізмом

При математичному моделюванні для опису параметрів  $v_p(t)$ ,  $v_B(t)$ ,  $L_{p,1}$ ,  $F_{ПР}(t)$ ,  $\varepsilon_B(t)$  відносне подовження стрічки на виході стрічко-ведучих циліндрів рівно:

$$\varepsilon_B = \frac{v_B - v_p}{v_p}; \quad (2.6)$$

Зв'язок між напругою в стрічці і її відносним подовженням виражається рівнянням:

$$\delta^m = E\varepsilon; \quad (2.7)$$

де:  $m$ –показник нелінійності матеріалу стрічки, то її натяг  $F_{ПР}$ , на ділянці  $L_{p,1}$  дорівнюватиме:

$$F_{\text{ПП}} = \sigma \cdot b \cdot \delta = b \delta_m \sqrt{E \frac{v_B - v_p}{v_p}}; \quad (2.8)$$

де:  $\delta$ ,  $b$ ,  $E$  – відповідно товщина, ширина і модуль пружності стрічки.

Натяг стрічки може бути створено за рахунок різниці швидкостей стрічко-ведучих циліндрів і рулону.

Різниця може бути забезпечена двома шляхами:

- 1) прикладенням до рулону гальмівного моменту;
- 2) примусовим обертанням рулону із заданою швидкістю  $v_p$ , від приводу.

Зміна радіуса рулону в функції кута  $\varphi$  його поточного повороту при розмотуванні може бути представлено рівнянням спіралі:

$$r(\varphi) = r_0 - \frac{\delta}{2\pi} \varphi; \quad (2.9)$$

де:  $r$ ,  $r_0$  – поточний і початковий радіуси рулону.

Закономірність зміни радіуса рулону і його частоти обертання  $w_p$  знайдемо, диференціюючи вираз (2.9) за часом і вирішуючи отримане диференціальне рівняння:

$$\frac{dr}{dt} = -\frac{\delta}{2\pi} \frac{d\varphi}{dt} = -\frac{\delta}{2\pi} w_p = -\frac{\delta}{2\pi} \frac{v_p}{r}; \quad (2.10)$$

Поділяючи в ньому змінні і враховуючи початкова умова  $r = r_0$  при  $t = 0$ , отримаємо:

$$r = \sqrt{r_0^2 - \frac{v_p \delta}{\pi} t}; \quad (2.11)$$

Зі зменшенням радіуса рулону частота обертання рулону зростає а момент інерції зменшується:

$$w_p = \frac{v_p}{r} = \frac{v_p}{\sqrt{r_0^2 - \frac{v_p \delta t}{\pi}}}; \quad (2.12)$$

$$J_p \cong \frac{mr^2}{2} - \frac{m_k r_k^2}{2} = \pi r^2 b \gamma r^2 - \pi r_k^2 b \gamma r_k^2 = \pi b \gamma (r^4 - r_k^4); \quad (2.13)$$

де:  $m = b \gamma \pi (r^2 - r_k^2)$  – маса рулону;

$r_k$  – внутрішній діаметр втулки рулону;

$\gamma$  – питома маса стрічки.

Складемо рівняння моментів щодо вісі обертання рулону використовуючи принцип Даламберау.

$$F_{HP} r = (J_p + J_0) \frac{dw_p}{dt} + M_T; \quad (2.14)$$

де:  $J_0$  – момент інерції валів, на яких встановлено рулон.

Кутове прискорення рулону в сталому режимі руху стрічки рівне нулю.

$$\frac{dw_p}{dt} = -\frac{v_p}{r^2} \frac{dr}{dt} = \frac{\delta}{2\pi} \frac{v_p^2}{r^3}; \quad (2.15)$$

натягу стрічки в сталому режимі її руху:

$$F_{HP} = (J_p + J_0) \frac{\delta}{2\pi} \frac{v_p^2}{r^4} + \frac{M_T}{r}; \quad (2.16)$$

З формули (2.16) можна зробити наступні практичні висновки:

– величини  $r$  і  $J_p$  є змінними, зокрема спадаючими, сталість натягу стрічки в процесі розмотування рулону може бути досягнуто тільки відповідним зменшенням гальмівного моменту  $M_T$ ;

– інерційні сили рулону в сталому режимі пропорційні товщині стрічки і квадрату окружної швидкості рулону;

– оскільки радіус рулону зменшується в процесі розмотування, а сила інерції збільшується, то для забезпечення умови  $F_{HP} = \text{const}$  необхідно буде змінити знак перед членом  $M_T/r$  тобто, замість гальмівного моменту прикласти до рулону додатковий крутний момент [20].

## 2.4 Керування розмотуванням рулону при непрямому і безпосередньому контролі натягу

Система керування електроприводом розмотуванням рулону здійснює зазвичай стабілізацію швидкості.

Завданням електроприводу розмотуванням пристрою є регулювання або підтримки натягу [7]. В цьому випадку при зміні радіуса  $r_p$  не потрібно зміна швидкості двигуна і завдання системи керування електроприводом розмотувального пристрою зводиться до стабілізації швидкості або моменту.

Момент на валу змотувального пристрою включає в себе наступні складові:

$$M = M_{KOP} + M_{BT} + M_{def} + M_{дин}; \quad (2.17)$$

де:  $M_{кор}$  – корисний момент, тобто момент, необхідний для створення заданого натягу  $F$ ;

$M_{BT}$  – момент, необхідний для подолання втрат у системі «двигун - механізм»;

$M_{def}$  – момент, що витрачаються на деформацію згину смуги при змотуванні рулону;

$M_{дин}$  – динамічний момент, обумовлений прискоренням змотувального пристрою при розгоні та гальмуванні і зміною кутової швидкості рулону, пов'язаних зі зміною його радіуса.

В процесі змотування корисний момент визначається виразом:

$$M_{KOP} = Fr_p; \quad (2.18)$$

при постійному зусиллі натягу  $F = \text{const}$  він прямо пропорційний радіусу рулону. Корисна потужність є:

$$P_{KOP} = Fv_p; \quad (2.19)$$

та при постійному натягу полотна, незалежно від радіуса, пропорційна швидкості смуги.

Звідси видно, що при даному значенні  $\nu_r$  діапазон регулювання швидкості двигуна дорівнює діапазону зміни радіуса рулону.

Розрізняють два способи керування натягом:

1 – за регульованим параметром, коли натяг вимірюється за допомогою того чи іншого вимірника натягу, вихідна напруга якого уа вході замкнутої системи порівнюється із заданим значенням;

2 – по побічно певному значенню натягу, тобто по одній з величин або по їх комбінації, мінливої в функції  $F$ .

Системи з непрямим виміром натягу мають широке поширення. Їх недоліком є обов'язковість введення поправки для обліку статичних втрат МВТ, а при перемотуванні товстої смуги і моменту, необхідного для вигину смуги під час намотування і розмотування  $M_{\text{деф}}$ .

Вирази (2.18) та (2.19) можуть служити підставою для оцінки можливостей побудови системи з непрямим виміром натягу. Якщо знехтувати різницею між моментом двигуна і корисним моментом, вважаючи, що вплив трьох останніх доданків у виразі (2.17) або дуже малий, або його буде компенсовано, а також знехтувати втратами моменту обертання електродвигуна  $M_P$ , то можна сказати, що електромагнітний момент двигуна повинен змінюватися по закону:

$$M_{EM} = Fr_p; \quad (2.20)$$

З іншого боку:

$$M_{EM} = c_D \Phi i_a; \quad (2.21)$$

В результаті порівняння цих виразів може бути сформульований найбільш поширений закон непрямого регулювання натягу: при заданому постійному натягу  $F$  треба підтримувати постійним якірний струм, змінюючи потік збудження двигуна пропорційно радіусу рулону.

Другий спосіб непрямого регулювання натягу складається в регулюванні корисної потужності, яка повинна підтримуватися постійною

при даній швидкості і натягу, і змінюватися при зміні  $v$  або заданого натягу. Одним із шляхів реалізації даного способу є вимір і регулювання шляхом впливу на напругу перетворювача електромагнітної потужності двигуна, яка вважається приблизно рівною корисною. Динамічний момент на валу двигуна визначиться як:

$$M_{\text{дин}} = J \frac{d\omega}{dt}; \quad (2.22)$$

де:  $J$  – момент інерції обертових частин розмотувального пристрою разом з рулоном, наведений до двигуна;

$\omega$  – кутова швидкість двигуна.

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{r_p} \frac{dv_p}{dt} - \frac{v_p}{r_p^2} \frac{dr_p}{dt}; \quad (2.23)$$

Можна записати:

$$M_{\text{дин}} = M_{\text{дин1}} + M_{\text{дин2}}; \quad (2.24)$$

Складова  $M_{\text{дин1}}$  обумовлена необхідністю створення прискорення  $dv_p/dt$  при даному радіусі рулону  $r_p$  та дорівнює:

$$M_{\text{дин1}} = \frac{J}{r_p} \frac{dv_p}{dt}; \quad (2.25)$$

Вхідне сюди значення  $J$  залежить від  $r_p$ . Складова  $M_{\text{дин2}}$ , зобов'язана своїм існуванням зміни  $r_p$ , є:

$$M_{\text{дин2}} = \frac{Jv_p}{r_p^2} \frac{dr_p}{dt}; \quad (2.26)$$

Момент інерції рулону включає в себе незмінний момент інерції обертових частин механізму і двигуна  $J'$  мінливий зі зміною радіуса рулону момент інерції розмотуючого рулону:

$$J'' = \frac{m\rho^2}{i^2}; \quad (2.27)$$

де:  $m$  – маса матеріалу в рулоні, кг;

$\rho$  – радіус інерції рулону.

Маса:

$$m = q \cdot 10^3 \pi (r_p^2 - r_{p\text{мин}}^2) b; \quad (2.28)$$

де:  $q$  – питома щільність, т/м<sup>3</sup>;

$r_p$  – поточний радіус валу, на який розмотується матеріал;

$b$  – ширина матеріалу.

Квадрат радіуса інерції рулону:

$$\rho^2 = \left( \frac{r_p^2 + r_{p\text{мин}}^2}{2} \right); \quad (2.29)$$

Тоді:

$$J = J' + J'' = \frac{q \cdot 10^3 \pi b}{2i^2} r_p^4 + J_0; \quad (2.30)$$

$$J_0 = J' - \frac{q \cdot 10^3 \pi b r_{p\text{мин}}}{(2i^2)}; \quad (2.31)$$

Складові динамічного моменту на підставі (2.25) і (2.26) будуть визначатися відповідно до виразів:

$$M_{\text{дин1}} = \left( \frac{q \cdot 10^3 \pi B}{2i} r_p^3 + \frac{J_0 i}{r_p} \right) \frac{dV}{dt}; \quad (2.32)$$

$$M_{\text{дин2}} = \left( \frac{q \cdot 10^3 \pi B}{2i} r_p^2 V + \frac{J_0 V i}{r_p^2} \right) \frac{dr_p}{dt}; \quad (2.33)$$

Зв'язок між радіусом рулону і швидкістю розмотування може бути встановлена, якщо записати вирази для зміни обсягу рулону  $\Delta Q_p$  за час  $t$ , протягом якого радіус рулону змінюється від  $r_{p\text{поч}}$  до  $r_p$ :

$$\Delta Q_p = \pi (r_p^2 - r_{p\text{поч}}^2) b; \quad (2.34)$$

З іншого боку, цю величину можна виразити через товщину смуги  $\delta$ , її ширину  $B$  і довжину розмотаної за час  $t$  стрічки:

$$I = \int_0^l v_p dt; \quad (2.35)$$

$$\Delta Q_p = b\delta \int_0^1 v_p dt; \quad (2.36)$$

З цих двох виразів поточне значення радіуса рулону визначиться як:

$$r_p = \sqrt{r_{pнн}^2 + \frac{\delta}{\pi} \int_0^1 v_p dt}; \quad (2.37)$$

а його похідна:

$$\frac{dr_p}{dt} = \frac{\delta v_p}{2\pi \sqrt{r_{pнн}^2 + \frac{\delta}{\pi} \int_0^1 v_p dt}} = \frac{\delta v_p}{2\pi r_p}; \quad (2.38)$$

Після підстановки цього виразу в вираз для  $M_{дин2}$  виходить:

$$M_{дин2} = \left( \frac{q \cdot 10^3 \pi b}{2i} r_p + \frac{J_0 i}{r_p^3} \right) \frac{\delta}{2\pi} v_p^2; \quad (2.39)$$

Вирази (2.30) – (2,39) дозволяють при відомих  $r_{p,поч}$ ,  $\delta$ ,  $J_0$ ,  $q$ ,  $b$  і заданому характері зміни швидкості в часі розрахувати залежності зміни радіуса рулону, моменту інерції та динамічних моментів від часу.

## 2.5 Математичний опис електромеханічних систем стрічко-ведучих пар циліндрів в друкарських секціях

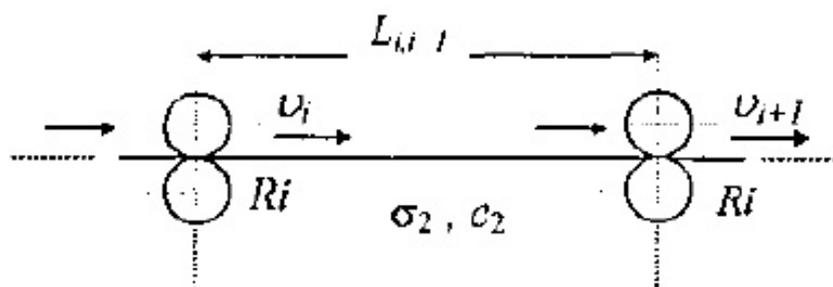


Рисунок 2.3 – Математичний опис електромеханічних систем стрічко-ведучих пар циліндрів в друкарських секціях

Розглянемо загальну схему руху стрічки (рис. 2.3.), на якій прийняті наступні позначення:

$v_i = v_i(t)$ ,  $v_{i+1} = v_{i+1}(t)$  – швидкості  $i$ -ї,  $i+1$ -ї стрічко-ведучих пар циліндрів;  $L_{i,i+1} = L_{i,i+1}(t)$  – шлях стрічки між  $i$ -ю і  $i+1$ -ю парами;  $F_{in}(t)$ ,  $\varepsilon_i(t)$  – натяг і відповідне йому відносне продовження стрічки на вході в  $i$ -ю пару;  $F_{i,i+1}(t)$ ,  $\varepsilon_{i+1}(t)$  – натяг і відносне подовження стрічки на вході у  $i+1$ -ю стрічко-ведучу пару [20].

Розглянемо механіку натягнутої стрічки, що переміщується двома послідовно встановленими стрічко-ведучими парами. Механічні властивості паперу задовольняють закону Гука, тобто  $\Delta\delta = E_{IP}\Delta\varepsilon$ , де  $\Delta\delta$  – напруга,  $E_{IP}$  – наведений модуль пружності,  $\Delta\varepsilon$  – відносна деформація стрічки, ці властивості незмінні при проходженні стрічки через машину.

Для визначеності шуканої величиною покладемо відносне подовження стрічки  $\varepsilon_{i+1}$  на ділянці  $L_{ij+1}$  а інші функції – заданими. В деякий момент часу  $t$  кількість стрічки на ділянці  $L_{t,i+1}$  між секціями циліндрів рівно:

$$L_{t,i+1,0} = \frac{L_{i,i+1}}{1 + \varepsilon_i}; \quad (2.40)$$

Визначимо зміну  $\Delta L_{t,i+1,0}$  кількості стрічки на ділянці між ротаційними парами за нескінченно малий час  $\Delta t$ :

$$\Delta L_{t,i+1,0} = \frac{v_i \cdot \Delta t}{1 + \varepsilon_i} - \frac{v_{i+1} \cdot \Delta t}{1 + \varepsilon_{i+1}}; \quad (2.41)$$

Розділимо обидві частини на  $\Delta t$  і перейдемо до межі при  $\Delta t \rightarrow 0$ :

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta L_{t,i+1,0}}{\Delta t} = \frac{dL_{t,i+1,0}}{dt} = \frac{v_{i+1}}{1 + \varepsilon_{i+1}} - \frac{v_i}{1 + \varepsilon_i}; \quad (2.42)$$

Продиференціюємо обидві частини рівняння (2.40) за часом і отриманий результат підставимо в рівняння (2.42); отримаємо диференціальне рівняння зв'язує між собою деформації  $\varepsilon_{i+1}$  і  $\varepsilon_i$ :

$$L_{t,i+1} = \frac{d\varepsilon_{i+1}}{dt} = \left[ v_{i+1}(1 + \varepsilon_i) - v_i(1 + \varepsilon_{i+1}) \right] \frac{1 + \varepsilon_{i+1}}{1 + \varepsilon_i}; \quad (2.43)$$

Так як  $\frac{1 + \varepsilon_{i+1}}{1 + \varepsilon_i} \approx 1$  тоді:

$$L_{t,i+1} = \frac{d\varepsilon_{i+1}}{dt} = v_{i+1}(1 + \varepsilon_i) - v_i(1 + \varepsilon_{i+1}); \quad (2.44)$$

Розглянемо два окремих випадки:

– Якщо  $v_{i+1} = v_i = v$ , то рівняння (2.44) набирає вигляду:

$$L_{t,i+1} = \frac{d\varepsilon_{i+1}}{dt} = v(\varepsilon_i - \varepsilon_{i+1}); \quad (2.45)$$

– Якщо  $\varepsilon_i = 0$ , то рівняння (2.44) приймає вид:

$$L_{t,i+1} = \frac{d\varepsilon_{i+1}}{dt} = v_{i+1} - v_i(1 - \varepsilon_{i+1}); \quad (2.46)$$

З цих рівнянь слідують умови сталості відносної деформації стрічки, які можуть бути знайдені шляхом підстановки в них значення похідної  $\frac{d\varepsilon_{i+1}}{dt} = 0$ . Здійснивши цю підстановку в рівняння (2.43), отримаємо:

$$\frac{d\varepsilon_{i+1}}{dt} + A_{i+1}(t) \cdot \varepsilon_{i+1} = B_{i+1}(t); \quad (2.47)$$

$$\text{де: } A_{i+1}(t) = -\frac{1}{L_{i,i+1}} \left( v_i - \frac{dL_{i,i+1}}{dt} \right); \quad B_{i+1}(t) = \frac{1}{L_{i,i+1}} \left( v_{i+1} - v_i + v_{i+1}\varepsilon_i + \frac{dL_{i,i+1}}{dt} \right);$$

рівняння (2.44) має вигляд:

$$\varepsilon_{i+1} = e^{-\int A_{i+1} dt} \left[ c_{i+1} + \int B_{i+1}(t) \cdot e^{-\int A_{i+1}(t)} dt \right]; \quad (2.48)$$

де:  $C_{i+1}$  – постійна інтегрування.

Рівняння записані в рекурентній формі і дозволяють послідовно знайти змінне деформаційного стану рухаючої стрічки ( $i=1,2,\dots,n$ ) в стрічко-провідній системі з  $n$  стрічко-провідними парами циліндрів, якщо відома зміна  $\varepsilon_i$  на вході системи, а  $v_{i+1}$  і  $v_i$  задані як функції часу.

$$\varepsilon_i = c^{-\int A_i dt} \left[ c_i + \int B_i(t) \cdot c^{-\int A_i(t) dt} dt \right]; \quad (2.49)$$

У сталому режимі всі величини в рівнянні (2.47) постійні, а похідні за часом рівні нулю.

$$\varepsilon_i^{ycu} = \frac{B_i^{ycm}}{\Lambda_i^{ycm}} = \frac{v_i - v_{i+1}}{v_{i-1}} + \frac{v_i}{v_{i-1}} \varepsilon_{i-1}^{ycm}; \quad (2.50)$$

## 2.6 Система керування швидкістю, співвідношенням швидкостей провідних валів і циліндрів і натягом паперової стрічки

Для якісної подачі паперової стрічки швидкість наступних пар провідних циліндрів паперово-провідної системи перевищує швидкість попередніх пар приблизно на 2–3%. В таких умовах паперова стрічка в процесі руху отримує деяке продовження і знаходиться в напруженому стані [7].

Поведінка полотна на ділянці розтягування з урахуванням швидкісного і внутрішнього демпфірування описується диференціальними рівняннями:

$$F_{i,i+1} = \left[ \left( \frac{c_{i,i+1}}{p} \right) + b_{i+1} \right] [v_{i+1} - v_i (1 + \varepsilon_i)]; \quad (2.51)$$

$$\varepsilon_{i,i+1} = \left( \frac{1}{L_{i,i+1}} \right) \left[ \frac{1}{(c_{i,i+1} + b_{i,i+1} p)} \right] F_{i,i+1}; \quad (2.52)$$

де:  $p = \frac{d}{dt}$ ;  $F_{i,i+1}$  – натяг;

$\varepsilon_{i,i+1}$  – відносне продовження;

$v_{i+1}$ ;  $v_i$  – лінійні швидкості полотна на початку і в кінці ділянки розтягування;

$c_i$ ; і  $b_i$  – коефіцієнти жорсткості і внутрішнього демпфування.

Записуючи рівняння рівноваги моментів в електроприводі для випадку, коли параметри електроприводу приведені до приводного валу, отримаємо систему рівнянь:

$$M_i - M_{ci} + (F_{i+1} - F_i)r \cdot J_i \cdot w_i p = 0; \quad (2.53)$$

$$v_i = w_i r;$$

$$F_{i+1} = \left( \frac{c_{i+1}}{p} + b_{i+1} \right) [v_{i+1} - v_i (1 + \varepsilon_{i+1})];$$

$$\varepsilon_{i+1} = \frac{1}{L_{i,i+1}} \frac{1}{b_{i+1} p} F_{i+1};$$

$$M_{i+1} - M_{ci+1} + (F_{i+2} - F_{i+1})r - J_{i+1} w_{i+1} p = 0;$$

де:  $M_i$ ,  $M_{i+1}$  – момент електродвигуна і момент опорів, наведені до приводного валу;

$J_i$  – приведений момент інерції;

При русі полотна ефект заміщення коливаючого полотна не вважається полотном на ділянці розтягування між двома валами робить значно більший демпфуючий вплив в порівнянні з ефектом внутрішнього демпфування полотна.

Системи рівнянь (2.53) є нелінійними через наявність добутку  $v_i \varepsilon_{i+1}$ . Розглядаючи для ССС перехідні процеси в збільшеннях координат щодо початкових значень, можна записати системи рівнянь в наступному вигляді:

$$\Delta M_i - \Delta M_{ci} + (\Delta F_{i+1} - \Delta F_i)r - J_i \Delta w_i p = 0; \quad (2.54)$$

$$\Delta v_i = \Delta w_i r;$$

$$\Delta F_{i+1} = \left( \frac{c_{i+1}}{p} + b_{i+1} \right) [\Delta v_{i+1} - \Delta v_i (1 + \varepsilon_{i+1\text{ноч}}) - v_i \Delta \varepsilon_{i+1}];$$

$$\Delta \varepsilon_{i+1} = \frac{1}{L_{i,i+1}} \frac{1}{c_{i+1} + b_{i+1} p} \Delta F_{i+1};$$

$$\Delta M_{i+1} - \Delta M_{ci+1} + (\Delta F_{i+2} - \Delta F_{i+1})r - J_{i+1} \Delta w_{i+1} p = 0;$$

$$\Delta v_{i+1} = \Delta w_{i+1} r;$$

де:  $v_{i\text{ноч}}, v_{i+1\text{ноч}}$  – початкові значення лінійних швидкостей руху полотна;

$\varepsilon_{i+1\text{ноч}}$  – початкове значення відносних подовжень.

У зв'язку з тим, що початкові значення відносних подовжень  $\varepsilon_{i+1\text{ноч}}$  виявляються багато менше одиниці, можна в рівняннях системи (2.54) вважати справедливими наближені рівності:

$$(1 + \varepsilon_{2\text{ноч}}) \approx 1; \quad (2.55)$$

Прагнення підвищити продуктивність рулонних ротаційних машин призводить до збільшення швидкостей руху паперових стрічок. При цьому для зменшення небезпеки обриву паперової стрічки використовують різні амортизуючі пристрої: пружинні, пневматичні, петльові, механічні. Великого поширення набули пружинні амортизаційні валики. Разом з тим, застосування пружинного амортизатора призводить до деякого збільшення відносного подовження. Ефективно їх застосування в разі знакозмінної зміни натягу паперової стрічки, наприклад, в результаті биття рулону. Разом з цим, набувають поширення системи амортизації з використанням високодинамічних систем керування натягом, з використанням датчиків, що перебувають під валиками переміщення.

Структурна схема системи керування швидкостями, співвідношеннями швидкостей друкарських циліндрів та натягу в трактах рулонного механізму провідних валів фальцапарата показана на рисунку 2.4 [24].

