

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені Ігоря Сікорського»

(повне найменування вищого навчального закладу)

ІНЖЕНЕРНО - ХІМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматизації хімічних виробництв

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ А.І.Жученко
« ___ » _____ 2021 р.

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

з напрямку підготовки **151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології**

на тему: Автоматизація виробництва паперу на універсальній тихохідній папероробній машині

Виконав: студент 4 курсу, група ЛА-п81
(шифр групи)

Минта Богдан Леонідович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

_____ (підпис)

Керівник Доц. к.т.н., с.н.с. Піргач М. С.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант Охорона праці асистент Ковтун А.І.

(назва розділу)

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що в цьому дипломному проекті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань

Студент _____

(підпис)

Київ - 2021 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Інженерно-хімічний факультет

(повна назва)

Кафедра автоматизації хімічних виробництв

(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Напрямок підготовки 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ А.І.Жученко

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«___» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студенту

Минті Богдану Леонідовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту Автоматизація виробництва паперу на універсальній тихохідній паперовій машині _____,

керівник проекту Піргач Микола Соловейович к.т.н., с.н.с.,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «26» квітня 2021 р. № 1071 - с

2. Термін подання студентом проекту 18 червня 2021р.

3. Вихідні дані до проекту: Папероробна машина для виробництва паперу 30 г/м², ширина полотна 2520 мм, швидкість 195-235 м/х, продуктивність 20,87 тон – добова, річна – 7200т.

4. Зміст пояснювальної записки 1. Аналіз процесу виробництва паперу; 2. Мат. моделі сухої і мокрої частин; 3. властивості систем подачі маси; 4. Синтез законів керування; 5. Реалізація МПС керування витрати маси високої концентрації.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо) схема автоматизації процесу виробництва ацетилену за методом «вода на карбід», принципова електрична схема дистанційного керування електричними моторами, принципова електрична схема технологічного блокування.

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Ковтун А. І., асистент		

7. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу виробництва паперу	20.05.2021	
2	Математичне моделювання мокрої і сухої частин тихохідної папероробної машини	24.05.2021	
3	Властивості системи подачі маси на сітку тихохідної папероробної машини	28.05.2021	
4	Синтез законів керування системою подачі маси на сітку папероробної машини	30.05.2021	
5	Реалізація мікропроцесорної системи керування витратою маси високої концентрації	03.06.2021	
6	Керування папероробною машиною	07.06.2021	
7	Охорона праці	08.06.2021	
8	Висновки	11.06.2021	
9	Перелік посилань		

Студент

(підпис)

Минта Б.Л.

(ініціали, прізвище)

Керівник проекту

(підпис)

Піргач М.С.

(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

АНОТАЦІЯ

Автоматизація виробництва паперу на універсальній тихохідній папероробній машині.

Дипломний проект на здобуття ступеня Бакалавр.

Київ-2021, 135 сторінок, 41 рис, 2 табл. 26 джерела, 3 додатки.

Об'єкт розробки – система автоматизації виробництва паперу і зокрема система автоматичного керування рівнем маси у напірному ящику відкритого типу.

Мета проекту – розробка схеми автоматизації виробництва паперу на універсальній тихохідній папероробній машині та дослідження системи автоматичного керування напірним ящиком відкритого типу та напірного ящика з вакуумним простором.

На підставі вивчення процесів, що протікають у напірних ящиках, розроблено математичні моделі напірних ящиків як об'єктів керування рівнем маси і сумарним напором маси.

Рекомендовано систему автоматичного керування напірним ящиком, у якій рівень маси у ньому регулюється регулятором рівня, що змінює подачу маси у ящик.

ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ, ПАПЕРОРобНА МАШИНА, НАПІРНИЙ ЯЩИК ВІДКРИТОГО ТИПУ, НАПІРНИЙ ЯЩИК З ВАКУУМНИМ ПРОСТОРОМ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ

ABSTRACT

Automation of paper production on a universal low-speed paper machine

Diploma project for the Bachelor's degree.