Швидкість друкарської машини задається сигналом  $U_{03}$ , співвідношення швидкостей окремих друкарських циліндрів визначаються коефіцієнтами  $K_1, K_2$ . Системою реалізується послідовне (каскадне) керування співвідношенням швидкостей. Завдання натягу виконується сигналами  $U_{F1}, U_{F2}$ .

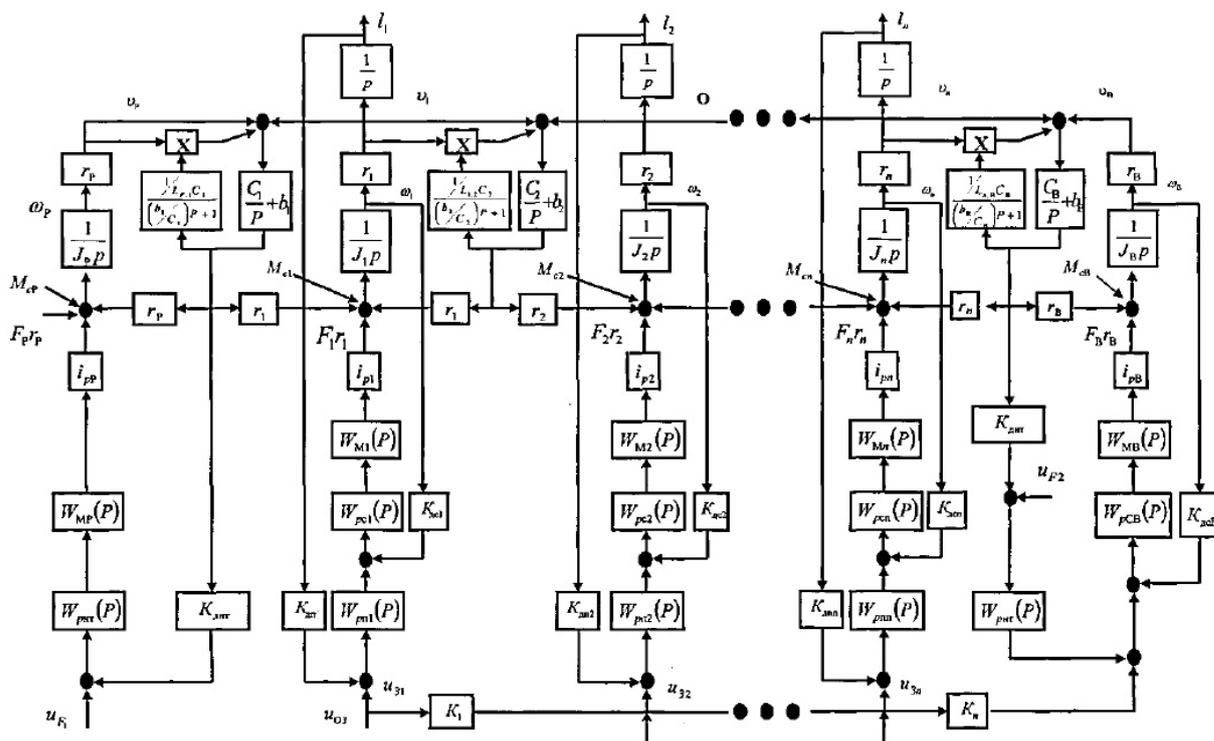


Рисунок 2.4 – Структурна схема системи керування швидкостями, співвідношеннями швидкостей друкарських циліндрів і натягу

На схемі з відповідними індексами позначені:  $W_{рп}(p)$ ,  $W_{рс}(p)$ ,  $W_{рв}(p)$  та  $W_{м}(p)$  – передавальні функції відповідно регуляторів положення, швидкості, натягу та моменту.

Взаємозв'язок локальних систем керування електроприводами через загальне обробляюче полотно має місце в тих випадках, коли рух полотна в міжсекційному проміжку відбувається з певним значенням натягу  $F$ .

Основні співвідношення, що характеризують взаємозв'язок електроприводів через полотно, можуть бути встановлені на підставі схеми, представлені на рисунку 2.4. Радіуси всіх приводних циліндрів однакові:  $r_1 = r_2 = \dots = r_n$  а пружні деформації в кінематичному ланцюзі двигун – приводний вал кожного з електроприводів відсутні в даній смузі частот.

При розгляді динамічних процесів в натягнутому в міжсекційному проміжку полотні робляться такі припущення: 1 – полотно однорідний і має по всій довжині однакову товщину і ширину; 2– вага матеріалу не впливає на

його деформацію; 3 – деформація в полотні має пружний характер, причому рівномірно розподіляється по поперечному перерізі; 4– хвильові процеси, пов'язані з розподілом деформації по довжині, несуттєві; 5 – прослизання рухомого полотна щодо приводних валів відсутня.

Найбільш перспективним є метод непрямого вимірювання та регулювання міжсекційних натягів, заснований на використанні моделі об'єкта з доступним виміром енергосилових параметрів друку (струми або моменти рухів головних приводів, зусилля тиску стрічки на циліндрі).

Обчислювальний алгоритм непрямого вимірювання міжсекційних питомих натягів  $\delta_i$  (реалізується при безперервному вимірі моментів приводів  $M_i$  зусиль друку  $F_i$ , с фіксуванням цих значень після захоплення стрічки кожною секцією (фіксовані значення відзначені \*):

$$\Delta M_{i+1} = M_{\phi i+1} - M_{i+1} + \left( \frac{r_{i+1}}{r_i} \right) \Delta M; \quad (2.56)$$

$$M_{\phi i} = M_{\phi i}^* \left( \frac{F_i}{F_i^*} \right); \quad (2.57)$$

$$M_{\phi i+1}^* = M_{i+1}^* - \Delta M_i^* \left( \frac{r_{i+1}}{r_i} \right); \quad (2.58)$$

$$\delta_i = \frac{\Delta M_i}{(Q_i r_i)}; \quad (2.59)$$

де:  $i$  – номер ПА;

$\Delta M_{i+1}$  – зміна моменту приводу, викликаного зусиллям натягу;

$M_i, M_{\phi i}$ ; – повний момент приводу і момент, що витрачаються на деформацію стрічки;

$r_i$  – радіус валка;

$Q_i$  – перетин матеріалу.

Одночасно з появою значень міжсекційних натягів включаються відповідні контури регулювання з відпрацюванням неузгодженості по схемі

узгодженого керування швидкісним режимом ПА-й. Принципи узгодженого керування швидкісного режиму ПА-ю відповідно до якого задається співвідношення швидкостей ПА-й, випливає з умови збереження секундного обсягу стрічки:

$$\frac{w_{i+1}}{w_i} = \frac{\lambda_{i+1} r_i (1 + S_i)}{[(1 + S_{i+1})]}, \quad (2.60)$$

де:  $\lambda_i$  – витяжка  $i$ -ї ПА;

$S_i$  – випередження стрічки в зоні деформації.

При відносній зміні швидкості однієї з ПА-й відносна зміна швидкості другої ПА-ї має бути такою ж.

Функціональна схема системи керування безперервною групою ПА-ї з регулюванням співвідношень швидкостей і міжсекційних натягів приведена на рисунку 2.5.

Вимірювачі натягів  $ВН_1 \div ВН_3$  відповідно до викладеного вище алгоритмом обчислюють значення питомих натягів  $\delta_i \div \delta_3$ . Вимірювання зусиль виконується за допомогою датчиків зусиль  $ДЗ_1 \div ДН_3$ . Відповідно до заданими значеннями питомих натягів  $\delta_{\min}$ , які забезпечують мінімальні рівні натягів, що не приводять до деформацій металу в міжсекційному проміжку, регулятори натягу  $РН_1 \div РН_3$  формують сигнали корекції значень  $u_{к1} \div u_{к3}$ , що призводять до зміни швидкостей ПА-й і відповідно міжсекційних натягів. Сигнали корекції  $u_{кi}$  підсумовуються з сигналами завдання співвідношення швидкостей  $u_{сс1} \div u_{сс3}$  і через розмножувальний модуль формують абсолютне значення коригування швидкості ПА. Регулятори натягів як правило повинні мати інтегральні складові в алгоритмі регулювання.

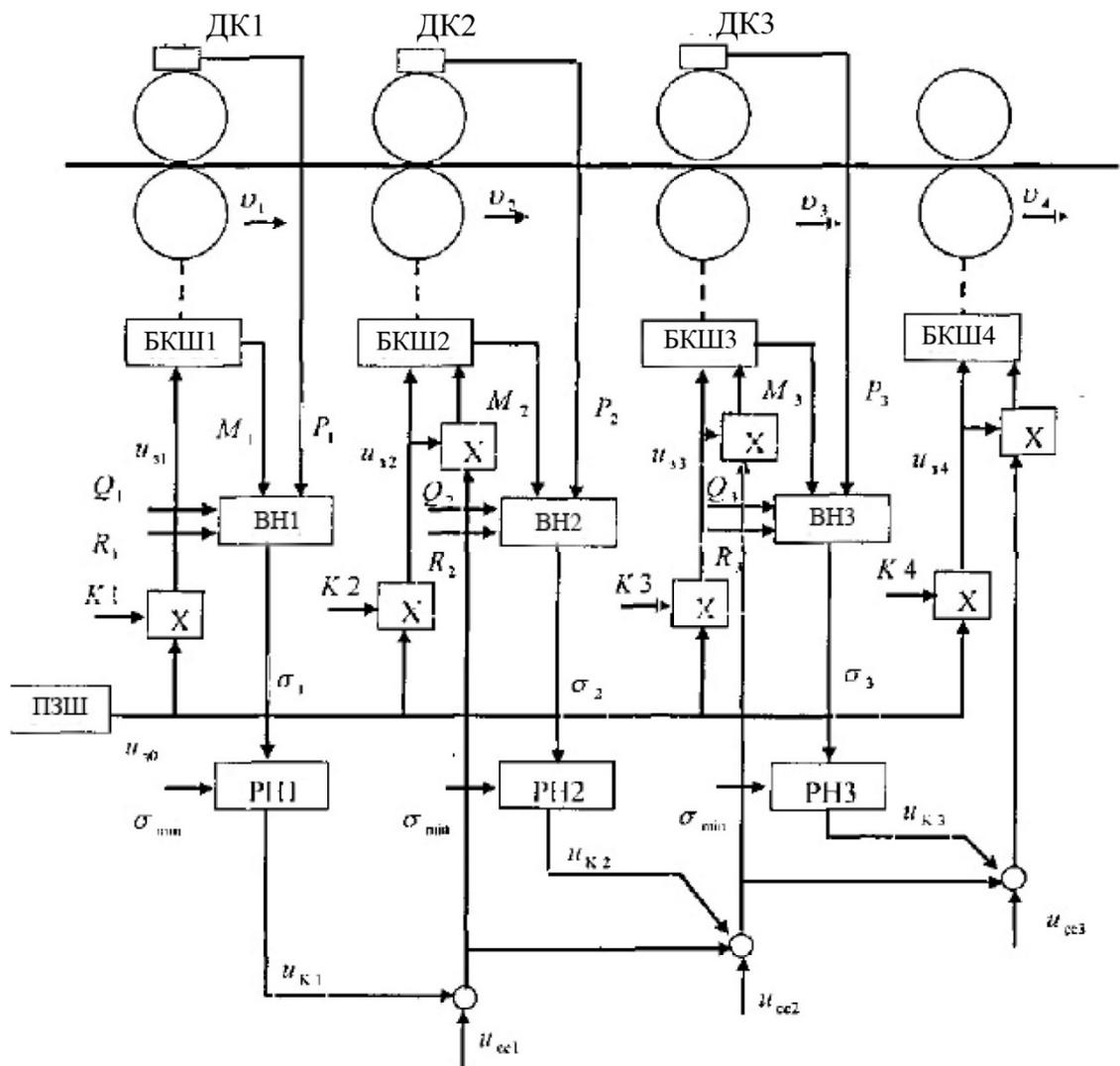


Рисунок 2.5 – Функціональна схема системи керування безпервною групою ПА-ю з регулюванням співвідношень швидкостей і міжсекційних натягів

## 2.7 Математичний опис системи автоматичного керування суміщенням фарб

Визначимо функціональний зв'язок між величиною не приводки фарб і відносною деформацією рухаючої стрічки. Розглянемо окремих апарат (рис. 2.6.). На друкарському циліндрі якого нанесені мітки  $M (0,1,2, \dots)$  [20–21].

Припустимо, що є жорстка вісь  $t_0$ , яка при обертанні циліндрів переміщається ними без прослизання, а на самій вісі  $t_0$  також нанесені

відповідні мітки М. При поєднанні початкових міток 0 на вісі і на циліндрі в подальшому, при обертанні циліндрів, відповідні мітки друкарського циліндра і жорсткої вісі в контактній зоні завжди будуть чітко збігатися. Наведемо в рух циліндри з постійною швидкістю  $v_{\pi}$  і одночасно будемо міняти натяг стрічки по деякому закону  $F_H(t)$ , де  $t$  – поточний час.

При цьому стрічка буде деформуватися на  $\varepsilon(t)$  перед входом в контактну зону циліндрів. Якщо відомий закон  $\varepsilon(t)$  то:

$$\Delta S = \varepsilon(t) \cdot v_{\pi} \cdot \Delta t; \quad (2.61)$$

де:  $\Delta S$  – не суміщення між мітками М/ і М, що виникає за час  $\Delta t$ .

Здійснюючи граничний перехід при  $\Delta t \rightarrow 0$ , отримуємо:

$$\Delta S = C \cdot \int v_{\pi} \cdot \varepsilon(t) dt; \quad (2.62)$$

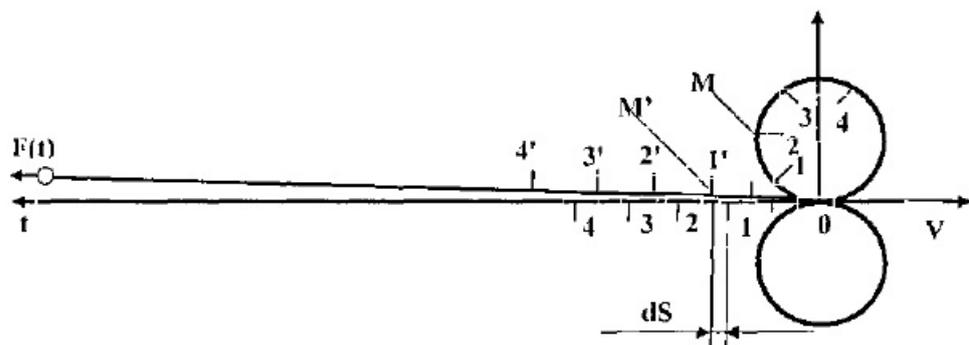


Рисунок 2.6 – Схема ротаційного апарату

де:  $C$  – постійна інтегрування;  $S = S(t)$  – поточне не суміщення між мітками М/ і М в момент проходження через зону контакту мітки М, яке для визначеності назовемо умовним не суміщенням фарб.

Розглянемо стрічко-провідну систему, яка містить  $n$  друкарських апаратів (1,2, .. в ...d, ..., n) з рівними діаметрами циліндрів, послідовно встановлених один за одним. Припустимо, що при  $t = 0$  всі фарби точно поєднувалися, а відносні деформації стрічки  $\varepsilon(t)$  на вході до відповідних друкарських апаратів (ПА) були постійні. Нехай в деякий момент часу

величини  $\varepsilon_i$  починають змінюватися. Тоді для кожної фарби можна обчислити її умовне не суміщення:

$$S_i(t) = v_{II} \cdot \int_0^t \varepsilon_i(t) dt; \quad (2.63)$$

Вираз (2.63) в єдиній системі координат може бути записано в вигляді:

$$S_i^0(t) = \begin{cases} 0 & 0 \leq t \leq \tau_{i+1}; \\ S_i(t - \tau_{i+1}) & t \geq \tau_{i+1} \end{cases} \quad (2.64)$$

де:  $S_i(t - \tau_{ia})$  – функція аргументу;

$$t = \tau_{in}; \tau_{in} = \frac{1}{v_{11}} \sum_{j=n-1}^n L_j - \text{час переміщення точки на стрічці від } i \text{-го до}$$

останнього  $n$ -го друкарського апарату, при деякому постійному натягу стрічки. Вирази (2,64) будемо називати перетвореним умовним не суміщенням  $i$ -ї фарби. Фізична сутність цього виразу полягає в наступному, несумісність фарби на стрічку, запечатаній в  $i$ -й ПА, в зоні останнього ПА можна побачити тільки після закінчення часу  $\tau_{in}$ .

Якщо  $S_b^0$  і  $S_d^0$  – перетворені умовні не суміщення  $b$ -ї і  $d$ -ї фарб і для визначеності  $b > d$ , то несумісність між цими фарбами один щодо одного рівно:

$$S_{db} = S_d^0 - S_b^0 = S_d(1 - \tau_{d+1}) - S_b(1 - \tau_{bn}); \quad (2.65)$$

Іноді при розрахунках зручніше прийняти в якості останнього апарат, тоді формула (2.65) буде мати вигляд:

$$S_{db} = S_d - S_b(t - \tau_{bd}); \quad (2.66)$$

Отримані формули (2.63) – (2.65) дають можливість перейти до операторної формі їх запису, зручною для розрахунку систем автоматичного регулювання приведення фарб:

$$S_i(p) = \frac{v_{II} \varepsilon_i(p)}{p}; \quad (2.67)$$

$$\dot{S}_i(p) = S_i(p) \cdot e^{-p\tau_{i+1}}; \quad (2.68)$$

$$S_{db}(p) = S_d^0(p) - S_b^0(p) = [\varepsilon_d(p) \cdot e^{-p\tau_{db}} - \varepsilon_b(p) \cdot e^{-p\tau_{bd}}]; \quad (2.69)$$

$$S_{ith} = \frac{v_{II}}{p} [\varepsilon_d(p) - \varepsilon_b(p) \cdot e^{-p\tau_{db}}]; \quad (2.70)$$

Тут:  $S_i(p)$ ,  $S_0(p)$ ,  $S_{db}$  – зображення відповідно функцій  $S_i(t)$ ,  $S_0(t)$  і  $S_{db}(t)$ ;  $p$  – комплексна змінна.

Розглянемо вплив стрічко-живильного пристрою на приводку фарб при відхиленні натягу стрічки від необхідного постійного значення на виході стрічко-живильного пристрою, відповідному стрибкоподібній зміні СШ відносного продовження на величину  $\Delta\varepsilon_i$ . Зміна відносного продовження стрічки на міжсекційних ділянках знаходиться з загального рівняння з огляду на, що в ньому  $A = \frac{v_{II}}{L} = \frac{1}{\tau}$ , де:  $\tau$  – час руху.

стрічки між секціями, а  $B_i = A_i \Delta\varepsilon_{i-1}$

$$\Delta\varepsilon_i(t) = e^{-\frac{t}{\tau}} \left[ C_i + \frac{1}{\tau} \int \Delta\varepsilon_{i+1}(t) \cdot e^{\frac{t}{\tau}} dt \right]; \quad (2.71)$$

При  $t \rightarrow \infty$  величини не приводки фарб прагнуть до нуля; при стрибкоподібній зміні вхідного натягу стрічки між усіма барвами має зникаючий характер. Це справедливо лише для пружної стрічки. При в'язко-пружній стрічці, яка проявляє істотну повзучість, аналогічні криві прагнуть до інших сталим постійним значенням.

Система керування суміщенням фарб є, по суті, системою позиціонування поточних положень друкарських циліндрів і паперу. Маючи різні швидкості в зв'язку з необхідністю забезпечення заданих натягів, друкарські циліндри повинні наносити відбиток на папір з мінімальним накладенням фарб різних кольорів, щоб уникнути явища двоїння кольорів.

Поєднання фарб вимірюється шляхом зіставлення сигналів, що надходять позначками, розташовані на паперовій стрічці та від датчика

положення друкарського циліндра. Необхідність в мітці на папері відпадає, якщо використовується будь-який елемент відбитку як мітки [24].

При друкуванні на обох сторонах паперової стрічки використовується метод зіставлення мітки, видрукованої останньою фарбою на одній стороні стрічки, з імпульсами від першого друкарського циліндра, що друкує на іншій стороні стрічки. Не суміщення фарб при друкуванні на багатоколірних машинах не повинно перевищувати (0,05–0,1) мм. Однак в перехідних режимах, наприклад, при зміні швидкості роботи машини, зміні рулонів, бувають значно більші відхилення в поєднанні фарб.

## 2.8 Математичний опис системи керування подачею барвника

Для нанесення фарби на форму в друкарських машинах застосовуються барвисті апарати двох типів [28]: для вузьких фарб, використовуваних у високому і плоскому друку; для рідких фарб, використовуваних в глибокому друку та анілінових фарб – в високому друку.

В'язка фарба подається на форму барвистим апаратом друкарського типу, що складається з фарбоподаючої, розкатної та накатної груп.

Розглянемо у загальному вигляді процес передачі фарби з валика на чисту поверхню (рис. 2.7.).

Фарба надходить на валик і знімається з нього в зонах-контактах з іншими фарбо-несучими поверхнями. Передача її через валик пов'язана з транспортним запізненням, а накопичення або перехід фарби з валика відбуваються поступово [28]. Товщина шару фарби на поверхні валика збільшується або зменшується поступово. Якщо на валик нанести рівномірний шар фарби товщиною  $u$ , встановити валик на чисту у поверхню і прокатати по ній, то за перший оборот на поверхню перейде шар фарби  $u\alpha$  ( $\alpha$  – коефіцієнт розподілу шару в зоні контакту з поверхнею), за наступний оборот  $\alpha(1 - \alpha)$  тощо. Якщо прийняти за одиницю відліку час одного

обороту валика, рівне  $\tau = \pi d / v$   $d$  – діаметр валика,  $v$  – лінійна швидкість прокатування поверхні валика по площині накату, то товщина шару фарби  $y$   $[n + 1]$  в зоні контакту при кожному наступному  $[n + 1]$  обороті валика буде дорівнювати добутку товщини шару фарби в цій зоні при попередньому обороті  $y$   $[n]$  на  $(1 - \alpha)$ :

$$y[n + 1] \approx (1 - \alpha) y[n]; \quad (2.72)$$

Різниця між товщиною цих шарів буде дорівнювати:

$$\Delta y[n] = y(n + 1) - y[n] = (1 - \alpha) y[n] - y[n] = -\alpha y[n]; \quad (2.73)$$

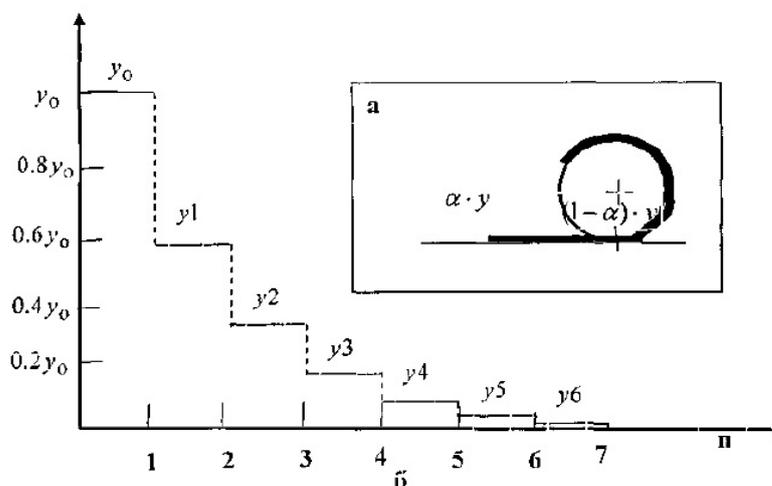


Рисунок 2.7 – Схеми передачі фарби з валика на чисту поверхню (а) і зміни товщини шару фарби при прокатуванні валика (б)

Різницеве рівняння (2.73) є аналогом диференціального рівняння першого порядку. Користуючись дискретним перетворенням Лапласа, з різницевого рівняння (2.72) знайдемо зображення  $Y^*(p)$  функції  $y$   $[n]$ :

$$(e^p - 1)Y^*(p) - e^p Y(0) = -\alpha Y^*(p); \quad (2.74)$$

Вирішуючи рівняння (2.74) щодо  $Y^*(p)$  і з огляду на, що  $Y(0) = y_0$  є початкова товщина шару фарби на валу, отримаємо:

$$Y^*(p) = y_0 \frac{e^p}{e^p - (1 - \alpha)} = y_0 \frac{e^p}{e^p - e^{\ln(1-\alpha)}}; \quad (2.75)$$

Зображенню  $Y^*(p)$  відповідає оригінал:

$$y[n] = y_0 e^{n \ln(1-\alpha)}; \quad (2.76)$$

Зміна товщини шару фарби  $y$  на валику в залежності від числа обертів  $n$  при прокатуванні по поверхні (в момент початку кожного обороту) показано на рисунку 2.8.

Оскільки в межах одного обороту валика в даному випадку товщина шару фарби в зоні контакту не змінюється, можна вважати, що дана залежність описує динаміку зміни товщини шару фарби на валику.

При розгляді динаміки передачі фарби через барвистий апарат, де час перехідних процесів набагато перевищує інтервали дискретності зміни товщини шарів фарби на окремих валах, така деталізація не потрібна [27].

Зображенню дискретної функції (2.76) відповідає зображення безперервної функції:

$$Y(p) = \frac{y_0}{p - \ln(1-\alpha)} = \frac{y_0}{p + \ln \frac{1}{1-\alpha}}; \quad (2.77)$$

якому відповідав би оригінал:

$$y\left(\frac{t}{\tau}\right) = y_0 e^{-\frac{t}{\tau} \ln(1-\alpha)}; \quad (2.78)$$

Функцію (3.7) можна переписати в такому вигляді:

$$y(t) = y_0 e^{-\frac{t}{T}}; \quad (2.79)$$

де:  $T$  – постійна часу:

$$T = \frac{\tau}{\ln \frac{1}{1-\alpha}}; \quad (2.80)$$

Диференціюючи рівняння (2.80), отримаємо:

$$\frac{dy}{dt} = -\frac{1}{T} y_0 e^{-\frac{t}{T}} = -\frac{1}{T} y; \quad (2.81)$$

або:

$$T \frac{dy}{dt} + y = 0; \quad (2.82)$$

Рівняння (2.82) описує перехід фарби з валика на чисту поверхню. У загальному випадку, коли витрата фарби на валику поповнюється, рівняння (2.83) набуває вигляду:

$$T \frac{dy}{dt} + y = ky_{II}; \quad (2.83)$$

або в операторній формі:

$$Y(p)(Tp + 1) = kY_{II}(p); \quad (2.84)$$

де:  $Y_{II}$  – товщина шару фарби на живильному валику;

$k$  – коефіцієнт переходу фарби, з якої живиться валик на даний валик.

Передавальна функція барвистого валика з урахуванням формули (2.85) буде:

$$W(p) = \frac{k}{Tp + 1}; \quad (2.85)$$

При математичному описі динамічних властивостей барвистого апарату беруть до уваги тільки ті валики і циліндри, які утворюють найкоротший шлях потоку фарби в зоні друкарського контакту [26]. Як показали дослідження, інші валики і циліндри покращують рівномірність розкату фарби та на динаміку системи істотного впливу не роблять.

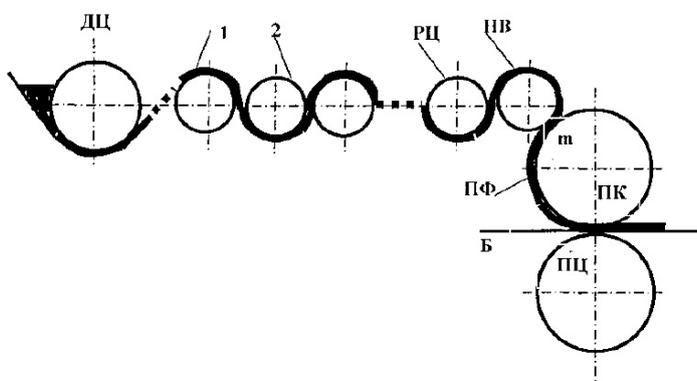


Рисунок 2.8 – Схема барвистого апарату

Розглянемо детально динаміку барвистого апарату (рис. 2.8) та зробимо ряд припущень:

- окружні швидкості валиків 1,2 та циліндрів рівні і відповідають окружній швидкості друкарського циліндра (ПЦ);
- рельєф шару фарби, що утворився на поверхні накатного валика (НВ) після контакту з друкарською формою (ДФ), згладжується внаслідок взаємодії накатного валика НВ та розкатуючого циліндра (РЦ);
- площа друкуючих елементів друкарської форми рівномірно розподілена по окружності та на друкарську форму, з накатним валиком передається частина фарби, яку відбирала б форма у вигляді плашки;
- товщину шару фарби, що переноситься на паперове полотно (ПП), будемо вважати умовною величиною, яка рівномірно розподіляється по всьому відбитку.

Фарба надходить на валик і знімається з нього в зонах контакту з іншими фарбо-несучими поверхнями, тому передача її через валик пов'язана з транспортним запізненням, а накопичення або перехід фарби з валика відбуваються поступово. При будь-якому способі регулювання загальної подачі фарби обсяг  $v_n$ , який передається при кожному хитанні валика з редуктора на приймальний циліндр, повинен бути дорівнює обсягу  $v_{zt}$  фарби, яку переносять на  $Z$  відбитків, отриманих за час між двома її відбитками [20].

$$V_{II} = \alpha r I X_e \approx 0,5 \alpha r I (X_D - X'_II) = V_{OT} = X S_{OT} X_{OT}; \quad (2.86)$$

$$X = \beta (X_D + X'_II) - X'_II \cong 0,5 (X_D - X'_II); \quad (2.87)$$

$$\beta = \frac{x_{вих}}{x_{вх}} \cong 0,5; \quad (2.88)$$

де:  $X$  – середня товщина шару фарби на приймальному циліндрі;

$\beta$  – коефіцієнт передачі барвистого шару в парі циліндр-валик;

$X_{вх}, X_{вих}$  – товщина шару входу та виходу;

$X_d, X_{п'}$  – середня товщина шару фарби відповідно на дукторі та на валику після контакту останнього з прийомним циліндром;

$L$  – довжина робочої частини редуктора по утворюючій;

$r, \alpha$  – радіус і кут повороту валика у редуктора;

$S_{вд}, X_{вд}$  – площа друкуючих елементів форми і середня товщина шару фарби на відбитку.

Кількість фарби, що передається з накатного валика на друкарську форму, опишемо деяким коефіцієнтом;  $q = \frac{S_n}{S_\phi}$ .

де:  $S_n$  і  $S_\phi$  – відповідно площі друкуючих елементів та друкарської форми.

Коефіцієнт  $q$  залежить від типу форми і змінюється в межах  $0 < q < 1$ .

Процеси передачі фарби валиками та циліндрами барвистого апарату описуються диференціальними рівняннями першого порядку [28]:

$$(T_1 p + 1) X_1(p) = k [X_0(p) + X_2(p)]; \quad (2.89)$$

$$(T_2 p + 1) X_2(p) = k [X_1(p) + X_3(p)];$$

$$(T_3 p + 1) X_i(p) = k [X_{i-1}(p) + X_{i+1}(p)];$$

$$(T_{m-1} p + 1) X_{m-1}(p) = k [X_{m-2}(p) + (1 - k_q) X_m(p)];$$

$$(T_m p + 1) X_m(p) = k [X_{m-1}(p) + X_n(p)];$$

$$X_\delta(p) = \alpha X_n(p);$$

де:  $T_1 \dots T_n$  – постійні часу ланок;

$X_0$  – товщина живильного шару фарби, що надходить з фарбоподаючої групи;

$X_i$  – товщина шару фарби в місці контакту валиків та циліндрів ( $i = 1, 2, \dots, m$ );

$X_{п}$  – умовна товщина шару фарби на друкарському циліндрі;

$X_\delta$  – умовна товщина шару фарби на папері;

$\alpha$  – коефіцієнт ділення шару ( $\alpha = 0,5$ );

$k$ – коефіцієнт передачі валиків і циліндрів, прийнятих у всіх випадках

рівним  $k = \frac{\beta_i}{1 - \beta_i(1 - \beta)} \approx 0,67$  де  $\beta_i$  – коефіцієнт розподілу шару фарби

між валиками.

Тривалість перехідних процесів при зміні зональної подачі фарби відповідає тривалості при зміні загальної подачі. Більш помітно проявляється запізнювання в реакції барвистого апарату на внесену зміну. Так, наприклад, в окремих офсетних друкарських машинах це запізнювання досягає 300 відбитків, а реакція друкарської машини з урахуванням перехідного процесу при зміні зональної подачі фарби дорівнює часу, протягом якого віддрукується 500 – 600 відбитків.

## **2.9 Ідентифікація параметрів і моделювання системи керування подачею барвника**

Завдання ідентифікації подачею барвника як об'єкта керування можна сформулювати як задачу оцінювання параметрів моделі подачею барвника, яка володіє істотними рисами діючої машини та представляє набір знань про неї в зручній формі. В цьому випадку важливою обставиною є можливість здійснення вимірювання різних технологічних змінних та проведення різноманітних експериментів.

Відповідно до наведених вище визначенням, метою ідентифікації не є абсолютно точний математичний опис фізичної реальності, а лише створення моделі, що відбиває істотні, для подальшого застосування, риси системи.

Для повного вирішення задачі ідентифікації подачею барвника необхідно визначити як загальний вигляд передавальних функцій в прямих і перехресних каналах об'єктів керування, так і параметри ланок об'єктів керування. Експериментальна частина процесу ідентифікації подачі барвника

складається з отримання перехідних характеристик процесу подачі барвника. На основі отриманої інформації можливо досить точно оцінити параметри системи керування подачею барвника і провести моделювання динамічних процесів в системі з метою пошуку оптимальних законів регулювання і параметрів регуляторів, а також коригувальних ланок.

Для забезпечення якості відбитків необхідно мати повну інформацію про динамічні властивості барвистих апаратів. Барвистий апарат являє собою складний механічний пристрій, тому отримання його математичної моделі, необхідної для аналізу, є досить трудомістким завданням.

Моделювання здійснюється в додатку Simulink пакета MATLAB, яке є досить потужним засобом візуального програмування. За допомогою пакета MATLAB можна вирішувати найрізноманітніші за характером і обсягом математичні завдання, складати моделі різних процесів. У даній роботі моделюється перехід фарби з приймального валу на папір [29].

На динаміку проводки фарби в барвистому апараті (БА) істотно впливає характер форми. Тому, моделюючи барвистий апарат, необхідно моделювати і характер форми (задавати на формі послідовність ділянок з різним коефіцієнтом знімання фарби з накатних валів). У даній роботі прийнято вважати, що моделюється тільки зонна проводка фарби при суцільній формі.

Найбільшу складність, а отже, і інтерес для математичного моделювання, представляє безпосередньо процес передачі фарби, тобто процес заповнення барвистого апарату фарбою, включаючи її перехід на форму або папір. Тому в даній роботі змодельовані живляча, розкатна і накатна групи циліндрів, а також формовий циліндр ФЦ та БП. Для зручності дослідження прийнято, що необхідний відбиток повинен бути одного кольору, без градацій.

На рисунку 2.9 представлена схема досліджуваного барвистого апарату рулонної ротаційної друкарської машини. Складання моделі розкатно-

накатної групи (РНГ) можна значно спростити, якщо її модель скласти не як сукупність моделей валів з декількома точками контакту, як розглядалося раніше, а як сукупність моделей контактних точок.

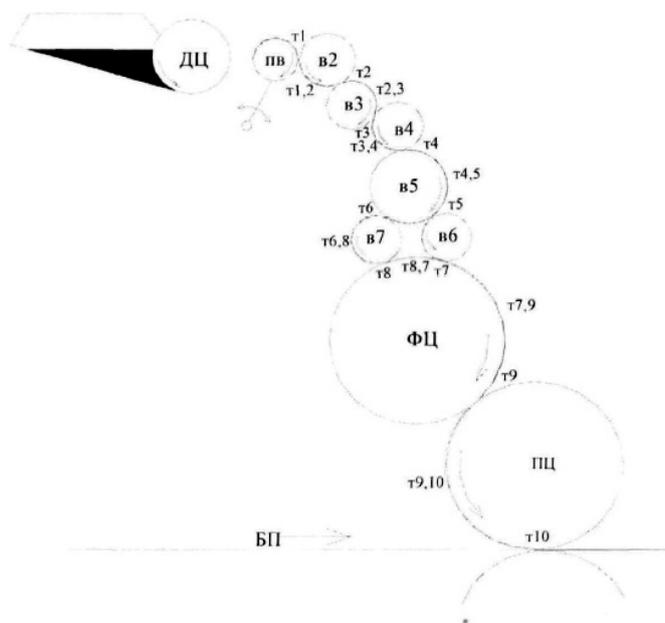


Рисунок 2.9 – Схема барвистого апарату

Тим самим здійснюється перехід від різноманіття валів з різною кількістю точок контакту до уніфікованої моделі з одним базовим модулем, адже контактувати між собою в даній точці можуть тільки два вала. Таким чином, всі точки контакту уніфіковані.

На структурній схемі позначаються напрямки потоків фарби, обчислюються координати точок контакту та час повороту валу від однієї контактної точки до іншої.

На рисунку:  $T_i$  – номер точки контакту;  $V_i$  – номер валу;  $T_{11}$  – в проектованій моделі точка контакту ПЦ з БП.

Фарба до ПЦ рухається по ланцюжках валів – від однієї точки контакту до іншої; вважається [10,11], що в точці контакту валів фарба ділиться навпіл. Перехід фарби з валу на вал, як це видно з рисунку 2.10, відбувається в точці контакту. В якості початкової точки візьмемо точку

контакту ПВ з прийомним циліндром (точка 1), а за підсумкову – точку контакту друкарського циліндра з папером (точка 11).

Математична модель точки контакту, складена в додатку Simulink, представлена на рисунку 2.10. Фарба з контактуючих валів підходить до точки контакту, маючи два різних рівня, на рисунку 2.10. вони позначені, як  $I_{n1}$  та  $I_{n2}$ . Час проходження фарби від однієї точки контакту до іншої залежить від швидкості друку машини і радіусів контактуючих валів. Цей час реалізується за допомогою ліній затримки і до точки  $i$  (вона дорівнюватиме  $T_{i+1,i}$  до точки  $i+2$  -  $T_{i+1,i+2}$ ).

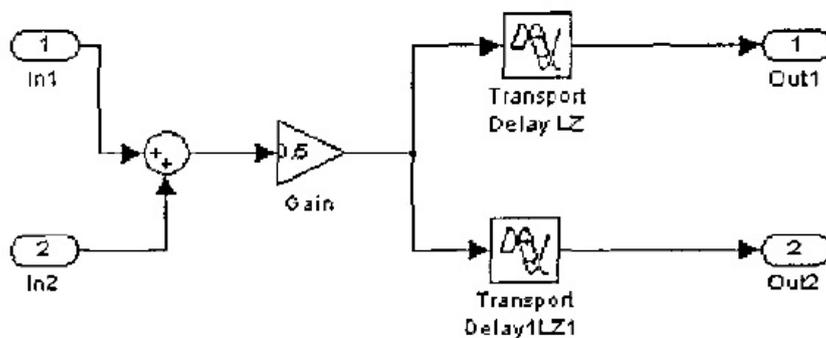


Рисунок 2.10 – Математична модель точки контакту

У додатку Simulink цей час визначають лінії затримки. Рівень фарби, що приходить на вхід наступної по порядку точки контакту, на рисунку позначено як  $Out1$  і  $Out2$ .

Потім складається математична модель всіх точок контакту розглянутого барвистого апарату. Після цього відповідно до послідовності, в якій відбувається передача фарби від однієї точки контакту до іншої, проводиться комутація всіх точок контакту. Для остаточно прийнятої комутації необхідно в кожному модуль контактної точки занести відповідні часи затримок.

Отримана модель представлена на рисунку 2.11. Слід звернути увагу на те, що один з входів точки 11 заземлений (Ground), оскільки на вхід завжди надходить папір з кульовим рівнем фарби, тобто це точка контакту ПЦ з

незапечатаною поверхнею. На вхід  $I_n$  і точки  $T_1$  надходить фарба живильної групи (ПГ). Вихід  $Out2$  точки  $T$  відповідно до рисунку 2.10, є рівень фарби, переданої в живильну групу.

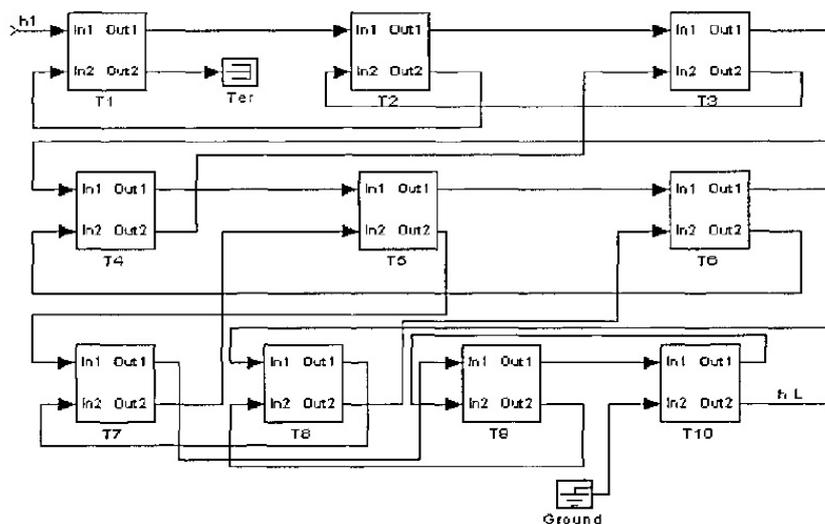


Рисунок 2.11 – Комутована математична модель всіх точок контакту РНГ (відбувається передача фарби з форми на папір)

Так як рівень фарби на дукторному валу залежить від розміру щілини (весь час один і той же), то рівень фарби після контактної точки  $T_1$ , яку повертатимуть з другого валу в живильну групу, не впливає на рівень фарби, що надходить знову з живильної групи на вал 2. Тому вихід на моделі заблокований за допомогою спеціального модуля  $T_{er}$ - обмежувача, що використовується як «заглушка» вихідних портів, які виявилися непідключеними до інших блоків моделі.

У якості моделей живлячих груп розглянуті тільки дукторні фарб-живлячі групи, в яких передавальний вал може бути двох типів: без канавок і з канавками. Сигнал, що формується ПГ з ПВ без канавок, можна вважати безперервним рівномірним, а сигнал, що формується ПГ з ПВ з канавками, можна вважати безперервним імпульсним. Будемо вважати, що канавка «передає» фарбу у вигляді прямокутних імпульсів, а поверхня – у вигляді постійного сигналу. Тоді період проходження імпульсів визначається кроком

нарізки канавок, а шпаруватість – відношенням ширини канавки до кроку нарізки. Висотою імпульсів можна вважати глибину канавки, а висота залишаючої підніжки визначається роботою ракеля.

Представлені моделі живлячих груп дукторного типу, які формують постійний та імпульсний сигнали за допомогою імпульсного генератора моделюється процес передачі фарби, коли в зоні контакту знаходиться канавка, модуль StepI дозволяє сформувати рівень фарби, що залишилася на ПВ (підкладці), після зняття основного шару ракелем.

Основні показники якості барвистого апарату можна зняти з перехідної характеристики слідує, що КА властиво транспортне запізнювання  $t_{m3} = 1,5$  с, стале значення рівня фарби на БП  $h = 0,1276$  мм, час виходу машини на режим функціонування  $t_p = 26,28$ с, коефіцієнт заповнення моделюючого барвистого апарату:

$$K = \frac{h_{уст}}{I} = 0,1276.$$

Динамічне запізнювання можна обчислити так:  $t_{дин.3} = t_p - t_{m.3} = 26,28 - 1,50 = 24,78$  с.

Для моделювання роботи барвистого апарату з ПГ безперервного типу з нерівномірною подачею фарби необхідно на вхід моделі, представленої на рисунку 2.12, підключити модель живильної групи.

Основними характеристиками подачі фарби в цьому випадку є період проходження імпульсів та співвідношення між висотою рівня фарби, що знімається в зоні канавки, і висотою рівня фарби, що знімається в проміжку між канавками.

Проаналізуємо функціонування барвистого апарату при зміні цих параметрів. На рисунку 2.12 приведена модель, що реалізує поставлену задачу. У цій моделі для зручності дослідження та більшої наочності отриманих результатів моделюється робота КА для двох варіантів параметрів ПГ. Додаткові модулі StepI дозволяють оцінити точність розкатки фарби в

сталому режимі. Тут введені два точних коридори допустимих значень (1 або 2%).

Для оцінки впливу кроку нарізки канавок на якість розкату фарби на паперовому полотні розглянемо два випадки: коли нарізка канавок настільки часта, що крок нарізки стає рівним ширині канавки, і коли крок нарізки в 4 рази перевищує ширину канавки. У першому випадку подачу фарби можна моделювати послідовністю імпульсів з шпаруватістю  $\gamma = 0,5$ , а в другому –  $\gamma = 0,25$ .

Для вирішення поставленого завдання були прийняті наступні умови: для першого випадку період проходження імпульсу дорівнює 2 с, для другого випадку – 4с, тривалість імпульсу для обох випадків однакова і дорівнює 1, глибина канавки, отже амплітуда імпульсу дорівнює 2 мм.

Ці умови введені в налаштування кожного з модулів Pulse Generator. Висота підкладки в порівнюваних моделях однакова і дорівнює 5 мм.

Для оцінки впливу висоти фарби в проміжку між канавками на якість розкату фарби розглянемо два випадки:

- висота підкладки більше глибини канавки;
- висота підкладки менше глибини канавки.

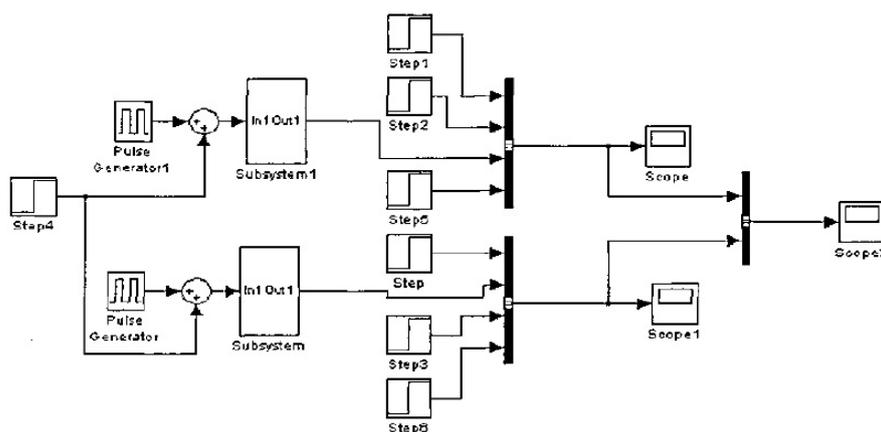


Рисунок 2.12 – Імітаційна модель для дослідження функціонування КА

Для вирішення завдання поставимо співвідношення висоти підкладки та імпульсу в першому випадку це відношення 5:2, а в другому – 1:2.

Можна зробити наступні висновки:

1. Транспортне запізнювання не залежить від форми сигналу, а залежить тільки від структури барвистого апарату.

2. У сталому режимі, як і слід було очікувати, рівень фарби змінюється з частотою, що відповідає частоті імпульсів подачі фарби.

3. Високочастотні гармоніки, мабуть, є результат накладення імпульсів при передачі фарби в точках контакту внаслідок різниці часів запізнювання між сусідніми контактними точками і накладення імпульсів двох потоків накатної групи.

4. Похибка розкату не виходить за межі допустимого 1 або 2%, що також допустимо.

5. Зменшення паузи між імпульсами покращує якість розкату. Дійсно, при зменшенні паузи аж до 0 відбувається безперервна рівномірна подача фарби, при якій якість розкату практично ідеально.

6. У сталому режимі функціонування амплітуда коливань на графіку більше при меншій висоті підкладки, і менше – при більшій висоті підкладки.

## РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 3.1 Характеристика електромеханічних систем друкованих секцій MEDIA MAN

Функціональна схема системи автоматизованих багатодвигунних електроприводів машини показана на рисунку 3.1. На схемі позначено: БК – блок керування приводу, КТ – контролер технологічний, ПО – пульт оператора, ДН – датчик натягу.

Функціональна схема системи керування електроприводами одного друкованого апарату показана на рисунку 3.2. Прийнято наступні позначення: 1 – ящик з фарбою, 2 – ніж, 3 – барвистий дукторний циліндр, 4 – барвистий передавальний валік, 5 – розкатні валіки, 6 – накатні валіки, 7 – формовий циліндр, 8 – друкуючий циліндр, 9 – зволожуючий передавальний валік, 10 – зволожуючий дукторний циліндр. Таких друкованих апаратів в машині може бути (8 + 8) штук.