Kyiv-2021, 135 pages, 41 figure, 2 table. 26 sources, 3 appendices.

The object is a system of automation of paper production and in particular a system of automatic control of the level of mass in an open headbox.

The purpose of the project is to develop a scheme for automation of paper production on a universal low-speed paper machine and to study the system of automatic control of an open-type headbox and a headbox with vacuum space.

Based on the knowledge of processes occurring in headboxes, mathematical models of headboxes as objects of mass level control and total mass pressure have been developed.

A system of automatic control of the headbox is recommended, in which the mass level in it is regulated by a level regulator, which changes the supply of mass to the box.

DIPLOMA PROJECT, PAPER MACHINE, HEADBOX, HEADBOX WITH VACUUM SPACE, CONTROL SYSTEM

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	10
ВСТУП.....	11
1 АНАЛІЗ ВИРОБНИЦТВА ПАПЕРУ НА УНІВЕРСАЛЬНІЙ ТИХОХІДНІЙ ПАПЕРОРІБНІЙ МАШИНІ.	12
1.1 Загальна схема виробництва паперу.....	12
1.2 Особливості роботи універсальної тихохідної папероробної машини	13
1.3 Автоматизація універсальних тихохідних папероробних машин.....	17
1.3.1 Вимірювальні засоби автоматизації	17
1.3.1.1 Вимірювання витрат технологічних параметрів.....	17
1.3.1.2 Вимірювання концентрації розбавленої маси	17
1.3.1.3 Вимірювання маси 1м ² і вологості паперового полотна	17
1.3.1.4 Вимірювання тиску і рівня маси у напірних ящиках.....	18
1.3.1.5 Вимірювання тиску, температури та витрати пари	18
1.3.1.6 Вимірювання швидкості сітки	18
1.3.2 Виконавчі пристрої.....	19
1.3.2.1 Пневматичні виконавчі механізми	19
1.3.2.2 Крокові двигуни.....	19
1.4 Традиційні автоматизовані системи керування тихохідною папероробною машиною	20
1.4.1 АСКТП на базі керувальної обчислювальної машини МАТ 01	20
1.4.1.1 Керувальна обчислювальна машина	20
1.4.1.2 Аналогово-цифровий перетворювач	20
1.4.1.3 Цифро-аналоговий перетворювач.....	20
1.4.2 Дослідний зразок АСКТП на базі мікро – ЕОМ «Електроніка-60».....	21
1.5 Принципи побудови сучасних автоматизованих систем керування тихохідною папероробною машиною	22
1.5.1 Типи АСКТП виробництва паперу.....	22
1.5.2 Причини виникнення відхилень маси 1 м ² паперового волокна від її заданого значення і методи боротьби з ними	25
2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МОКРОЇ І СУХОЇ ЧАСТИН ТИХОХІДНОЇ ПАПЕРОРІБНОЇ МАШИНІ.....	27
2.1 Склад системи подачі маси	28

					<i>ДП ЛА-п81.05.00.000 ПЗ</i>			
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Минта.Б.Л			Пояснювальна записка	Лит.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Піргач М.С					6	Аркушів:138
Н. Контр.					НТУУ “КПІ” ІХФ			
Затверд.		Жученко А.І.						