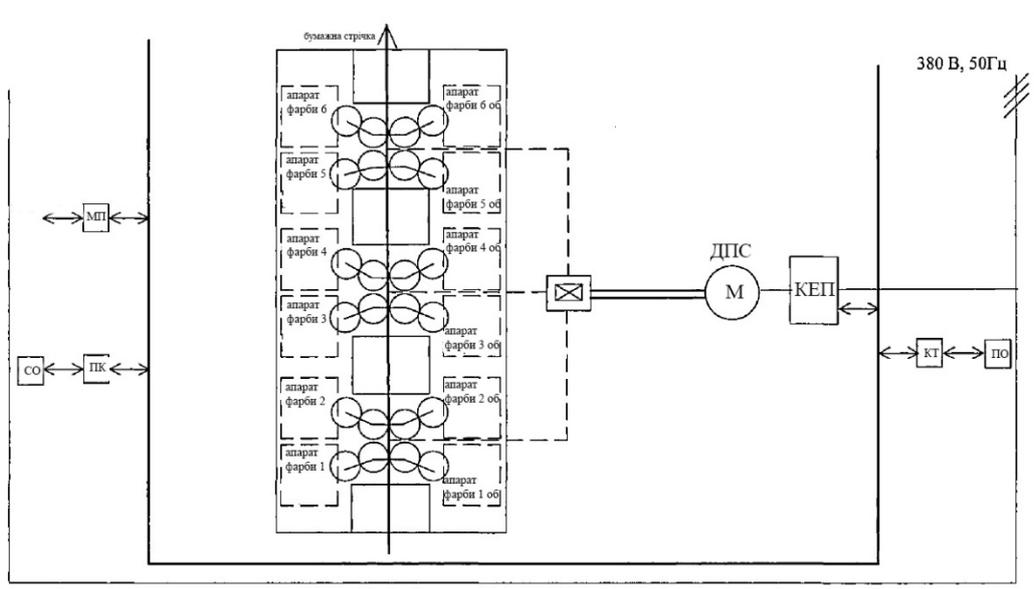


Рисунок 3.1 – Функціональна схема системи автоматизовані багатодвигунних електроприводів поліграфічної машини MEDIA MAN

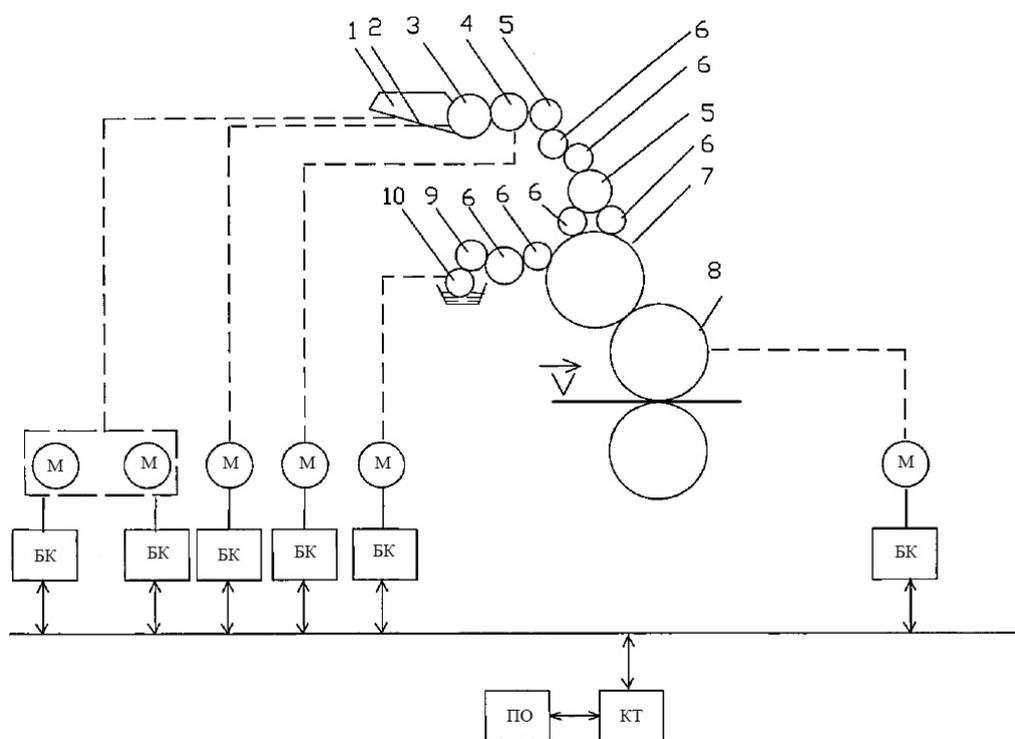


Рисунок 3.2 – Функціональна схема системи керування електроприводами одного друкованого апарату

Продуктивність машин досягає 45000 відбитків на годину. Рулонні друкарські машини мають швидкість обертання друкованої пари 750 об./хв. при швидкості руху паперової стрічки 6,5 м/с. Число фарб, що наносяться на пакувальний матеріал, в машині досягає значень 8. Несуміщення кольорів повинні бути не більше (0,1 – 0,3) мм. Значення товщини шару фарби на растрових елементах відбитків при офсетному друку дорівнюють (1–3) мкм.

У трактах рулонного механізму і фальцапарата регулюється натяг паперової стрічки. У друкованій секції приводи забезпечують подачу паперу і фарби.

В якості приводів друкованих апаратів доцільно використовувати електродвигуни постійного струму. Реалізація алгоритмів керування швидкістю і натягом виконується програмованими контролерами і інтелектуальними модулями розширення технологічних функцій приводів. Приводи інших механізмів можуть бути виконані на базі частотно-

регульованих асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором.

Автоматизована система керування друкарською машиною включає в себе дві головні підсистеми керування: подачею паперового полотна і подачею фарби.

Підсистема керування подачею паперового полотна включає в себе кілька локальних систем керування: головними електроприводами, призначеними для автоматичного пуску, зупинки, підтримки заданих значень швидкостей, і співвідношення швидкостей, зміни цих значень за заданою тимчасовою програмою; натягом паперової стрічки, поздовжньою і поперечною подачею стрічки.

Основними показниками системи керування електроприводів є стабільність швидкості і забезпечення заданого діапазону її регулювання. Великий діапазон регулювання швидкості машин викликається необхідністю виконання заправних операцій на низьких швидкостях, що становлять кілька відсотків від максимальної.

В'язка фарба подається на формовий циліндр барвистим апаратом дукторного типу, що складається з фарбоподаючої, розкатної і накатної груп. Барвистий апарат для вузьких фарб складається з чергуючих металевих циліндрів і еластичних валиків. Розкатні металеві циліндри, крім обертального руху, здійснюють вісьові переміщення.

До складу підсистеми керування подачею фарби входять наступні локальні системи керування: налаштуванням барвистого апарату, суміщення фарб, в'язкістю фарби, балансом розчин-фарба на офсетній формі.

Перша з цих підсистем функціонує до початку друкування тиражу. Ця система дозволяє значно скоротити час на налаштування барвистого апарату. Пристрої подачі фарби діляться на загальні і зональні, що змінюють кількість подаючої фарби окремо по кожній зоні формового циліндра.

### 3.2 Комп'ютерна система автоматичного керування комплексу поліграфічної машини

Основними напрямками вдосконалення автоматизації друкарських процесів є:

- розробка комплексних систем керування агрегатами друкарської машини і параметрами друкарського процесу;
- розробка систем автоматизованого налаштування барвистого апарату друкарської машини;
- створення систем збору і відображення параметрів друкованого процесу, а також керування машиною із застосуванням технологічного контролера (ТК) і персонального комп'ютера (ПК).

Продуктивність і якість друку постійно зростають. Значною мірою це пов'язано з застосуванням комп'ютерних систем керування, комп'ютеризованих багатодвигунних електроприводів змінного струму.

Продуктивність машин досягає 100 000 відбитків на годину. Рулонні друкарські машини мають швидкість обертання друкованої пари 1500 об/хв. при швидкості руху паперової стрічки 15 м/с, несуміщення кольорів повинні бути не більше (0,02 – 0,04) мм. Значення товщини шару фарби на растрових елементах відбитків при офсетному друку дорівнюють (0,1–3) мкм.

На рисунках 3.3. і 3.4. зображена електрична схема модернізованого комплексу і функціональна схема системи керування електроприводами одного друкованого апарату, в якій застосовуються комплектні електроприводи з частотним керуванням.

В якості приводів друкованих циліндрів доцільно використовувати сервоприводи, виконані на базі вентильних частотно-регульованих електродвигунів.

Реалізація алгоритмів керування положенням, швидкістю і натягом виконується програмованими контролерами і інтелектуальними модулями

розширення технологічних функцій приводів.

Приводи інших механізмів можуть бути виконані на базі частотно-регульованих асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором.

Характеристика та дослідження сервоприводів. У синхронному двигуні (СД) ротор обертається зі швидкістю обертання магнітного поля, тобто:  $\omega_d = \omega_\phi$  або  $S = 0$ . Механічна характеристика СД горизонтальна ( $\gamma = \infty$ ). СД практично не використовуються в САР, тому що регулювання швидкості можливо тільки частотним методом. Крім того, багато СД не можуть запускатися без примусового пускового моменту.

Синхронні двигуни з активним ротором. Ротор таких СД складається з двох основних частин:

1) постійних магнітів, що створюють магнітний потік збудження ротора і забезпечують виникнення електромагнітного моменту в синхронному режимі;

2) короткозамкненою обмоткою типу «біляча клітина», що забезпечує виникнення електромагнітного моменту в процесі асинхронного пуску.

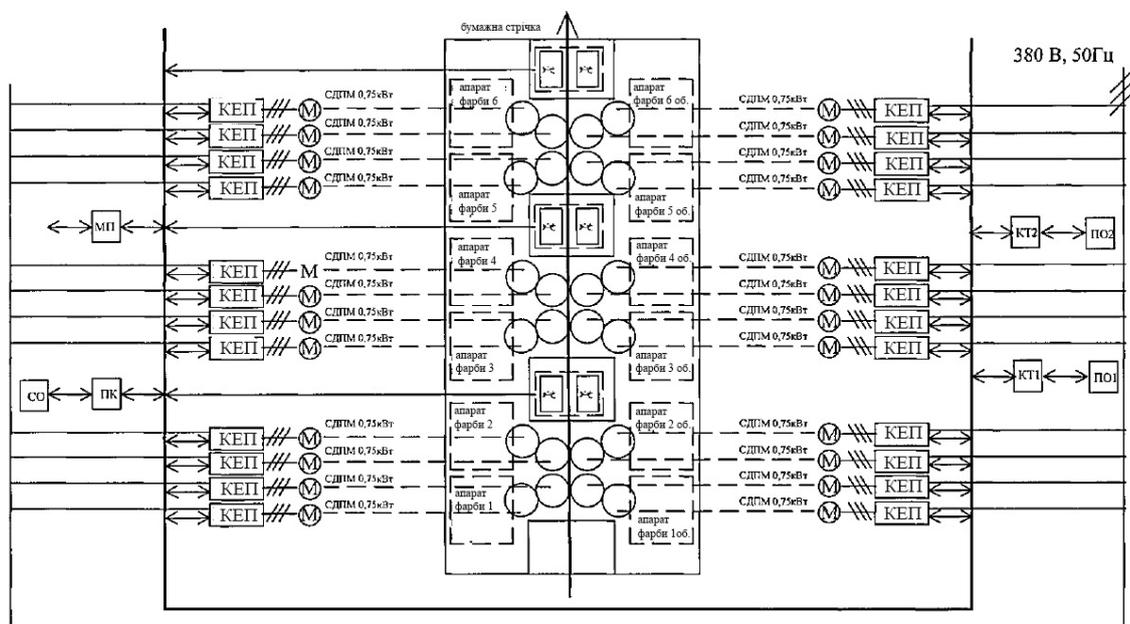


Рисунок 3.3 – Функціональна схема системи автоматизованих багатодвигунних електроприводів поліграфічної машини MEDIA MAN

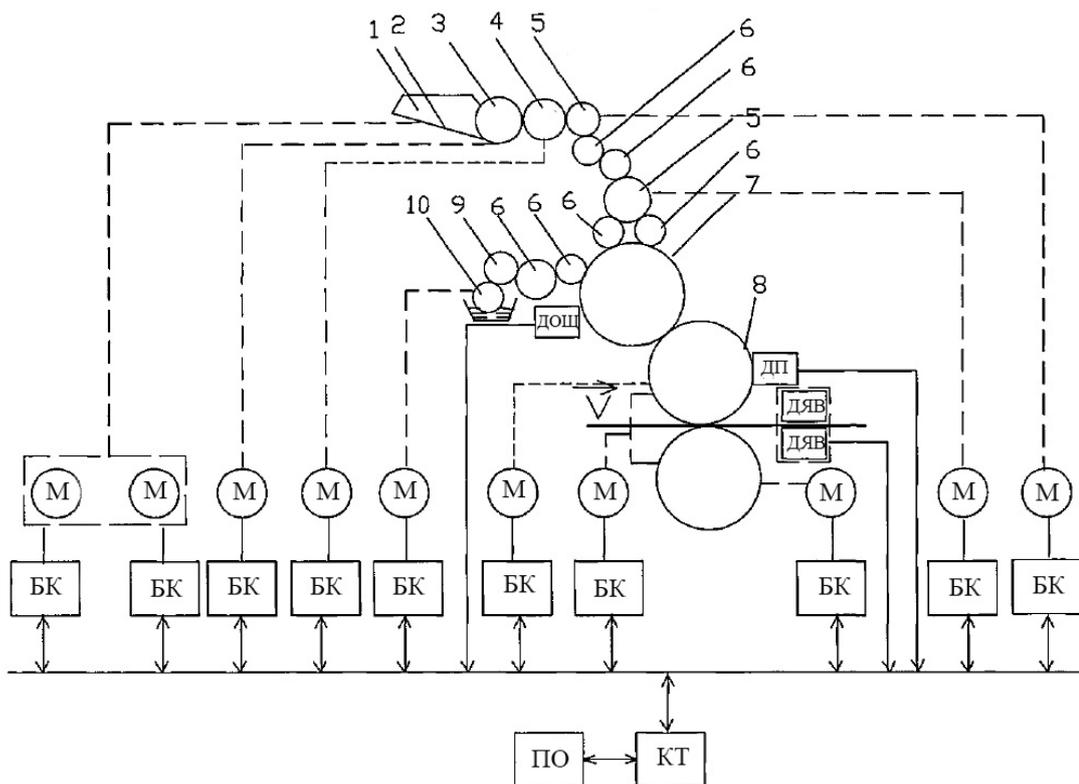


Рисунок 3.4 – Функціональна схема системи керування електроприводами одного друкованого апарату

В останні роки для таких ЕП все ширше використовуються вентильні двигуни (серводвигуни). Перевагами цього приводу є, наприклад, високий початковий пусковий момент, що не залежить від навантаження розгін, особливі характеристики при пуску і зупинці, захист від перевантажень через обмеження струму і моменту, робота у всіх чотирьох квадрантах і т. д.

У сучасній приводній техніці в багатьох випадках пред'являються такі високі вимоги як:

- точність позиціонування;
- стабілізація швидкості;
- широкий діапазон регулювання;
- стабілізація моменту;
- перевантажувальна здатність;
- висока динаміка.

Вимоги до динаміки, тобто поведінки приводу в часі, складаються з все прискорюючих процесів обробки, підвищення часу циклу і пов'язаної з ними продуктивності машини.

Висока точність дуже часто визначає можливість використання системи приводу. Цим вимогам повинні відповідати сучасні динамічні системи приводу. Сервопривід – це система приводу, яка у великому діапазоні регулювання швидкості забезпечує динамічні, високоточні процеси.

Порівняння двигунів сервоприводів. Порівняння наводиться для конкретних двигунів близької потужності і з близькою номінальною швидкістю (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Порівняння двигунів сервоприводів

Параметри	АД	ДПТ	СДПМ
Потужність, кВт	7,5	8,3	7,5
Швидкість, об/хв.	-2900	-3200	3000
Тип/типорозмір	DFV132M2	GFVN160M	DF112ML
Тип захисту	IP54	IP44	IP67
Охолодження	Індивідуальне	Індивідуальне	Конвекцією
Довжина, мм	400	625	390
Повна маса, кг	66	105	38,6
Маса ротора, кг	17	29	8,2
$J_d \cdot 10^{-4} \text{ кг м}^2$	280	496	87,4
Номінальний момент, Нм	24,7	24,7	24
Максимальний момент, Нм	$2,6 M_n / 1,8 M_n$	$1,6 M_n$	$3,0 M_n$
Максимальне прискорення, $1/\text{с}^2$	1588	797	8238
Максимальна динаміка, %	20	10	100
Час розгону, мс	191	420	38

Видно, що з трьох порівнюваних двигунів СДПМ має найменшу масу,

малий момент інерції двигуна вигідний, якщо виконавчий орган має невеликий момент інерції, приведений до двигуна.

СД найбільш динамічні в порівнянні з іншими типами. Завдяки високому максимальному моменту і малому моменту інерції, СД має дуже малий час розгону вхолосту, що дозволяє рекомендувати його для динамічних ЕП.

Сервоприводи серії Omnis W [18] володіють самим швидкодіючим процесором серед аналогічних пристроїв, що дозволяє застосовувати Omnis W для задач позиціонування і керування рухом з підвищеною точністю. Сервопривід W серії має вбудований дисплей для установки параметрів. При установці системи відбувається автоматичне самоналаштування, при цьому враховується характер реального навантаження.

Широкий ряд моделей сервоприводів і сервомоторів дозволить швидко підібрати сервосистему для конкретного завдання. Максимально спрощені налаштування параметрів при управлінні моментом, позицією або швидкістю. Джерела живлення основного ланцюга і ланцюга керування повністю розділені, що істотно підвищує надійність системи і спрощує обслуговування.

Сервоприводи володіють можливістю підключення різних комунікаційних плат, що дозволяє інтегрувати ці пристрої з існуючим обладнанням. Для запобігання радіочастотних перешкод передбачені електромагнітні фільтри.

Загальне керування комплексом здійснюється програмованим контролером фірми OMRON CS1. Це високопродуктивний програмований контролер. Новітньою розробкою в класі програмованих логічних контролерів є програмовані контролери серії CS1. Застосування високошвидкісних процесорів нового покоління дозволило значно збільшити швидкодію контролера. Поряд з досить потужним і зручним програмуванням контролери CS1 можуть брати на себе додаткові, невластиві контролерам

попереднього покоління, функції, виконувати розширену обробку даних і архівування. Нові інструкції дозволяють обробляти файлову пам'ять, текстові рядки, індексні реєстри і багато іншого. В якості базової концепції запропоновано структурне багато-задаточне програмування (Task Programming). В даний час випускається 9 моделей модулів центрального процесора. Можливість видалення рейок розширення до 50м і обробка понад 5000 точок вводу/виводу, широкий набір мережевих модулів і наднизьким споживанням час виконання базових інструкцій (0,04мкс) ставить цей контролер попереду багатьох подібних пристроїв від інших виробників. Всі типи процесорів мають роз'єм для установки карти Flash-пам'яті, периферійний і RS232C порти, а також місце для установки додаткових комунікаційних плат. У номенклатуру модулів для контролерів CE1 входять модулі високої щільності на 96 точок введення/виведення, аналогові модулі вводу/виводу з ізольованими каналами, модулі введення сигналів термопар і термоопорів і велика кількість спеціальних модулів.

Все відмінні технічні характеристики, а так само номенклатуру нових модулів введення/виведення серії C81 можна подивитися в поданій нижче таблиця 3.2. До завдань контролера входять:

- координація роботи обладнання, що входить до складу комплексу;
- керування роботою окремих агрегатів;
- реалізація режиму технічної діагностики, як всього комплексу, так і окремих агрегатів;

- реалізація аварійних режимів роботи;
- відображення процесу друку,

До складу контролера входять:

- NT-термінал;
- ручний пульт керування;
- чотири аналогових модуля введення/виведення на 8 входів і 8 виходів;

– два температурних модуля (для контролю температури підшипників).

Кількість модулів визначено кількістю датчиків, контролюючих різні технологічні і технічні параметри.

Таблиця 3.2 – Відмінні технічні характеристики і номенклатуру нових модулів введення/виведення серії C81

Параметр	Значення
Максимальне число точок входу/виходу	5120
Модулі входу/виходу (кількість точок)	5/8/12/16/32/64/96
Пам'ять програми	250 К слів
Кількість інструкцій	400
Час виконання базової інструкції, МКС	0,02 МКС
Область IR, біт	2720
Область SR, біт	–
Область TR, біт	16
Область HR, біт	8,192
Область AR, біт	15,360
Область LR, біт	3,200
Область DM	32,768 слів
Лічильники/таймери	До 4,096 лічильників + 4,096 таймерів
Комунікаційні можливості	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ethernet</li> <li>• Controller Link</li> <li>• SYSMACLink</li> <li>• ComhoBns/D (Devicenet) <ul style="list-style-type: none"> <li>• CompoBus/S</li> <li>• Profibus-DP</li> <li>• Modbus</li> <li>• Host Link</li> <li>• NT Link</li> </ul> </li> </ul>
Спеціальні функції	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Аналогові входи/виходи</li> <li>• Контроль руху/позиціонування</li> <li>• Високошвидкісні лічильники <ul style="list-style-type: none"> <li>• Контроль температури</li> </ul> </li> <li>• Модулі температурних датчиків <ul style="list-style-type: none"> <li>• ПІД-регулювання</li> <li>• Входи переривань</li> <li>• Модулі В7А</li> </ul> </li> </ul>

Конструкція і електричні параметри програмованих терміналів OMRON [29] забезпечують їх тривалу роботу в суворих промислових умовах. Термінали, призначені для панельного монтажу або монтажу в стійку, мають ступінь захисту лицьової панелі IP65.

Виконання дисплеїв може бути засноване на одній з трьох технологій: EL, STN LCD, TFT LCD. Електролюмінісцентна технологія (EL) забезпечує найкращий кут огляду, яскравість і контрастність. Жидко-кристалічна (LCD) – відсутність мерехтіння, точна геометрія, повна відсутність рентгенівського випромінювання, тривалий термін експлуатації.

### **3.3 Дослідження систем керування подачею паперу і барвника**

3.3.1 Автоматизація керування синхронних рухів циліндрів, подачею паперу і барвника по якості, продуктивності друку

Використання в системах керування електроприводами контролерів приводу, промислових комп'ютерів (ПК) і технологічних контролерів (КТ) забезпечує можливість автоматичного керування систем в налагоджувальному режимі і в режимі робочого функціонування. Функції блоків обробки інформації про поточний стан об'єкта керування, окремих контурів регулювання або всієї системи, а також переналаштування параметрів регуляторів відповідно до прийнятого критерію якості виконують модулі інтелектуальної периферії КТ [7, 8]. У налагоджувальному режимі вирішуються завдання ідентифікації параметрів електроприводів при початковій відсутності інформації про них, а також налаштування параметрів регуляторів, що забезпечують оптимальні умови роботи системи відповідно до заданого критерію якості. У режимах робочого функціонування потрібно:

1) при довільній зміні параметрів електроприводів в системі провести такі зміни параметрів регуляторів, при яких динамічні властивості систем для заданих впливів не змінюються і відповідають оптимальному налаштуванню в

налагоджувальному режимі;

2) при зміні не визначеним заздалегідь чином впливів на систему в разі зміни режимів робочого функціонування виконати переналаштування параметрів системи, в тому числі і параметрів регуляторів, при якій забезпечується оптимальний режим роботи;

3) переналаштування режимів робочого функціонування сепаратних систем, що призводять керування взаємозалежною системою у відповідність до критеріїв точності (якості друкованого відбитка) і швидкодії (продуктивності).

Останнє завдання вирішується при розгляді електромеханічних систем в складі автоматизованих технологічних агрегатів і комплексів.

Багато фірм («Siemens», «Omron», АВВ та ін.) при розробці типових засобів автоматизації (перетворювачі частоти, контролери приводу, КТ) передбачають можливість автопіднаштування системи керування під оптимальні параметри. Так, в сервоприводах виконується автоматичне налаштування параметрів під конкретний електродвигун, датчик положення, а також механізм з урахуванням режимів його роботи. У приводах передбачається автоматична відбудова частоти обертання електродвигунів від частот механічного резонансу, що виникає в передачі від двигуна до виконавчого механізму. У КТ і ПК для автоматичної оптимізації застосовуються спеціалізовані модулі, наприклад Fuzzy-модулі (FZ-модулі) або технологічні модулі, в яких використовуються модулі пам'яті з запрограмованими завданнями самоналаштування або оптимізації.

Базовим в задачах автоматичної оптимізації систем багатодвигунних електроприводів поліграфічних машин є забезпечення заданих показників якості готового продукту виробництва в технологічних комплексах. В сучасних комплексах це досягається застосуванням регуляторів тих технологічних змінних, за якими оцінюється якість продукту в цілому.

### 3.3.2 Синтез FUZZY-алгоритми для вирішення завдань автоматичного керування подачі паперу і барвника по якості і продуктивності друку

У приводах передбачається автоматична відбудова частоти обертання електродвигунів від частот механічного резонансу, що виникає в передачі від двигуна до виконавчого механізму.

Поліграфічні машини містять багатодвигунну систему КЕП, програмовані ТК (ПК), які координують роботу КЕП для керування технологічним процесом і здійснюють автоматичну оптимізацію систем багатодвигунних електроприводів поліграфічних машин в поставлених раніше завданнях.

Організація систем автоматичної оптимізації може виконуватися з використанням різних алгоритмів оптимізації: пошукових, Fuzzy, Neuro-Fuzzy, Neuro [6,7, 26-28].

Розглянемо застосування Fuzzy-алгоритму з використанням FZ-модуля C200H-FZ001 контролера фірми «Omron». FZ-модуль є інтелектуальним блоком введення/виведення, має власний процесор і пам'ять і, крім того, має прямий доступ до пам'яті контролера. Це дозволяє йому, працюючи незалежно від контролера, отримувати всю інформацію про його стан. Він має до 128 правил, кожне з 8 станами і 2 частинами висновків. Велика кількість станів і частин висновків допускається для того, щоб нечітка система керування обробляла більш складні процеси контролю. Для програмування FZ-модуля використовується програма Fuzzy Support Software. Вона проста і зручна в застосуванні, має дружній користувачеві інтерфейс.

При розробці алгоритму роботи Б2-модуля (рис. 3.5.) були структуровані правила керування. Вхідною інформацією для модуля нечіткої логіки є:

- неузгодженість товщини шару фарби  $\Delta x$  різниця між виходом і

входом за інтервал часу  $T_0$  швидкість зміни неузгодженості  $d\Delta x$  на підставі цих двох вхідних величин будується система правил. Для другої групи правил вхідною інформацією є:

– неузгодженість несуміщення  $\Delta S$  різниця між входом і виходом за інтервал часу  $T_0$  швидкість зміни неузгодженості  $d\Delta S$ .

Для третьої групи правил вхідною інформацією є: зміна продуктивності  $d\Pi$ , частоти обертання двигуна дукторного циліндра  $dw_{дп}$  і друкованого циліндра  $dw_{пц}$  різницю між поточними і попередніми.

На підставі цих вхідних величин будується система правил в звичайних «описових» виразах (табл. 3.3–3.5).

Таблиця 3.3 – Система правил

$d\Delta X$	$\Delta X$				
	Багато більше нуля	Більше нуля	Дорівнює нулю	Менше нуля	Багато менше нуля
Сильно зростає	вдц сильно зменшити	вдц сильно зменшити	вдц сильно зменшити	вдц трохи збільшити	вп Збільшити
Зростає	вдц сильно зменшити	вдц зменшити	вдц трохи зменшити	вдц трохи збільшити	вдц Збільшити
Не змінюється	Зменшити	вдц з трохи з зменшити	вдц не змінювати	вдц трохи збільшити	вдц Збільшити
Зменшується	Зменшити	вдц з трохи зменшити	вдц з трохи збільшити	вдц збільшити	вдц сильно збільшити
Сильно зменшується	Зменшити	вдц з трохи зменшити	вдц трохи збільшити	вдц збільшити	вдц сильно збільшити

Таблиця 3.4 – Система правил

$d\Delta S$	$\Delta S$				
	Багато більше нуля	Більше нуля	Дорівнює нулю	Менше нуля	Багато менше нуля
Сильно зростає	впц сильно зменшити	впц сильно зменшити	впц трохи зменшити	впц трохи збільшити	впц збільшити
Зростає	впц сильно зменшити	впц зменшити	впц трохи зменшити	впц трохи збільшити	впц збільшити
Не змінюється	впц зменшити	впц трохи зменшити	впц не змінювати	впц трохи збільшити	впц збільшити
Зменшується	впц зменшити	впц трохи зменшити	впц трохи збільшити	впц збільшити	впц сильно збільшити
Сильно зменшується	впц зменшити	впц трохи зменшити	впц трохи збільшити	впц збільшити	впц сильно збільшити

Таблиця 3.5 – Система правил

$\Delta w_{дц} \mathcal{L} \Delta w_{пц}$	ДП		
	Збільшилися PS	Не змінилися ZR	Зменшилися NS
Зросла	вдц і впц зменшити	вдц і впц не змінювати	вдц і впц збільшити
Не змінилась	вдц і впц не змінювати	вдц і впц не змінювати	вдц і впц не змінювати
Зменшилася	вдц і впц збільшити	вдц і впц не змінювати	вдц і впц зменшити

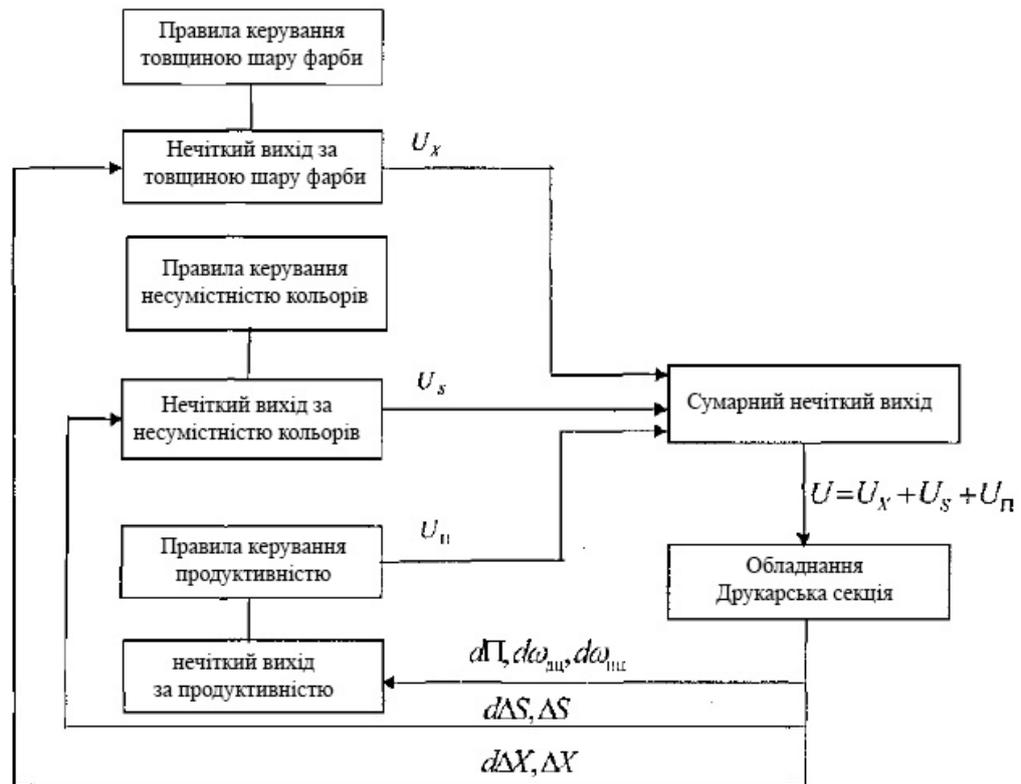


Рисунок 3.5 – Блок-схема роботи нечіткого регулятора товщини шару фарби, несуміщення кольорів і продуктивності

### 3.3.3 Апаратура і програмне забезпечення системи керування подачею паперу і барвника

Система керування машиною багатофункціональна, вона вирішує завдання керування якістю і завдання простого локального регулювання параметрів процесу. Система складається з апаратури і програмного забезпечення, які допомагають оператору управляти технологічним процесом.

Апаратура представлена на функціональній схемі (рис. 3.5) і складається з наступних основних пристроїв: технологічних контролерів OMRON CS1 (1) і CS1 (2); операторських станцій (ОПС); скануючої інтелектуальної платформи з датчиками ДЯВ і ДОЩ (сканера); принтерів; системної шипи; мережевої шипи.

Технологічні контролери призначені для отримання інформації про

стан технологічного процесу від різних датчиків, обробки отриманої інформації відповідно до закладеної програми, видачі керуючих впливів на процес. До технологічного контролеру CS1 (1) підключений сканер, датчики і виконавчі механізми постійної частини машини. До технологічного контролеру CS1 (2) підключені датчики і виконавчі механізми, розташовані на обладнанні: для подачі паперу, барвника і зволожуючого розчину, в'язкості фарби.

На рисунку 3.6. станції оператора призначені для відображення інформації про технологічний процес, завданні режимів керування процесом і введення завдань параметрів процесу.

Сканер, або інтелектуальна платформа, призначений для переміщення встановлених на ньому датчиків ДОЩ і ДЯВ (рис. 3.6.). Сканер оснащений власним контролером, який обробляє інформацію, що надходить з датчиків, і передає по спеціальному зв'язку в технологічний контролер CS1 (1).

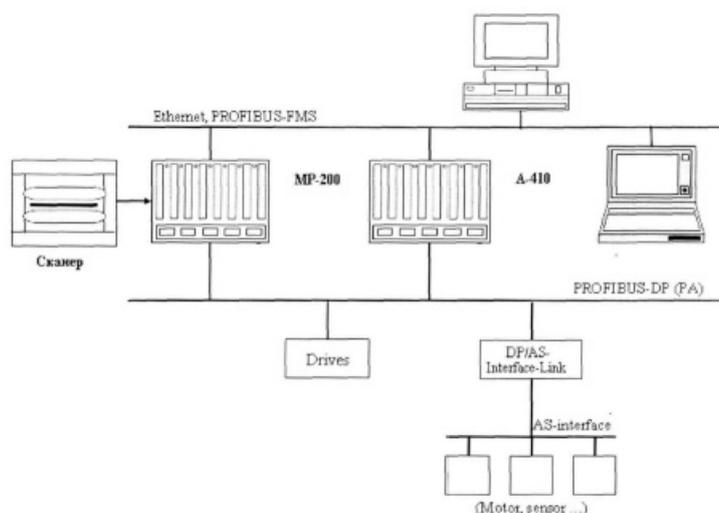


Рисунок 3.5 – Функціональна схема апаратної частини системи керування друкарських машин

ДЯВ в режимі безперервного сканування збирає інформацію про несуміщення кольорів і значеннях товщини шару фарби на растрових елементах відбитків.

В системі використовуються два принтера: струменевий кольоровий для друку копій кадрів; матричний, підключений до станції оператора на накаті, для друку рапортів.

Інформація від технологічного контролера на станцію оператора і назад передається по системній шипі. Мережева організація системи дозволяє виводити на операторську станцію інформацію з будь-якого технологічного контролера, підключеного до мережі.

Програмне забезпечення системи реалізовано на базі системи AccuRay-1190 [10], яка включає в себе наступні основні програми-модулі керування: подачею паперу і барвника вздовж машини; координоване керування несуміщення кольорів і значення товщини шару фарби на растрових елементах відбитків; координоване керування зміною швидкості машини; керування подачею зволожуючого розчину; керування в'язкістю фарби; локальними контурами регулювання. За своєю структурою система AccuRay-1190 розділена на дві частини: DCS (Digital Control System) – локальна цифрова систем керування і QCS (Quality Control System) – система керування якістю. Перша реалізує наступні функції: перевірку стану обладнання перед пуском; пуск і зупинку устаткування (локальних виконавчих пристроїв - електроприводів, насосів, клапанів); контроль стану обладнання в процесі робочого функціонування.

Друга реалізує функції: регулювання швидкості машини, співвідношення швидкостей провідних валів і циліндрів і натягом; подачі зволожуючого розчину; керування в'язкістю фарби; автоматичної оптимізації процесу в режимі робочого функціонування.

Керування технологічним процесом здійснюється зі станцій оператора, до складу яких входить монітор, спеціальна клавіатура і трекбол. На моніторі відображається вся інформація про процес у вигляді функціональних кадрів. Система керування дає оператору можливість [6,7]: бачити стан параметрів технологічного процесу; керувати параметрами технологічного процесу в

різних режимах, починаючи з ручного керування виконавчими механізмами до автоматичного керування несуміщення кольорів і значення товщини шару фарби на растрових елементах відбитків і т. д. ; відображати передісторію технологічного процесу у вигляді трендів (графіків зміни значень параметрів в часі), на яких можна довільним чином поєднувати одночасно до шести параметрів; друкувати рапорти; друкувати копію екрану.

Процеси керування несуміщення кольорів і значеннями товщини шару фарби на растрових елементах відбитків і швидкістю машини опишемо, використовуючи функціональні схеми систем керування технологічними змінними і швидкістю.

Системи керування несуміщення кольорів і значеннями товщини шару фарби на растрових елементах відбитків (рис. 3.7) мають ряд функціональних блоків, відповідних структурі комбінованої системи. У блоці перетворення завдання відбувається перетворення значення, заданого оператором, в формат, з яким оперує система керування.

Блок регулятора об'єднує модуль ПІ-регулятора з модулями керування завданням, режимами, перевіркою на граничні значення сигналів. При зміні величини завдання для системи керування, нове задаюче значення перевіряється на відповідність допустимому діапазону завдання. Якщо нове завдання входить в межі діапазону, то поточне значення завдання змінюється до нового заданого значення з наперед визначеним темпом. Якщо нове завдання виходить за допустиму межу, то поточне завдання зміниться до цієї межі і на станцію оператора надійде сигнал про перевищення меж. Максимальне допустиме значення помилки розраховується виходячи з корекції по зворотного зв'язку і зміні завдання. При зміні завдання помилка різко збільшується. При фіксуванні надмірної помилки блок керування режимами призупиняє роботу блоку регулятора.

Модуль керування режимами пов'язує ПІ-регулятор з робочим режимом регуляторів нижнього рівня, робочим режимом сканера, а також

виконує функції призупинення процесу керування при отриманні відповідних сигналів модулів ПІ-регулятора і людино-машинного інтерфейсу (керування режимами зі станції оператора).

Модуль перевірки проводить перевірку завдання регулятора рівня на відповідність можливому діапазоні реагування виконавчого механізму. Якщо це значення виходить за допустимі межі, то модуль перевірки видає сигнал на зупинку керування.

Блок розв'язки збирає в собі всі поточні попереджувальні коригувальні дії для виконавчих механізмів. Джерелами цих коригувальних дій служать зміни технологічних змінних процесу – несуміщення кольорів, значення товщини шару фарби і зміна швидкості. Блоком розв'язки забезпечуються умови квазіавтономного керування кожної з змінних.

Для розв'язки контурів тільки один канал попереджувальної корекції, що компенсує відхилення товщини шару фарби при зміні несуміщення кольорів.

Блок завдання на виконавчий механізм приймає сигнали завдань від блоків регулятора і розв'язки. У ньому здійснюється поправка па надходять коригувальні сигнали від функції координованого керування швидкістю. Сформований в результаті керуючий вплив, перед тим як вступити на регулятор виконавчого механізму, перевіряється на відповідність допустимому діапазону значень завдання. Якщо значення завдання не входить в допустимий діапазон, то на станцію оператора надходить повідомлення від функції сигналізації.

У блоці моделі процесу на основі параметрів процесу, таких як постійна часу процесу і час транспортного запізнювання, моделюється динамічна характеристика процесу. Час запізнювання розраховується в спеціально призначеному для цього модулі блок регулятора на основі поточної швидкості машини і транспортної дистанції від місця розташування виконавчого механізму до скануючої платформи. Блок регулятора спільно з



У режимі зовнішнє 1 блок завдання отримує завдання від зовнішніх функцій керування процесом (зміна сорту відбитків). В цей режим блок завдання встановлюється по прапору функції зміни сорту. Після закінчення зміни сорту блок переходить в режим ручне.

У режимі зовнішнє 2 контролер координованого зміни швидкості отримує завдання від блоку оптимізації швидкості. Перехід блоку в цей режим відбувається при активізації функції оптимізації швидкості. При цьому завдання може змінюватися відповідно до можливої області керування виконавчими механізмами нижнього рівня.

Керування завданням. Розрізняють такі види завдань: завдання від оператора; від функції автоматичної зміни сорту; від функції ручної зміни сорту; від функції оптимізації швидкості; балансове завдання від контролера швидкості нижнього рівня.

Після закінчення виконання завдання відрізняючого від поточного значення швидкості, блок завдання починає процес зміни швидкості, за умови що він знаходиться в режимі автомат. Перед тим як завдання буде відпрацьовано, воно перевіряється на відповідність допустимим межах.

Коли блок завдання знаходиться в режимі балансове, ручне, або автомат, оператор в будь-який момент може ввести нове завдання. При цьому введене завдання перевіряється на відповідність допустимим межах і, в разі його виходу за ці межі, воно буде відхилено з видачею повідомлення системи на дисплеї станції оператора.

Коли блок завдання знаходиться в режимі зовнішнє 2, завдання йому приходить від блоку оптимізації швидкості. При цьому оператор не може ввести завдання.

В процесі зміни швидкості, робоче завдання змінюється до величини, заданої оператором, зі швидкістю зміни, визначеної в параметрах налаштування системи. Зміна триває до моменту досягнення заданої оператором величини. В процесі зміни швидкості оператор може ввести нове

значення.

Коли блок завдання знаходиться в режимі зовнішнє 1, по прапору зміни сорту завдання приходить від функції автоматичної або ручної зміни сорту. При цьому оператор не може ввести завдання. Завдання від функції автоматичної або ручної зміни сорту перевіряється на відповідність допустимим межам. Якщо нове завдання виходить за одну з меж, воно обмежується величиною цієї межі. В якості верхньої межі використовується розрахункова максимально допустима швидкість, яка змінюється при зміні параметрів технологічного процесу.

Коли функція перевірки завдання на відповідність допустимим межам не задіяна, як обмеження використовуються жорстко певні верхні і нижні межі завдання. Зазвичай в якості цих обмежень використовуються допустимі межі завдання для контролера нижнього рівня, але можуть також використовуватися жорстко запрограмовані межі в програмі координованого керування швидкістю [6,7].

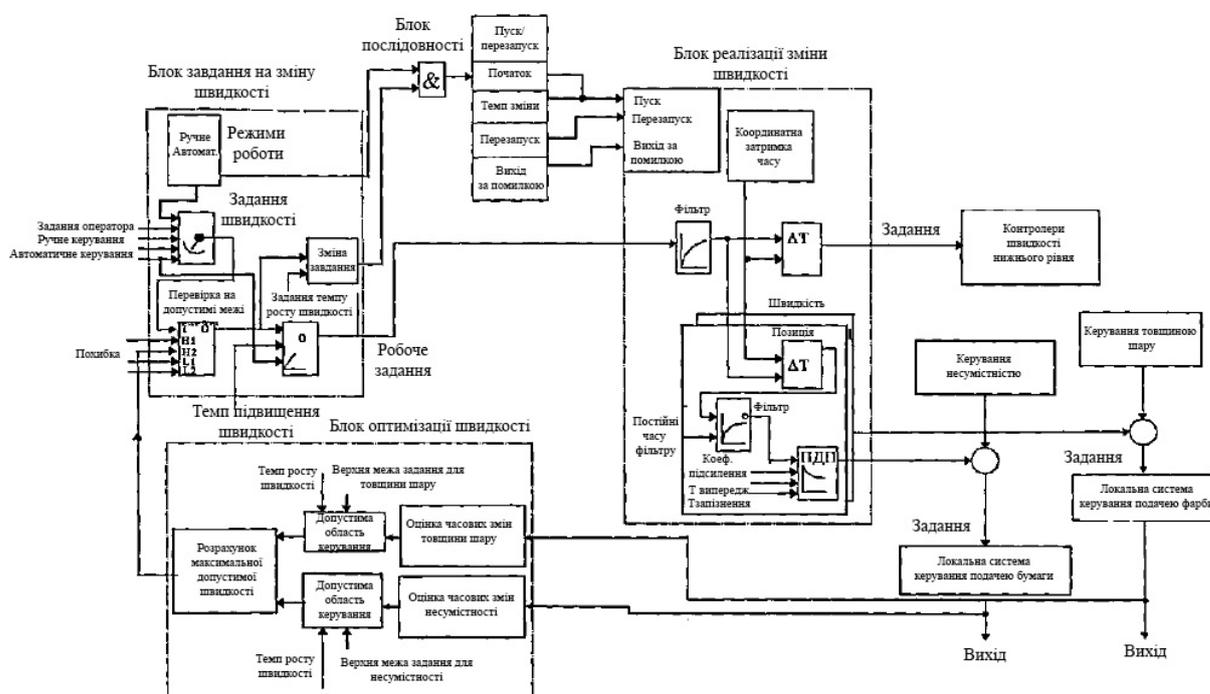


Рисунок 3.7 – Функціональна схема системи керування швидкістю поліграфічних машин

Якщо зміна швидкості з якої-небудь причини переривається, то керування завданням підлаштовується під балансове завдання від контролера швидкості нижнього рівня. Ця установка проводиться для того, щоб уникнути негайного початку нової зміни швидкості після виходу зі стану переривання.

Керування виходами. Коли блок завдання не перебуває у режимі автомат, його вихід відстежує збалансоване завдання контролера швидкості нижнього рівня. Коли блок знаходиться в режимі автомат, його вихід тестується на відповідність допустимим межам вихідного сигналу. Якщо з'являючий прапор вказує, що для контролера швидкості нижнього рівня з'явилося обмеження по величині завдання, то в якості верхньої межі робочого завдання буде використана остання поточна величина вихідного сигналу блоку завдання. Те ж відноситься до нижньої межі вихідного сигналу.

Блок реалізації зміни швидкості. Блок включає в себе модулі: координації затримок часу; розрахунку попереджувальних впливів для кожного використовуваного виконавчого механізму.

Програма блоку реалізації зміни швидкості виконується кожні дві секунди. Вихідний сигнал після кожного виконання програми в якості завдання на зміну швидкості подається на беручу участь в процесі виконавчі механізми.

Статус, що беруть участь координованих виконавчих механізмів визначається наступним чином. Для того щоб виконавчий механізм отримав статус беручий участь, контролер швидкості нижнього рівня повинен перебувати в режимі зовнішнє 1 (отримуючи завдання від системи керування верхнього рівня) і для даного виконавчого механізму повинна бути дозволена попереджувальна корекція по швидкості. Дозвіл відбувається з допомогою перемикача на екрані налаштування параметрів швидкості на станції оператора. Система координованої зміни швидкості запам'ятовує, які

виконавчі механізми брали участь при зміні швидкості.

Якщо в процесі зміни швидкості умови участі будь-якого виконавчого механізму не можуть далі виконуватися, то відбудеться перезавантаження програми блоку реалізації зміни швидкості і її виконання припиниться. Якщо в процесі зміни швидкості умови участі почнуть виконуватися для виконавчого механізму, який не брав участі в процесі зміни з самого початку, то цей механізм не буде включений в число учасників, але наступного разу при зміні швидкості він отримає статус беручого участь. Виконавчі механізми, які в поточний момент мають статус беручих участь, відображаються на екрані станції оператора.

Керування блоком реалізації зміни швидкості здійснюється за допомогою блоку послідовності дій. Послідовність складається з наступних чотирьох кроків:

– Блок послідовності ініціює зміну швидкості. Це тягне за собою надходження вхідних величин в блок реалізації і перевірку їх на відповідність допустимим значенням перед подачею впливу на виконавчий механізм.

– У блоці реалізації відбувається поточна координація та видача впливів на виконавчі механізми. На цьому кроці триває перевірка на можливі невідповідності і завершується зміна швидкості.

– Після успішного завершення зміни швидкості відбувається перезавантаження програми блоку реалізації, і її виконання припиняється.

Цей крок виконується, якщо зміна швидкості була припинена внаслідок будь-яких причин. Умови припинення зміни швидкості фіксуються на другому кроці, після чого відразу відбувається перехід на четвертий крок. Тут відбувається перезавантаження, завдання блоку завдання на зміни швидкості буде підлаштовуватися під балансове завдання від контролера швидкості нижнього рівня і видається повідомлення сигналізації про виконання четвертого кроку.

Ця послідовність виконується тоді, коли блок завдання знаходиться в режимі автомат або зовнішнє 2. Умовою запуску першого кроку є фіксування блоком завдання зміни завдання швидкості. Поточне відхилення робочого завдання від завдання оператора постійно порівнюється з зоною можливих відхилень (нечутливості) завдання, які є параметри налаштування. Якщо при зміні оператором завдання, відхилення робочого завдання перевищує зону нечутливості, то виконується перший крок послідовності і починається процес зміни швидкості.

У модулі розрахунку попереджувальних впливів час затримки, розрахований для даного виконавчого механізму, використовується модулем затримки часу для затримки робочого завдання. Для побудови попереджувальної корекції використовується ПДП-регулятор. Він необхідний для того, щоб забезпечити динамічну компенсацію відхилень технологічної змінної в результаті зміни швидкості. Для динамічного узгодження умов формування попереджувальної корекції враховують вплив на технологічні змінні змін швидкості і змін регульованих змінних первинними виконавчими механізмами застосовуючих фільтр. Постійна часу фільтра є параметри налаштування. Вихід ПДП-регулятора використовується в якості завдання на зміну швидкості для виконавчого механізму. Це посилення в подальшому буде прочитано відповідною функцією керування, яка генерує величину завдання для контролера виконавчого механізму нижнього рівня.