2.2 Математичне моделювання змішування маси високої концентрації з обіговою водою як об'єкта керування витратою і концентрацією розбавленої маси.....	30
2.2.1 Представлення змішувача системою лінійних диференціальних рівнянь.....	30
2.2.2 Представлення змішувача системою векторно-матричних рівнянь	33
2.2.3 Визначення витрати маси високої концентрації	35
2.3 Математичне моделювання напірного ящика відкритого типу, як об'єкту керування рівнем маси	37
2.3.1 Представлення напірного ящика лінійним диференціальним рівнянням	37
2.3.2 Представлення напірного ящика двома передавальними функціями..	39
2.3.3 Представлення напірного ящика двома дискретними передавальними функціями	40
2.3.4 Визначення витрати маси крізь випускальну щілину папірного ящика відкритого типу	41
2.4 Матиматичне моделювання системи подачі маси з напірним ящиком з вакуумним простором	43
2.4.1 Склад системи подачі маси	43
2.4.2 Математична модель змішувача	44
2.4.3 Математична модель напірного ящика з вакуумним простором	45
2.5 Математичне моделювання сушильної частини машини як об'єкта керування масою 1 м². і вологістю паперового полотна	46
2.5.1 Опис сушильної частини машини	46
2.5.2 Структури моделі сушильної частини машини.....	47
2.5.3 Методика визначення передавальних функцій	49
2.5.4 Визначення параметрів передавальних функцій методом нескінченного програмування.....	50
2.5.5 Результати визначення передавальної функції виконавчого пристрою для подачі пари у 2-у сушильну групу	52
3 ВЛАСТИВОСТІ СИСТЕМИ ПОДАЧІ МАСИ НА СІТКУ ТИХОХІДНОЇ ПАПЕРОРОБНОЇ МАШИНИ.....	55
3.1 Змішувач маси високої концентрації з обіговою водою.....	55
3.1.1 Перехідні функції каналів змішувача і їхні графіки.....	55
3.1.2 Керованість змішувача.....	57
3.1.3 Стабілізованість змішувача.....	58

3.2 Напірний ящик відкритого типу.....	60
3.2.1 Статичні характеристики напірного ящика.....	60
3.2.1.1 Залежність рівня маси у напірному ящику від швидкості сітки ...	60
3.2.1.2 Залежність висоти випускальної щілини напірного ящика від концентрації маси у ньому і підсіткової води, швидкості сітки та маси 1 м ² полотна паперу	61
3.2.2 Динамічні характеристики напірного ящика відкритого типу	62
3.2.2.1 Технічна характеристика напірного ящика ЯНО-180-2950	62
3.2.2.2 Динамічні властивості каналу керування 11	63
3.2.2.3 Динамічні властивості каналу збурення 21	64
4 СИНТЕЗ ЗАКОНІВ КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ ПОДАЧІ МАСИ НА СІТКУ ПАПЕРОРОБНОЇ МАШИНИ.....	66
4.1 Змішувач маси високої концентрації з обіговою водою.....	66
4.1.1 Математична модель змішувача з детермінованим процесом змішування	66
4.1.2 Постановка задачі.....	66
4.1.3 Критерій оптимальності.....	66
4.1.4 Аналітичне конструювання багатовимірної оптимальної регулятора	68
4.1.5 Моделювання оптимальної системи регулювання змішувача	71
4.1.5.1 технічна характеристика змішувача типу 2.....	71
4.1.5.2 Математична модель змішувача як об'єкта керування витратою розбавленою маси і її концентрацією	72
4.1.5.3 Синтез закону керування	73
4.1.5.4 Результати моделювання оптимальної системи регулювання змішувачем двох потоків речовин.....	75
4.2 Напірний ящик з вакуумним простором.....	78
4.2.1 Принципова схема системи подачі маси на сітку папероробної машини	78
4.2.2 Постановка задачі дослідження	79
4.2.3 Математична модель системи подачі маси на сітку	80
4.2.4 Розробка законів керування системою подачі маси на сітку.....	80
4.2.5 Ілюстративний приклад	81
4.3 Сушильна частина машини	83
5 РЕАЛІЗАЦІЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВИТРАТОЮ МАСИ ВИСОКОЇ КОНЦЕНТРАЦІЇ	90