Блок оптимізації розраховує максимально допустиму швидкість. Розрахунок цієї швидкості заснований на оцінках можливої галузі керування для задіяних виконавчих механізмів. Після того як можлива область керування для виконавчого механізму визначена, розрахунок зміни швидкості ведеться на основі характеристики контрольованої технологічної змінної щодо виконавчого механізму і швидкості. Зміни швидкості відповідні можливим областям керування для виконавчих механізмів порівнюються, і

найменше можливу зміну швидкості підсумовується з поточним значенням швидкості, в результаті чого виходить величина максимально допустимої швидкості. Визначення можливих областей керування проводиться постійно з метою поновлення даних про максимально допустимої швидкості. Система керування розраховує поправки завдань для беручих участь в процесі виконавчих механізмів на основі взаємозв'язків між змінними процесу з урахуванням динаміки процесу. Координація здійснюється з певними витримками часу, які безперервно розраховуються з урахуванням поточної швидкості машини. Для розрахунку максимально можливої швидкості виконуються оцінки допустимих меж керування для виконавчих механізмів. В якості верхньої межі задаючого значення за швидкістю розглядається розраховане в поточний момент часу значення максимально можливої швидкості.

## РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Техніко-економічне обґрунтування

З усього різноманіття друкарських машин в даній роботі розглядаються найбільш складні і продуктивні –рулонні ротаційні друкарські машини.

Проведемо аналіз динамічних властивостей локальних контурів регулювання подачею паперу і барвника. Показана необхідність підвищення швидкодії контурів для досягнення динамічної декомпозиції контурів регулювання технологічних змінних.

У роботі розроблена комп'ютерна модель, що дозволяє моделювати різні режими друку, проводити оптимізацію роботи системи керування поліграфічним комплексом.

Апаратура розробленої системи складається з наступних основних пристроїв: технологічних контролерів OMRON; операторських станцій (ОПС); скануючої інтелектуальної платформи з датчиками; принтерів; системної шипи; мережевої шипи та сучасних сервоприводів OMRON.

### 4.2 Визначення витрат на модернізацію електропривода поліграфічної машини

Для модернізації електропривода поліграфічної машини закуплені комплектуючі, перелік яких зведений у таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Перелік необхідних комплектуючих

Найменування та технічна характеристика	Тип	Од. виміру	К-ть	Ціна за одиницю грн.	Ціна грн.
Технологічний контролер	Омрон	шт.	2	7000	14000
Операторська станція	ПК	шт.	1	10000	10000
Сервоприводи	Omnic W	шт.	2	118000	236000
Всього:					260000

Таким чином, витрати на придбання комплектуючих для модернізації електропривода поліграфічної машини дорівнюють:

$$З_k = 260\,000 \text{ грн.}$$

Розрахунок заробітної платні з нарахуваннями.

Для встановлення системи необхідно виконати роботи по встановленню, монтажу системи керування, демонтажу старого обладнання, налагодці та пуску системи. Вказані роботи будуть проводити бригада з 2-х слюсарів 5-го розряду протягом 5 днів.

Витрати на заробітну плату з нарахуваннями визначимо за формулою:

$$S_{зпм} = K_{нз} \cdot \lambda \cdot t \cdot \sum_{i=1}^m C_{ti} (1 + H); \quad (4.1)$$

де:  $K_{нз}$  – коефіцієнт, який враховує накладні витрати на заробітну плату,  $K_{нз} = 1,3$ ;

$\lambda$  – коефіцієнт, який враховує премії,  $\lambda = 1,25$ ;

$t$  – час виконання робіт, год;

$C_{ti}$  – часова тарифна ставка працівника  $i$ -го розряду.

$H$  – норма нарахування на заробітну плату,  $H = 0,22$ ;

$m$  – кількість робочих, чол.

$$S_{зпм} = 1,3 \cdot 1,25 \cdot 5 \cdot (37,87 \cdot 2) \cdot (1 + 0,22) = 6006,18 \text{ грн.}$$

Визначення загальної суми витрат.

Витрати на модернізацію електропривода поліграфічної машини як суму витрат на купівлю комплектуючих та витрат на заробітну плату з нарахуваннями робітникам, які проводять модернізацію:

$$З_m = З_k + З_{зпм}; \quad (4.2)$$

$$З_m = 260\,000 + 6006,18 = 266006,18 \text{ грн.}$$

### 4.3 Розрахунок річного фонду роботи поліграфічної машини

Розрахунок річного фонду часу роботи поліграфічної машини проведемо за формулою:

$$T_p = \frac{T_\Phi}{\frac{1}{t_{cm} \cdot K_{cm}} + D_p}; \quad (4.3)$$

де:  $T_\Phi$  – річний фонд робочого часу,  $T_\Phi = 251$  днів;

$t_{cm}$  – тривалість зміни в машино-годинах,  $t_{cm} = 8$ ;

$K_{cm}$  – коефіцієнт змінності роботи устаткування,  $K_{cm} = 1$ ;

$D_p$  – простой в машино-днях у всіх видах технічного обслуговування і ремонту, який приходить на одну машино-годину, визначимо за формулою:

$$D_p = \frac{\sum_{i=1}^n d_{pi} \cdot a_i}{T_{ц}}; \quad (4.4)$$

де:  $n$  – число різновидів технічних обслуговувань та ремонтів за міжремонтний період;

$d_{pi}$  – тривалість перебування в  $i$ -му ремонті чи технічному обслуговуванні;

$a_i$  – кількість  $i$ -х ремонтів чи технічних обслуговувань за міжремонтний період;

До та після модернізації час міжремонтного циклу складає 8760 годин. До удосконалення САК проводилось 6 оглядів впродовж 1,0 години, а після 4 оглядів впродовж 1,0 години. Враховуючи наведене, розраховуємо простой в машино-днях при всіх видах технічного обслуговування до та після модернізації:

$$D_{p1} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 20}{8760} = 0,0023 \frac{\text{маш.днів}}{\text{маш.год}}$$

$$D_{p1} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 8}{8760} = 0,0009 \frac{\text{маш.днів}}{\text{маш.год}}$$

Тоді річний фонд часу роботи поліграфічної машини дорівнюватиме відповідно:

$$T_{p1} = \frac{251}{\frac{1}{8 \cdot 1} + 0,0023} = 1971,72 \text{ год},$$

$$T_{p1} = \frac{251}{\frac{1}{8 \cdot 1} + 0,0009} = 1993,65 \text{ год},$$

#### 4.4 Розрахунок річної експлуатаційної продуктивності

Річна експлуатаційна продуктивність поліграфічної машини визначається за формулою:

$$B = B_{\text{Е.Г.П}} \cdot T_p \cdot K_{\text{ПР}}; \quad (4.5)$$

де:  $B_{\text{Е.Г.П}}$  – годинна експлуатаційна продуктивність, (100 тис.від/год),

$K_{\text{ПР}}$  – коефіцієнт, що враховує простій, не враховане в годинній експлуатаційній продуктивності.

Після підвищення швидкодії контурів для досягнення динамічної декомпозиції контурів регулювання технологічних змінних, а саме контурів регулювання подачею паперу і барвника продуктивність збільшиться на 15 %.

Таким чином до та після модернізації електропривода поліграфічної машини річна продуктивність складає:

$$B_1 = 100 \cdot 1971,72 \cdot 0,9 = 177454,80 \text{ тис.від/рік}.$$

Після модернізації:

$$B_2 = 120 \cdot 1993,65 \cdot 0,9 = 215314,20 \text{ тис.від/рік}.$$

#### 4.5 Розрахунок поточних річних витрат

Поточні річні експлуатаційні витрати визначаються для поліграфічної машини до та після модернізації.

Керування поліграфічною машиною займається один робітник 5-го розряду, після удосконалення САК склад не зміниться.

Витрати на заробітну плату до та після модернізації складають:

$$S_{ЗП} = 1,3 \cdot 1,25 \cdot 1971,72 \cdot 37,87 \cdot 1 \cdot (1 + 0,22) = 148\,031,56 \text{ грн.}$$

$$S_{ЗП} = 1,3 \cdot 1,25 \cdot 1993,65 \cdot 37,87 \cdot 1 \cdot (1 + 0,22) = 149\,677,81 \text{ грн.}$$

Визначення витрат на технічне обслуговування та поточний ремонт поліграфічної машини.

Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт поліграфічної машини визначимо за формулою:

$$S_{ТО} = S_{ТОЗ} + S_{ТОМ}; \quad (4.6)$$

де:  $S_{ТОЗ}$  – витрати на заробітну плату ремонтників з нарахуваннями;

$S_{ТОМ}$  – витрати на матеріали та запасні частини.

Витрати на заробітну плату ремонтних робітників з нарахуваннями визначаються за формулою:

$$S_{ТОЗ} = \frac{T_P}{T_{Ц}} \cdot K_{НЗ} \cdot \lambda \cdot C_P \cdot \sum_{i=1}^m a_{pi} \cdot \chi_{pi} \cdot (1 + H); \quad (4.7)$$

де:  $C_P$  – середня тарифна ставка ремонтного робітника, що обслуговують установку, грн/год;

$a_{pi}$  – кількість техобслуговувань і поточних ремонтів без капітального ремонту;

$\chi_{pi}$  – трудємкість  $i$ -го технічного обслуговування та поточного ремонту, до і після –  $\chi_{pi} = 15,36$ ;  $\chi_{pi} = 9,85$ .

Витрати на матеріали та запасні частини визначаються за формулою:

$$S_{ТОМ} = K_{Ш} \cdot \frac{S_{ТОЗ} \cdot (1 - H)}{K_{НЗ}} \cdot K_{ЗР}; \quad (4.8)$$

де:  $K_{\text{П}}$  – норма накладних розходів за всіма видами витрат, крім заробітної плати,  $K_{\text{П}} = 1,1$ ;

$K_{\text{ЗР}}$  – коефіцієнт переходу від витрат на заробітну плату до витрат на матеріали та запасні частини,  $K_{\text{ЗР}} = 1,25$ .

До модернізації для технічного огляду та поточного ремонту необхідно один слюсар КВПіА 5-го розряду. Після модернізації їх склад не змінився. Огляд проводиться 20 разів на рік до модернізації та 8 після.

$$S_{\text{ТОЗ1}} = \frac{1971,72}{8760} \cdot 1,3 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 15,36 \cdot 37,87 \cdot (1 + 0,22) = 5191,24 \text{ грн.}$$

$$S_{\text{ТОЗ2}} = \frac{1993,65}{8760} \cdot 1,3 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 8 \cdot 9,85 \cdot 37,87 \cdot (1 + 0,22) = 1346,42 \text{ грн.}$$

Витрати на матеріали та запасні частини до модернізації складають:

$$S_{\text{ТОМ1}} = 1,1 \cdot \frac{5191,24 \cdot (1 - 0,22)}{1,3} \cdot 1,25 = 4282,77 \text{ грн.}$$

Витрати на матеріали та запасні частини після модернізації:

$$S_{\text{ТОМ2}} = 1,1 \cdot \frac{1346,42 \cdot (1 - 0,22)}{1,3} \cdot 1,25 = 1110,80 \text{ грн.}$$

Таким чином, витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт поліграфічної машини до модернізації склали:

$$S_{\text{ТО1}} = 5191,24 + 4282,77 = 9474,01 \text{ грн.}$$

після модернізації:

$$S_{\text{ТО2}} = 1346,42 + 1110,80 = 2457,22 \text{ грн.}$$

Величину витрат на електроенергію визначимо за формулою:

$$S_{\text{ЕЛ}} = K_{\text{П}} \cdot W_{\text{ЕЛ}} \cdot V_{\text{ЕЛ}} \cdot T_{\text{Р}}; \quad (4.9)$$

де:  $V_{\text{ЕЛ}}$  – ціна 1 кВт/год електроенергії – 5,5 грн;

$W_{\text{ЕЛ}}$  – витрата за годину енергії, кВт/год.

Споживання електроенергії поліграфічною машиною складало 7,5 кВт/год, після удосконалення САК енергоспоживання зменшиться на 20%.

Виходячи з цього витрати на електроенергію до модернізації склали:

$$S_{\text{ЕЛ1}} = 1,1 \cdot 7,5 \cdot 5,5 \cdot 1971,72 = 89466,80 \text{ грн.}$$

після модернізації:

$$S_{\text{ЕЛ2}} = 1,1 \cdot 6 \cdot 5,5 \cdot 1993,65 = 72369,20 \text{ грн.}$$

Розрахунок суми річних витрат на експлуатацію поліграфічної машини зведений у таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Сума річних витрат на експлуатацію

Найменування статті витрат	Величина витрат	
	До впровадження САК, грн.	Після впровадження САК, грн.
Зарплата з нарахуваннями	148031,36	149677,81
ТО та поточний ремонт	9474,01	2457,22
Електроенергія	89466,80	72369,50
Разом	<b>246972,17</b>	<b>224504,53</b>

#### 4.6 Розрахунок вартості машино–години роботи поліграфічної машини

Розрахунок вартості машино–годин розраховуємо за формулою:

$$S_{\text{МГ}} = \frac{S}{T_p} : \quad (4.10)$$

До модернізації вартість однієї машино-години складала:

$$S_{\text{МГ1}} = \frac{246972,17}{1971,72} = 125,26 \text{ грн. / год.}$$

Після модернізації вартість однієї машино-години змінилась і складає:

$$S_{\text{МГ2}} = \frac{224504,53}{1993,65} = 112,61 \text{ грн. / год.}$$

#### 4.7 Розрахунок вартості технологічної операції на одиницю продукції

Вартість технологічної операції визначається за формулою:

$$S_{\Pi} = \frac{S}{B}; \quad (4.11)$$

До модернізації вартість складала:

$$S_{\Pi 1} = \frac{246972,17}{177454,80} = 1,39 \text{ грн. / тис.від.}$$

Після модернізації вартість складає:

$$S_{\Pi 2} = \frac{224504,53}{1993,65} = 1,04 \text{ грн. / тис.від.}$$

#### 4.8 Розрахунок економічного ефекту від проведення модернізації

Річний економічний ефект від проведення модернізації визначається за формулою:

$$E = (S_{\Pi 1} - S_{\Pi 2}) \cdot B; \quad (4.12)$$

$$E = (1,39 - 1,04) \cdot 215314,20 = 75359,97 \text{ грн / рік.}$$

Термін окупності витрат по модернізації розрахуємо за формулою:

$$T = \frac{Z_M}{E}; \quad (4.13)$$

$$T = \frac{266006,18}{75359,97} = 3,53 \text{ років.}$$

Отже, термін окупності приблизно 3,53 років.

Висновки за розділом

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт електрообладнання зменшились на 74,06 %.

Витрати на електроенергію електропривода зменшилась на 19,11 %.

Вартість машино-години роботи електропривода зменшились на 10,10%.

Вартість технічної операції для одиниці продукції після модернізації знизилась на 25,18 %.

Економічна ефективність від проведеної автоматизації склала 75359 97 грн.

Таблиця 4.3 – Техніко-економічні показники модернізації електропривода поліграфічної машини

Показники	Одиниці виміру	Значення		
		до модернізації	після модернізації	абсолютне відхилення
1. Капітальні витрати на модернізацію	грн.	x	266006,18	x
2. Річний фонд часу роботи	год.	1971,72	1993,65	-21,93
3. Річна експлуатаційна продуктивність	тис.від.	177454,80	215314,20	-37859,40
4. Річні експлуатаційні витрати, усього:	грн.	246972,17	224504,53	+22467,64
у тому числі:				
витрати на оплату праці	грн.	148031,36	149677,81	-1646,45
витрати на ТО та ТР	грн.	9474,01	2457,22	+7016,79
витрати на електроенергію	грн.	89466,80	72369,50	+17097,30
5. Вартість однієї машино-години роботи	грн./год.	125,26	112,61	+12,65
6. Вартість технологічної операції	грн./тис.від.	1,39	1,04	+0,35
7. Річний економічний ефект	грн.	x	75359,97	x
8. Строк окупності капітальних вкладень	років	x	3,53	x

## ВИСНОВКИ

На основі аналізу сучасного стану та перспектив розвитку електромеханічних комплексів поліграфічних машин визначено завдання щодо їх подальшого вдосконалення, з ціллю задоволення зростаючих вимог до якісних показників друку. Складено математичні моделі систем керування комплексами, що враховують динамічні властивості виконавчих механізмів виробничого процесу.

Розроблено алгоритми керування взаємопов'язаними технологічними змінними комплексів, що дозволяють підвищити якість їх регулювання.

Проведемо аналіз динамічних властивостей локальних контурів регулювання подачею паперу і барвника. Показана необхідність підвищення швидкодії контурів для досягнення динамічної декомпозиції контурів регулювання технологічних змінних. Дано рекомендації по налаштуванню локальних контурів регулювання з урахуванням динаміки виконавчих механізмів.

Розроблено узагальнені комп'ютерні моделі електромеханічних систем друкованих агрегатів.

Виконано оцінку показників, що характеризують продуктивність і якість друку, які використані при розробці алгоритму керування.

Проведено аналіз процесів в друкованих агрегатах і комплексах з точки зору вирішення завдань автоматичного керування по якості і продуктивності друку. Обґрунтовано умови зміни частоти рухів робочих органів агрегатів, відповідні оптимальним режимам роботи агрегатів.

Застосування відео-контролю при дослідженні якості друку не дозволяє в повній мірі оточити динамічні характеристики електроприводів в різних режимах. Тому в роботі розроблена комп'ютерна модель, що дозволяє моделювати різні режими друку, проводити оптимізацію роботи системи керування поліграфічним комплексом.

Розроблена структура та принципи побудови системи автоматичного керування друкованих агрегатів, засновані на якості і продуктивність друку.

Дослідження сервоприводів поліграфічної машини MEDIA MAN. Досліджується автоматична синхронізація високоточних рухів циліндрів і систем керування подачі барвника.

Реалізація режимів керування на промислових контролерів вимагає застосування компактних, з хорошими тимчасовими характеристиками програмних засобів.

Розробка FUZZ Y-алгоритми для вирішення завдань автоматичного керування подачі паперу і барвника по якості і продуктивності друку.

Наведено апаратне забезпечення системи керування подачі паперу і барвника друкованого комплексу MEDIA MAN.

У процесі дослідження системи керування поліграфічної машини MEDIA MAN, складено опис структурної і функціональної побудови електромеханічних комплексів машини.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Антонов В.Н., Терехов В.А., Тюкин И.Ю. Адаптивное управление в технических системах: Учеб. пособие. – СПб.: Издательство С. – Петербургского университета, –2001. – 244 с.
2. Акимов Л. В. Электромеханические системы скорости и положения с наблюдателями состояния : монография / Л. В Акимов, В. И. Колотило. – Харьков : ХГПУ, 1999. – 81 с.
3. Бойко В. С., Бойко В. В., Видолоб Ю. Ф. та ін. Теоретичні основи електротехніки. Підручник: У 3 т.; Т. 2: Перехідні процеси у лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами.– К.: ІВЦ "Видавництво «Політехніка»", 2008.–224с.
4. Воронов Е.А. Теория и расчет механических приводов многокрасочных рулонных ротационных машин: Учеб. Пособие, – Омск: ОмПИ, – 1992.
5. Вартамян С.П., Избицкий Э.И. Математический анализ динамики процесса передачи краски в красочных аппаратах ротационных машин высокой печати. Труды ВНИИПП. Т. 18, вып. 2, – 1967.
6. Галай В. М. Теорія оптимальних систем автоматичного керування технологічними процесами: (Зеленський К. Х., Сільвестров А. М.) навчальний посібник з грифом МОН–Полтава: – ПолтНТУ, –2009. – 153 с.
7. Галай В.М. Автоматизація комплексу технологічних процесів кварцового заводу: монографія: Полтава, ПолтНТУ, – 2009. – 310 с.
8. Галай В.М. Теорія цифрових систем автоматичного керування: навчальний посібник: Полтава, ПолтНТУ, 2009. – 131 с.
9. Голуб А. П. Системи керування електроприводами : навч. посібник / А. П. Голуб, Б. І. Кузнецов, І. О. Опришко, В. П. Соляник. – К. : НМК ВО, 1992. – 352 с.

10. Грабко В. В. Системи керування електроприводами. Розрахунок системи підпорядкованого керування електроприводом постійного струму. Курсове та дипломне проектування : навчальний посібник / В. В. Грабко, М. П. Розводюк, В. В. Грабко. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 89 с.

11. Грабовський Є. М. Технологічні процеси видавничої поліграфічної справи / Є. М. Грабовський, М. М. Оленич. – Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2015. – 192 с.

12. Дмитриев. Г. А., Аль-Шайбапи. М. А. Синтез fuzzy-алгоритмы для решения задачи оптимизации высокоточных компьютеризированных электроприводов печатных машин. III-й Международный научно-практический семинар «интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте», – М.: Физматлит, –2005. - С 413-418.

13. Дмитриев. Г. А., Аль-Шайбани, М. А. Математическое описание системы управления подачей красителя в печатных машинах. Сб. научных трудов: Компьютерные технологии в управлении и диагностике. –Тверь.: ТГТУ, – 2004. С. - 81-86.

14. Дурняк Б.В., Ткаченко В.П., Чеботарьова І.Б. Стандарти в поліграфії та видавничій справі. Львів: Вид-во Укр. Акад. друкарства, 2011. 320 с.

15. Зеленов А. Б. Синтез та цифрове моделювання систем управління електроприводів постійного струму з вентильними перетворювачами : навч. Посібник / А. Б. Зеленов, І. С. Шевченко, Н. І. Андрєєва. – Алчевськ : ДГМІ, 2002. – 400 с.

16. Михеева А.Е. Математическая модель красочного аппарата ротационной печатной машины. Сб. труды: Управление и информатика в полиграфических системах. – М.: МГУГТ, – 2003.

17. Могинов Р.Г. Проектирование полиграфического производства. Современные подходы к решению задач проектирования. М.: МГУП, 2008. 371 с.

18. Онушко В. В., Шефер О. В., Скрильник О. М. Асинхронні машини: посібник із модуля «Асинхронні машини»: – Полтава, ПолтНТУ, –2008. – 183 с.
19. Онушко В. В., Шефер О. В. Електричні машини: Навчальний посібник. – Полтава: ПолтНТУ, –2015. – 536 с.
20. Павленко Т. П. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів. Конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка) / Т. П. Павленко, О. В. Донець, О. М. Петренко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 132 с.
21. Півняк Г. Г. Сучасні частотно-регульовані асинхронні електроприводи з широтноімпульсною модуляцією : монографія / Г. Г. Півняк, О. В. Волков. – Дніпропетровськ : Національний гірничий університет, 2006. – 470 с.
22. Полянский М. М. Основы полиграфического производства / М. М. Полянский. – Москва : Книга, 1991. – 392 с.
23. Пушкар О. І. Технології поліграфічного виробництва [Електронний ресурс] : навчальний посібник / О. І. Пушкар, Є. М. Грабовський, М. М. Оленіч. – Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2019. – 195 с.
24. Рогачов О. І. Оптимальне керування в прикладах і задачах : навчальний посібник / О. І. Рогачов. – К. : ІСДО, 1995. – 272 с.
25. Терехов В. М. Системы управления электроприводов : учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. М. Терехов, О. И. Осипов; под ред. В. М. Терехова. – 3-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 304 с.
26. Шаблій І. В. Технології друкарських процесів / І. В. Шаблій. – Львів : Оріяна-Нова, 2003. – 208 с.

27. Шульга О. В. Навчальний посібник «Автоматизоване керування електроприводами» з дисципліни «Системи керування електроприводами» для студентів вищих навчальних закладів: –Полтава: ПолтНТУ, – 2007. – 352 с.

28. Smith O.J.M. Model-based dead-time compensator. – 1957.

29. Dahlin E.B. Designing and Tuning Digital Controllers // Instruments and Control Systems. –1968. Vol. 41, June. - P. 77-83.

30. Dahlin E.B. Ziemer R.L., Wickstrom W.A., Homer M.G. Designing and Tuning Digital Controllers // Instruments and Control Systems. –1968. Vol. 41, July. - P. 87-91.

# ДОДАТКИ

## Додаток А

## SECTION 1 ANALYTICAL PART

## 1.1 Analysis of automation systems for printing machines

The analysis of printing equipment showed the main trends in this area – the introduction and improvement of digital control systems for traditional printing machines and the development of equipment and technologies for digital printing.

Digital printing continues to cover the printing market. It is most widely used in areas such as printing on demand, production of personalized products (personal appeals, advertising, invitations) and wallpaper production.

Digital printing and, in particular, hybrid printing systems offer exceptional opportunities for printing segmented publications, in which much of the content of the book is unchanged throughout the circulation, and several pages are addressed to a particular group of consumers or residents [1].

Virtually all traditional printing equipment manufacturers have now added digital printing machines to their printing presses with the production of printing plates directly in the machine: Karat 74 by KVA, Speedmaster DI and Quickmaster DI by Heidelberg, Dicoxveb by MAN Roland and others.

At the same time, manufacturers of traditional printing presses are not restructuring global production, because digital machines can pose a real threat only in the field of low-volume products.

Intensive work has been carried out to create and improve digital control systems that would allow you to quickly reconfigure traditional offset machines to cover the market segment where competition with digital printing is possible. In other words, these developments are aimed at preventing digital printing from shifting the boundaries of the section in the direction of increase circulations. Therefore, speeds increase and readjustment time is reduced. Obviously, under no circumstances can even the smallest offset machine with the most advanced digital

control print one copy faster than a digital one, but with a circulation of 1,000 copies, they can already compete.

The trend of development and improvement of digital control systems is due to the fact that now a lot of attention is paid to the creation of printing houses, fully operating in a single network under common control. And it's not just about the CIP3 format [2].

CIP3 allows you to manage the printing house at the level of technological and organizational process, ie to carry out shop management. Currently, there is a question of controlling the work of the entire enterprise at the level of senior management of the printing house: to monitor the economy, material costs, operate printing machines and other equipment. Hence the need for all equipment, including printing presses, to have the ability to digitally control software.

Digital control is not something completely new – it existed before, but its scope was limited to one machine (paper and paint control, drive control, etc.). Modern programs solve the problem of managing not only a specific machine, but the whole enterprise, assuming that the printing machine is part of the overall printing system. Now, thanks to the integration of all software with software control into a single network, it has become possible to centrally control the entire cycle of operations – from preparation of the publication to the issuance of finished products.

The next trend in the development of printing equipment is to increase the color. The vast majority of newspaper machines, especially large units, are made in multicolor, and sheet-fed machines contain 10–12 printing sections.

To obtain a dry impression, ready for further processing, because to remove the solvent, the paper web in the drying device is heated or treated with electromagnetic radiation – in this case, you can print at speeds up to 30,000 rpm. Such machines show almost the weight of the main manufacturer: KVA, Heidelberg, MAN Roland, etc., presented in this market [3].

In modern printing, another trend is very clear: today a high share of printing products is packaging, which causes changes in the construction of machines, including printing.

Large magazine machines, especially rotary ones, are equipped with equipment that allows you to do almost everything in the line: printing, sewing, trimming on three sides, packaging. This direction is becoming more widespread and more and more companies are joining the development of additional devices. A very interesting and cheap device for three-sided pruning, which is installed immediately after the folding machine, was offered at the exhibition by Ferag.

Heidelberg is at the forefront of single-volume rolling machines, producing the Mainstream with a rolling width of 1,700 mm and a print speed of 80,000 rpm, providing performance at the level of double-volume machines with a speed of less than 45,000 rpm.

MAN Roland is Regioman's largest single-volume machine with a roll width of 1400 mm. It is suitable for printing German and many American newspapers, but our country requires a roll width of 1680 mm (for A2 newspapers).

KVA has created a compact small (3.2 m high) four-color newspaper roll machine of single width and single volume called Cortina. This machine has an interesting design, and the choice of technology of "dry" offset, which focuses on KVA, according to representatives of the company, related to the requirements for reducing environmental pollution.

Thus, the most unexpected solutions are possible – the combination of traditional and digital printing, ie convergence in quality and speed [4].

## 1.2 Requirements for the management of electromechanical systems to achieve the specified quality indicators of printing

The control system of a modern printing machine, which is a set of basic and auxiliary technological equipment with different degrees of automation, should be presented in the form of a three-level hierarchical control system. The structure of the system is shown in Figure 1.1.

The first – lower level contains an interconnected electromagnetic subsystem (EPS), the input variables of which are control signals of various semiconductor

converters, and the output variables  $N$  - electromagnetic moments (forces) of electric motors. Control of interconnected electromagnetic variables takes place in the control of DC and AC motors, because it is necessary to carry out independent control of electromagnetic torque and flux. The basis for the mathematical description of electromagnetic subsystems is theoretical electrical engineering, and in particular the Kirchhoff and Maxwell equations, and in the presence of equivalent circuits adequate to physical processes - the theory of linear and nonlinear electrical circuits.

The second level contains an interconnected mechanical subsystem (VMS), which has feedback from the SEP on the circuits of electromagnetic induction. The initial variables of VMP are variables  $q$ , which characterize the movement of actuators (linear and angular displacements, velocities, elastic forces and moments).

Interconnected mechanical subsystems are controlled by multi-motor electric drives.

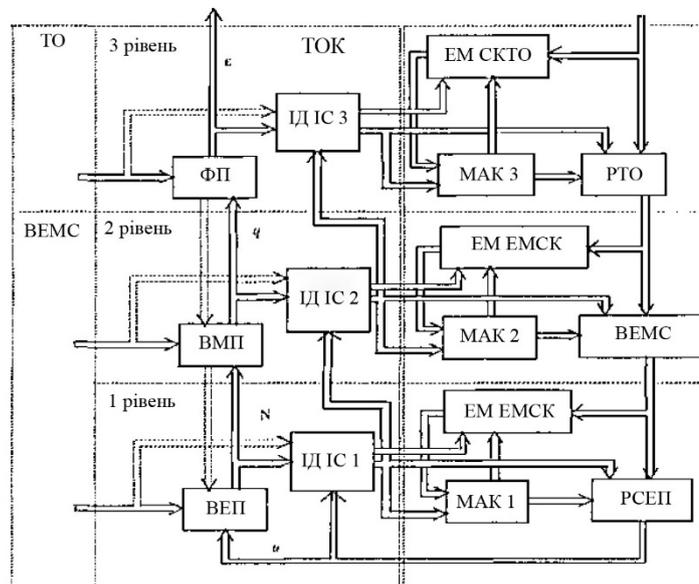


Figure 1.1– Structure of a three-level hierarchical management system

The basis for the mathematical description of the mechanical subsystem is theoretical mechanics, and in particular the equations of Lagrange and Newton. Considered together subsystems VMP and SEP form an interconnected electromechanical system (VEMS).

The third level contains a functional subsystem (AF), which provides the formation of quality indicators 8 of the technological process. At this level, the control of technological variables of the object (TO) is carried out, which dictates the need to control mechanical variables, and through them – and control of electromagnetic variables. Mathematical description of functional subsystems contains a description of physical processes characteristic of a technology.

For each of the subsystems it is possible to consider the corresponding regulators: RVEP, RVEMS, and RTO, which are in interlevel subordination in the control complex (KU) of the interdependent system in the same way as in the technological control object (TOU). The regulators receive signals of tasks of variables  $N, q$  measured or calculated values of variables. Subsystems of each level contain information tools (IC) and identifiers (IDs) that generate the necessary information for the management process at each level and in the management system as a whole. In the general case, control systems of each level are adaptive systems that adapt through adaptive control modules (UIA) in accordance with the reference models of control processes in electromagnetic, electromechanical control systems (EM ESU, EM EMSU) and in the control system of the technological object as a whole (EM SUTO).

In the most general form, the description of each of the subsystems can be performed in the form of a system of nonlinear differential equations:

$$\dot{X} = F(x, u, f, t); \quad (1.1)$$

or:

$$\dot{X} = A(x, t)x + B(x, t)u + D(x, t)f; \quad (1.2)$$

$$Y = C(x, t);$$

. where:  $A(x, t) + B(x, t), D(x, t)$  – matrix of state, control and perturbation, respectively;

$C(x, t)$  - scale matrix;

$x, u, f, y$  –vectors of state, control, perturbation and measurable variables, respectively.

The development of control algorithms for electric drives of technological objects is performed, as a rule, taking into account the two most important quality assessments – speed and related performance and integrated quadratic estimation of control errors and related process quality.

In the theory and practice of control of interconnected electromechanical systems seek to obtain normalized dynamic processes based on typical control algorithms for small and large changes in variables. For autonomous systems with small changes in variables – this is widely known in the methods cascade (subordinate) control of adjusting control loops to «module optimum» (OM) and «symmetric optimum» (CO), and in modal control methods – standard root distributions of characteristic polynomials.

As mentioned above, the algorithms for controlling the variables of interconnected electromechanical systems are determined by the peculiarities of the formation of quality indicators of the technological process at the level of functional subsystems. The quality of printed products is characterized by basic technical indicators. Among them are color combinations, the value of the thickness of the ink layer on the raster elements of the prints (optical density), color background, color purity, clarity of reproduction, stretching, uniform distribution of ink on the print. The main normalized indicators - technological variables of the process – include the main mismatch of colors and thickness of the paint layer (optical density).

To a large extent, the quality of printed products is determined by the accuracy of support and stability of the printing process. By stable is meant a process that ensures, under the given regime conditions of printing, the preservation of normalized values of print quality indicators throughout the circulation.

At formation of qualitative indicators of printing the task of regulation of some mechanical variables by means of system, the multi-engine electric drive of the car is set. So, for example, the big influence on mechanical properties of a paper cloth is given by its tension in printing sections and a folding machine.

The solution of problems of separate regulation of electromagnetic, mechanical and technological variables is possible by means of the control system

containing a number of separate subsystems, each of which is connected with the decision of a certain task and localized in relation to the technological equipment. IN currently only decentralized printing machine control systems are used. The main reason for the need to decentralize the production management system is the presence of delays in control channels and distortion of information in its transmission channels, as well as the nature of the disruptive effects on color matching and optical density.

### 1.3 Principles of construction and methods of implementation of systems for automatic synchronization of high-precision movements of cylinders

Automated electric drives for printing machines are a variety of complex automatic control systems, ranging from the simplest open control systems for electric drives based on asynchronous motors with short-circuited rotor, starting, braking and reversing the motor without speed control, to multi-circuit locks. provide stabilization of one or more adjustable coordinates.

Closed systems of automatic control (ACS) of electric drives (AC) can be digital (computerized) control systems of electric drives. Computerized AC ACs use only digital (pulse) devices in the system.

According to the above concept of a three-level hierarchical control system of the electromechanical complex, the structure of the control system of the printing machine has a generalized form, shown in Figure 1.2.

The functional diagram of the control system of electric drives of one printing apparatus is shown in Figure 1.3.

The diagram shows: BU – drive control unit, CT – technological controller, PO - operator panel, DN, RAIN, DYAV – sensors, respectively, tension, optical density, print quality.

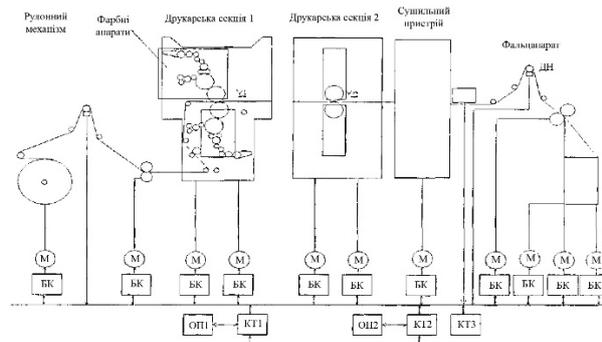


Figure 1.2 – Functional diagram of the system of automated multi-motor electric drives of the machine

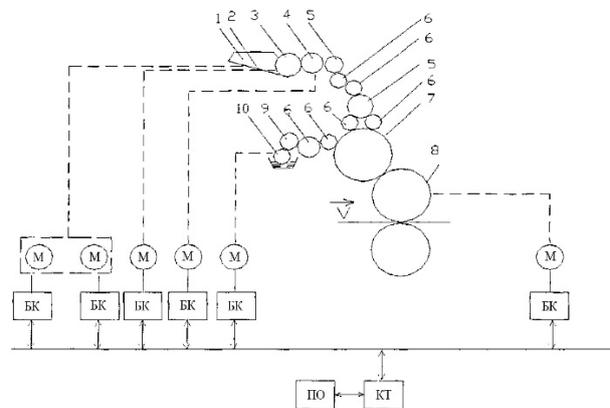


Figure 1.3 – Functional diagram of the system of electric drives of one printing machine

The following designations are accepted:

1 – a box with paint, 2 – a knife, 3 – the colorful printing cylinder, 4 – the colorful transfer roller, 5 – rolling rollers, 6 – rolling rollers, 7 – forming cylinder, 8 – printing cylinder, 9 – humidifying transfer roller, 10 – humidifying printing cylinder

The main tasks of the control system of a multi-motor electric drive of a printing machine are serial connection of sectional electric drives, distribution of loads in drives consisting of several drive sections kinematically connected by a common shaft, and maintenance of set tension of paper between separate sections of machine.

The power line of the complex consists of power transformers, uncontrolled rectifiers with filters, autonomous voltage inverters. The distributed control system

includes information buses that connect the process controller with the control controllers of the groups of electric drives.

Technological controllers are designed to obtain information about the state of the technological process from various sensors, processing the information obtained in accordance with the established program, the issuance of control effects on the process.

Operator stations are designed to display information about the technological process, the tasks of process control modes and the introduction of tasks of process parameters.

Scanner, or intelligent platform, designed to move the sensors installed on it. The scanner is equipped with its own controller, which processes information coming from the sensors and transmits a special data bus to the process controller. To ensure constant measurement accuracy, the controller automatically brings the sensors over the edge of the paper web and performs standardization. The scanner collects information about print quality in continuous scan mode.

Information from the process controller to the operator's station and back is transmitted via the system bus. The network organization of the system allows you to output to the operator station information from any process controller connected to the network.

The network bus is designed to connect a network printer and provide the ability to connect to other management systems, accounting, etc.

Recently, all leading manufacturers of printing machines are developing models with direct drives (multi-motor electric drive). The technology of direct drives in printing machines must meet the following requirements: reduce the time of reconfiguration, the amount of waste and cost while improving print quality.

The electric drive consists of the following functional parts:

- AC motors;
- speed sensors;

–cabinets of automatic control, management, measurement, protection and signaling system with installed frequency converters, which control controllers, input circuit breakers, contactors, protective and switching equipment;

–control panels with installed operator panels and operational controls of the electric drive;

–systems of diagnostics and control of the electric drive;

–engine monitoring and vibration diagnostics systems.

The system of consecutive conducting is intended for automatic coordination of speeds of adjustable drives of the car, both in the course of technological changes of working speed, and in the modes of start and stop.

Figure 1.4 shows a functional diagram of the speed control system, the ratio of the speeds of the drive shafts and cylinders and tension of the paper tape, which refers to the paper-conducting system of the machine.

For high-quality paper tape feeding, the speed of the next pairs of leading cylinders of the paper-making system exceeds the speed of the previous pairs by about 2–3%. Under such conditions, the paper tape in the process of movement receives some elongation and is in a tense state.

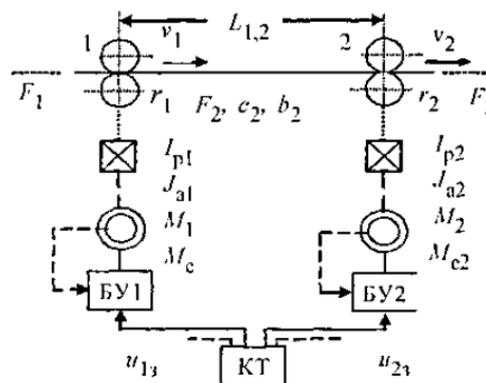


Figure 1.4 – Functional diagram of the speed control system, the ratio of the speeds of the drive shafts and cylinders and the tension of the paper tape

The behavior of the web in the area of stretching length  $L$ , taking into account the speed and internal damping is described by differential equations:

$$F_j = \left[ \left( \frac{c_j}{p} \right) + b_f \right] [v_{i+1} - v_j (1 + \varepsilon_j)]; \varepsilon_j = \left( \frac{1}{L_j} \right) \left[ \frac{1}{c_j + b_j p} \right] F_2; p = \frac{d}{dt}; (1.1)$$

where:  $F_j$  – tension;

$\varepsilon_j$  –relative elongation;

$v_{i+1}$  and  $v_j$  –are the linear velocities of the web at the beginning and end of the stretching section;

$c_j$  and  $b_j$  –are the coefficients of stiffness and internal damping.

The desire to increase the productivity of roll rotating machines leads to increased speeds of paper tapes. At the same time to reduce the risk of breakage of the paper tape using various shock-absorbing devices: spring, pneumatic, loop, mechanical. Spring shock-absorbing rollers have become widespread. However, the use of a spring shock absorber leads to some increase in elongation. Their use is effective in the case of alternating changes in the tension of the paper tape, for example, as a result of beating the roll. At the same time, the damping system with the use of high-strength tension control systems, with the use of sensors under the moving rollers, is becoming more widespread.

Thus, the advantages of direct drive machines:

- the traditional road and bulky construction driven by the main shaft is eliminated. There is no need to use a large number of mechanical elements: cams, shafts, gearboxes – they are replaced by electronics;

- individual drives allow to carry out stepless adjustment of length of a print. In this regard, technological capabilities are expanding, significant sealing savings are achieved. In addition, it is possible to adjust the length of the imprint within small limits by changing the rotational speeds of the forming and printing cylinders relative to each other, which can be used to compensate for the stretching of the packaging web;

- there is a possibility of high-quality printing on materials of different thickness;

- reduces the time to prepare the machine for printing.

Disadvantages of cars with direct drives:

- the introduction of new technological solutions is always associated with the need for additional investment;
- lack of experience creates an additional psychological barrier for users;
- maintenance of complex equipment requires highly qualified personnel, which is an additional item of expenditure.

In printing machines to perform a variety of printing parameters are not available without a subscription to several individual drives – multi-motor electric drive. In systems of multi-motor electric drives it is possible to use common rectifiers for a group of pulse-width converters or stand-alone inverters. The advantages of such schemes are the possibility of energy saving by transferring braking energy from engine to engine.

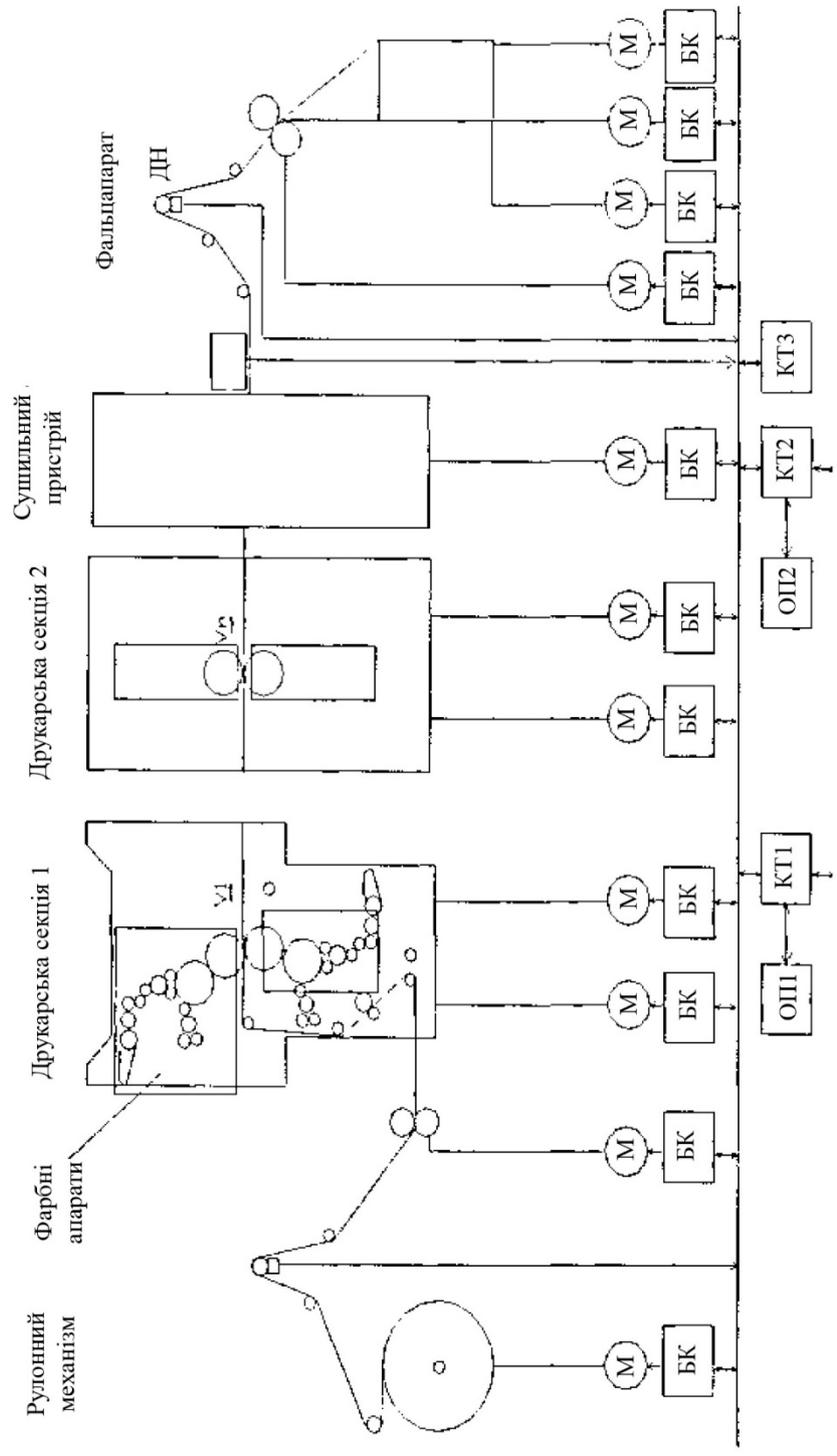
In multi-motor electric drive systems using one input unit and several inverters, the braking energy of one of the motors can be pumped from the DC mains to the other without braking the motors. In this case, the brake resistor module may not be used. In the case of group braking of electric motors without such a module can not do.

ABV frequency converters are similarly made.

Within the framework of the concept «ACS 600 Multi Drive» (ACS 600 multi-motor electric drive – from 2.2 to 5 kW, from 380 to 690 V) developed a single drive control system with a common DC bus for a wide range of powers, which reduces setup costs and provides maximum efficiency and economy when using it. The system has the ability to expand by combining with other management systems – from simple to covering the entire enterprise. For control of large systems of electric drives the decision in the form of the distributed control system is possible. Additional controllers and high-speed local buses are used for its coordination. There are also applications to the system in the form of software software (software packages: «Alvabuild for Windows», «DrjveLink», «DrivcWindow», «DriveSupport»), which aims to reduce engineering costs depending on the requirements for the management system.

Додаток Б

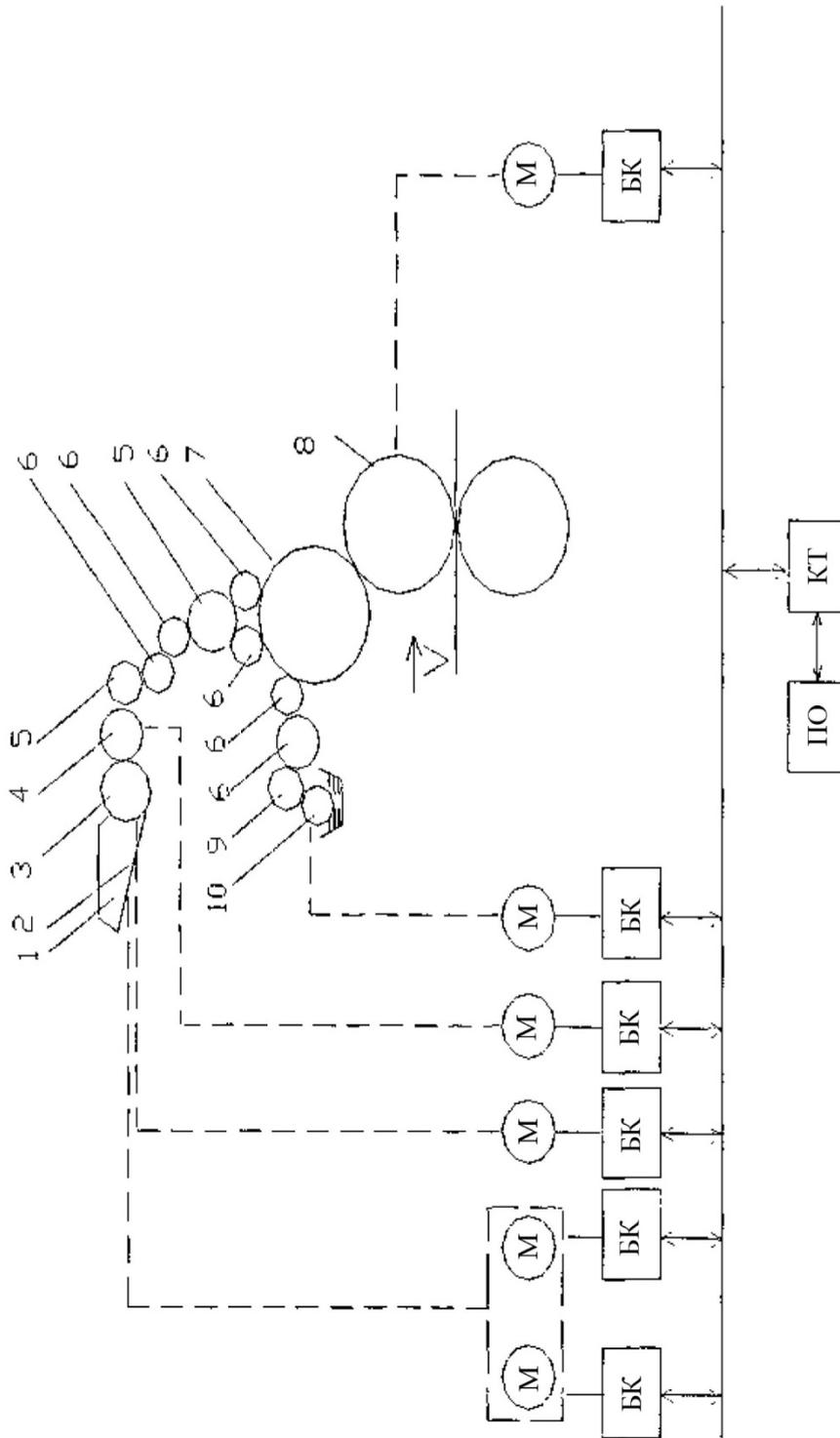
Функціональна схема системи автоматизованих багатодвигунних електроприводів поліграфічних машин



БК – блок керування приводу, КТ – контролер технологічний, ПО – пульт оператора, ДН, ДОЩ, ДЯВ – датчики, відповідно, натягу, оптичної щільності, якості відбитка

## Додаток В

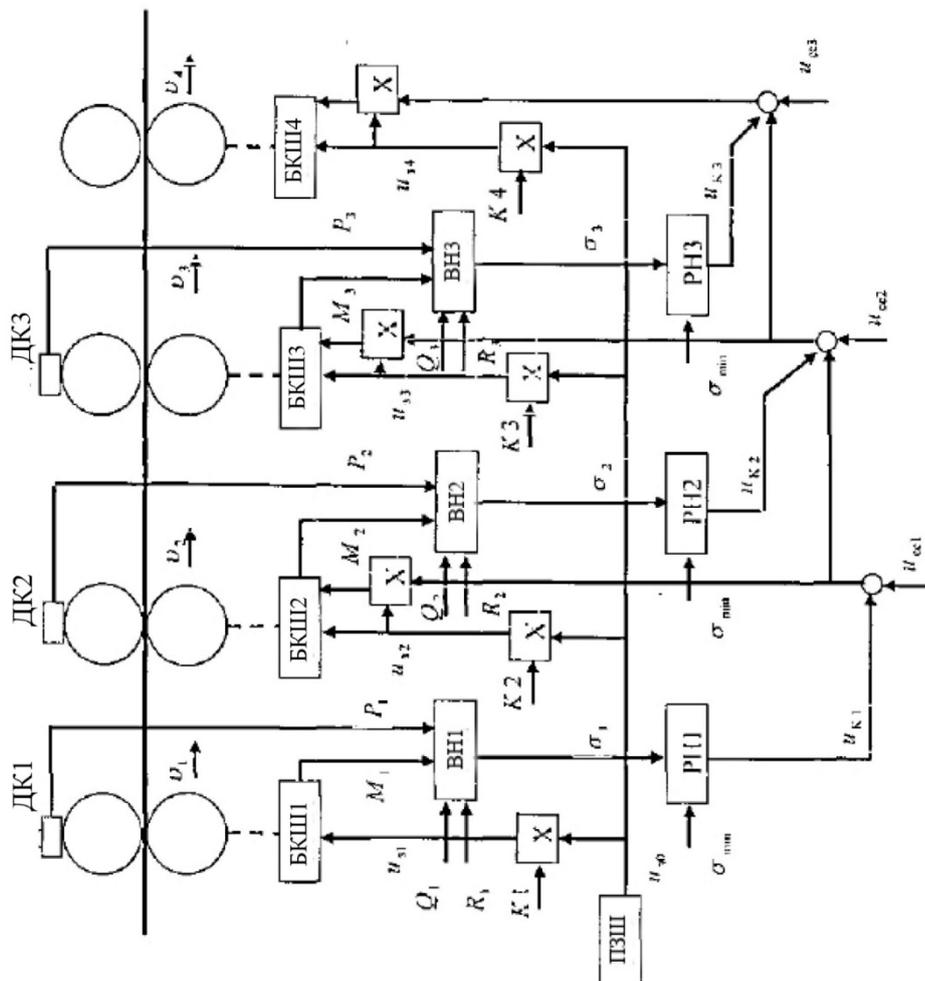
## Функціональна схема системи електроприводами одного друкарського апарату



1 – ящик з фарбою, 2 – ніж, 3 – барвистий дукторний циліндр, 4 – барвистий передавальний валик, 5 – розкатні валики, 6 – накатні валики, 7 – формовий циліндр, 8 – друкуючий циліндр, 9 – зволожуючий передавальний валик, 10 – зволожуючий дукторний циліндр

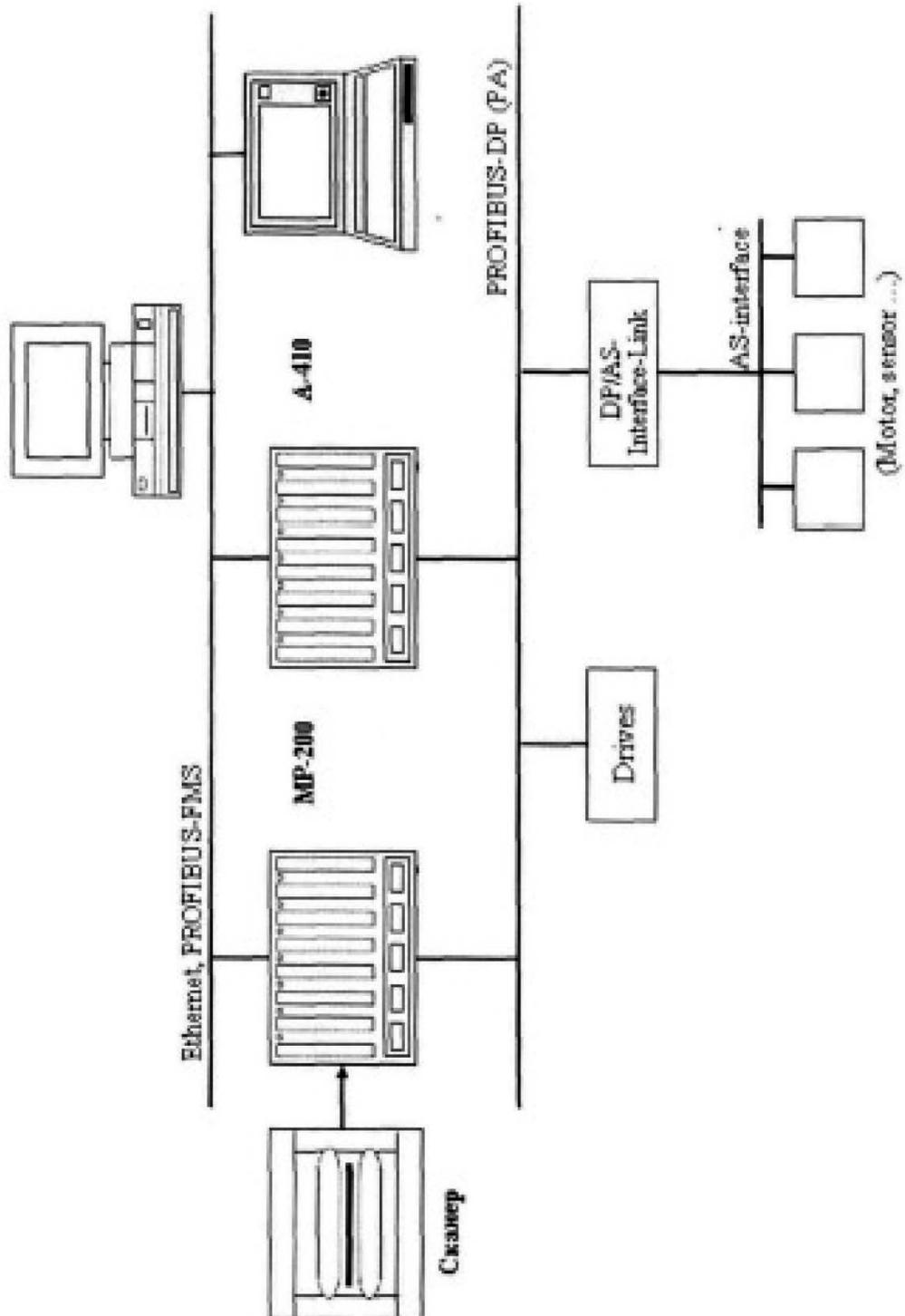
## Додаток Г

Функціональна схема системи керування безперервною групою ПА-ю з регулюванням співвідношень швидкостей і міжсекційних натягів



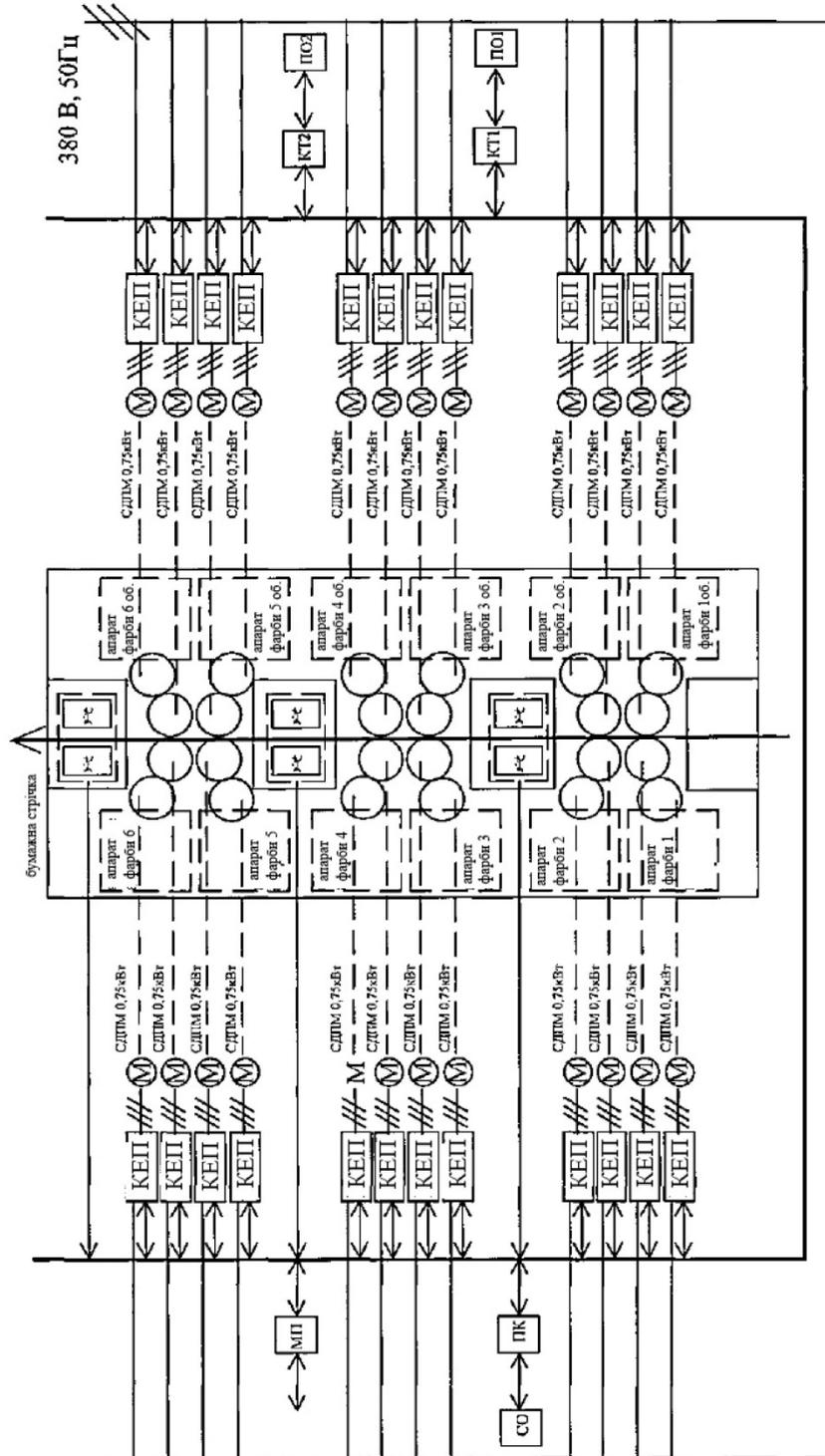
## Додаток Г

## Функціональна схема апаратної частини системи керування друкарських машин



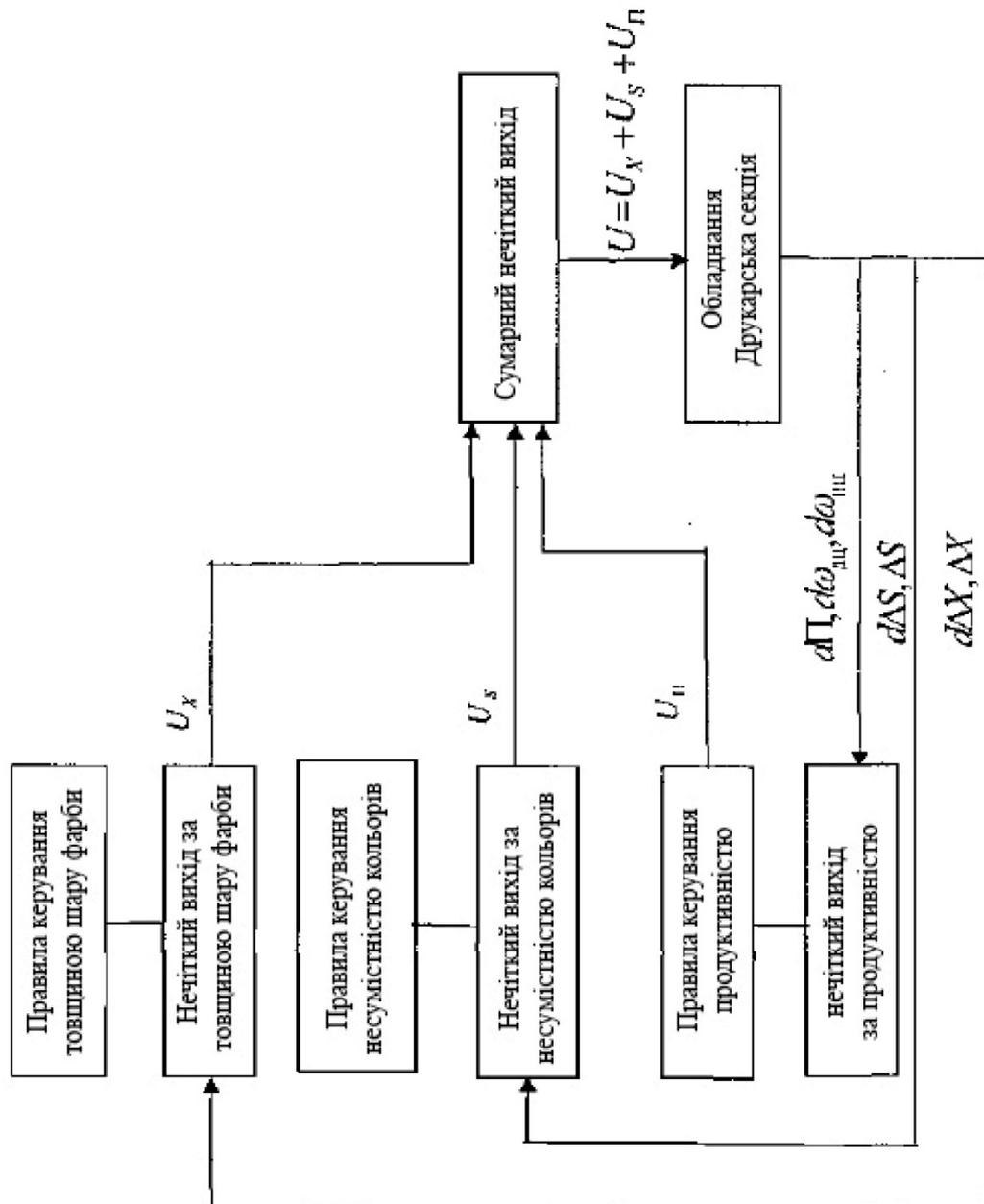
Додаток Д

Функціональна схема системи автоматизованих багатодвигунних електроприводів поліграфічної машини MEDIA MAN



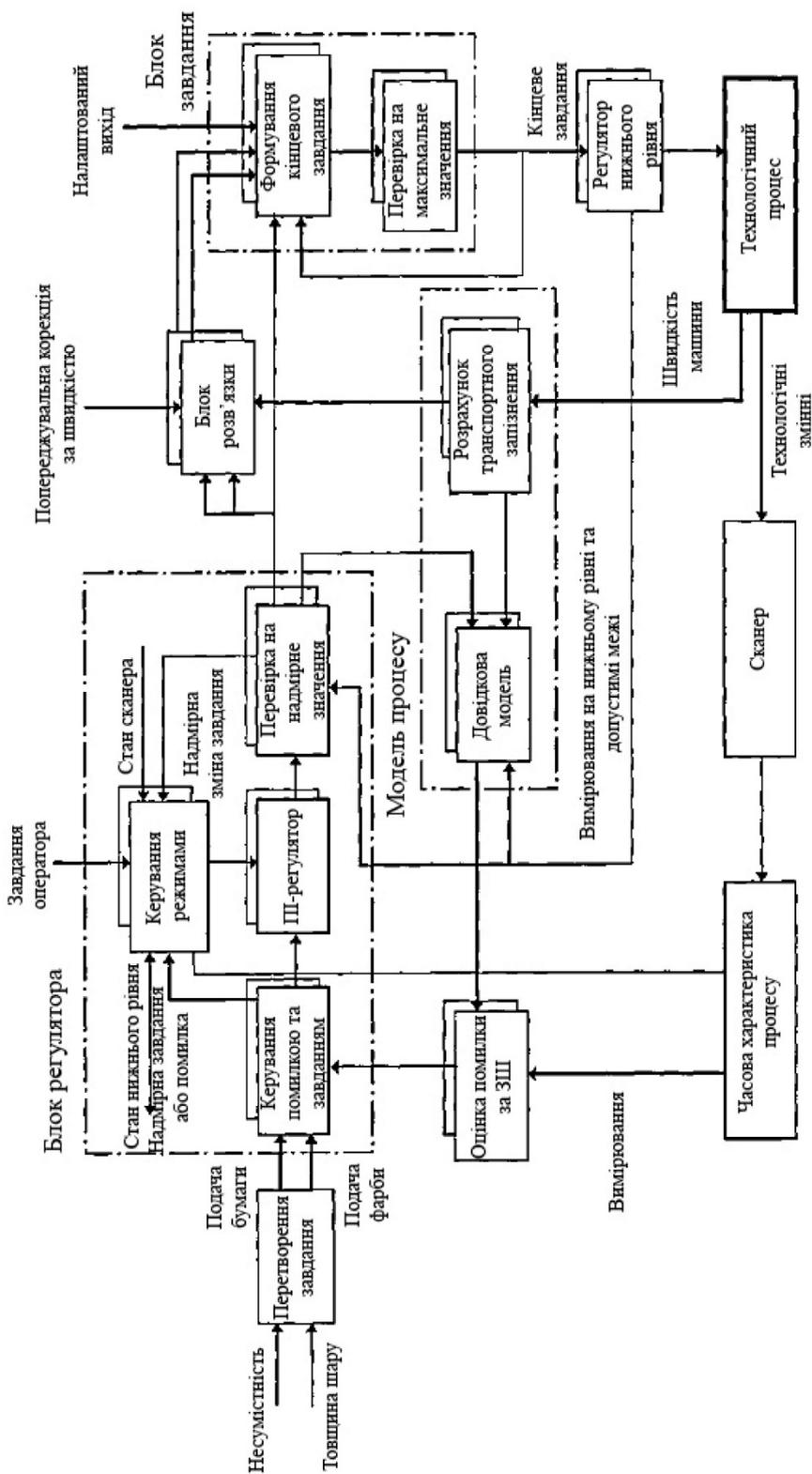
## Додаток Е

Блок-схема роботи нечіткого регулятора товщини шару фарби, несуміщення кольорів і продуктивності



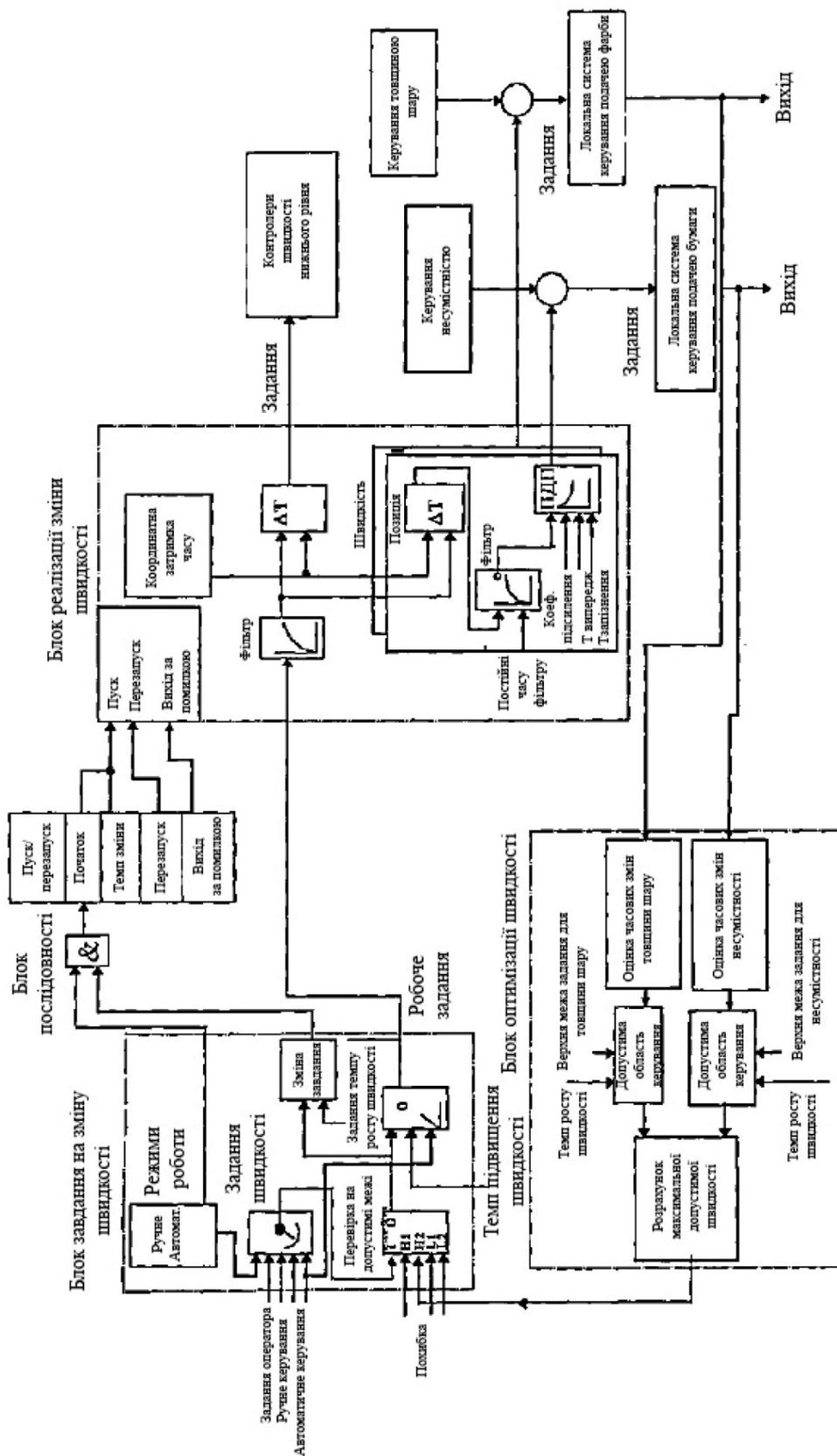
## Додаток Є

Функціональна схема системи керування не суміщення кольорів і значення товщини шару фарби на растрових елементах відбитків



Додаток Ж

Функціональна схема системи керування швидкістю поліграфічних машин.



## Додаток 3

Таблиця техніко-економічних показників

Показники	Одиниці виміру	Значення		
		до модернізації	після модернізації	абсолютне відхилення
1. Капітальні витрати на модернізацію	грн.	х	266006,18	х
2. Річний фонд часу роботи	год.	1971,72	1993,65	-21,93
3. Річна експлуатаційна продуктивність	тис.від.	177454,80	215314,20	-37859,40
4. Річні експлуатаційні витрати, усього:	грн.	246972,17	224504,53	+22467,64
у тому числі:				
витрати на оплату праці	грн.	148031,36	149677,81	-1646,45
витрати на ТО та ТР	грн.	9474,01	2457,22	+7016,79
витрати на електроенергію	грн.	89466,80	72369,50	+17097,30
5. Вартість однієї машино-години роботи	грн./год	125,26	112,61	+12,65
6. Вартість технологічної операції	грн./тис.від.	1,39	1,04	+0,35
7. Річний економічний ефект	грн.	х	75359,97	х
8. Строк окупності капітальних вкладень	років	х	3,53	х