5.1	Постановка проблеми.....	90
5.2	Розробка алгоритмічного забезпечення регулятора витрати маси високої концентрації.....	91
5.3	Технічне забезпечення системи автоматичного керування витратою маси високої концентрації.....	93
5.4	Програмне забезпечення системи автоматичного керування витратою маси високої концентрації.....	97
5.5	Витрати використання регулятора витрати маси високої концентрації	99
6	КЕРУВАННЯ ПАПЕРОРОБНОЮ МАШИНОЮ ЗА ДОПОМОГОЮ БАЗОВОГО КОМПЛЕКСУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ «КОМПАС» 3.....	100
6.1	Опис технологічного процесу виробництва паперу.....	100
6.2	Побудова ієрархічної системи керування папероробною машиною .	101
7	ОХОРОНА ПРАЦІ	106
7.1.	Повітря робочої зони.....	106
7.2.	Електробезпека.....	109
7.3.	Шум та вібрації	110
7.4.	Пожежна безпека та вибухозахист.....	112
	ВИСНОВКИ.....	115
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	117
	ДОДАТОК А. КОМП'ЮТЕРНИЙ РОЗРАХУНОК ДИНАМІКИ СИСТЕМ З ЛІНІЙНИМИ АНАЛОГОВИМИ РЕГУЛЯТОРАМИ.....	120
	ДОДАТОК Б. ПЕРЕЛІК КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ, РЕГУЛЯТОРІВ І АПАРАТУРИ КЕРУВАННЯ	120
	ДОДАТОК В. ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ	135

Список скорочень і умовних позначень

АСК – автоматизована система керування
 АЦП – аналогово-цифровий перетворювач
 ВМ – виконавчий механізм
 ДСАК – дискретна система автоматичного керування
 ДСАР – дискретна система автоматичного регулювання
 ДТ - датчик тиску
 ПРМ – папероробна машина
 КТЗ – комплекс технічних засобів
 МВК – маса високої концентрації
 МНК – маса низької концентрації
 НЯ – напірний ящик
 ОВ – обігова вода
 ПП – повітряна подушка
 ПЕП – пневмоелектричний перетворювач
 РО – регулювальний орган
 САК – система автоматичного керування
 ТП – технологічний процес
 ТОК – технологічний об’єкт керування
 ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач
 ЦОМ – цифрова обчислювальна машина
 ЦСАК – цифрова система автоматичного керування
 ЦФ – цифровий фільтр

					<i>ДП ЛА-п81.05.00.000 ПЗ</i>			
Змін.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Минта.Б.Л			Пояснювальна записка	Лит.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Піргач М.С					10	Аркушів:138
Н. Контр.					НТУУ “КПІ” ІХФ			
Затверд.		Жученко А.І.						

ВСТУП

Папір – матеріал у вигляді тонкого листа (товщина 4 – 400 мкм.), який складається в основному з попередньо розмелених рослинних волокон, безладно переплетених і зв'язаних між собою силами поверхневого зчеплення. Формування паперового листа здійснюється методом осадження на рухомій стінці паперообробної машини з розбавленої волокнистої суспензії (маси). Як сировину для виготовлення паперу інколи використовують синтетичні і мінеральні волокна.

Папероробна машина – основна машина у виробництві паперу. Розрізняють такі основні види папероробних машин: полоскоіткова, круглосіткова, вакуум формувальна, комбінована. Найбільш поширена – плоскоіткова (довгосіткова, столова) машина, вона складається з таких основних частин: сіткової, пресової і сушильної.

Папероробні машини поділяють на тихохідні папероробні машини (ТПРМ) і на швидкохідні папероробні машини (ШПРМ). Характеристики яких наведено нижче

Характеристика	ТПРМ	ШПРМ
Ширина полотна	50см	10м
Макс. Швидкість	100 м/хв	1000 м/хв
Продуктивність	200 кг/год	20 т/год
Витрата маси	60м ³ /год	5000м ³ /год

Тихохідні папероробні машини обладнуються напірними ящиками відкритого типу, напірними ящиками з повітряною подушкою та напірними ящиками з вакуумним простором в залежності від швидкості машини.

1 Аналіз виробництва паперу на універсальній тихохідній папероробній машині.

1.1 Загальна схема виробництва паперу

Загальну схему виробництва паперу на універсальній тихохідній папероробній машині наведено на рис. 1.1.

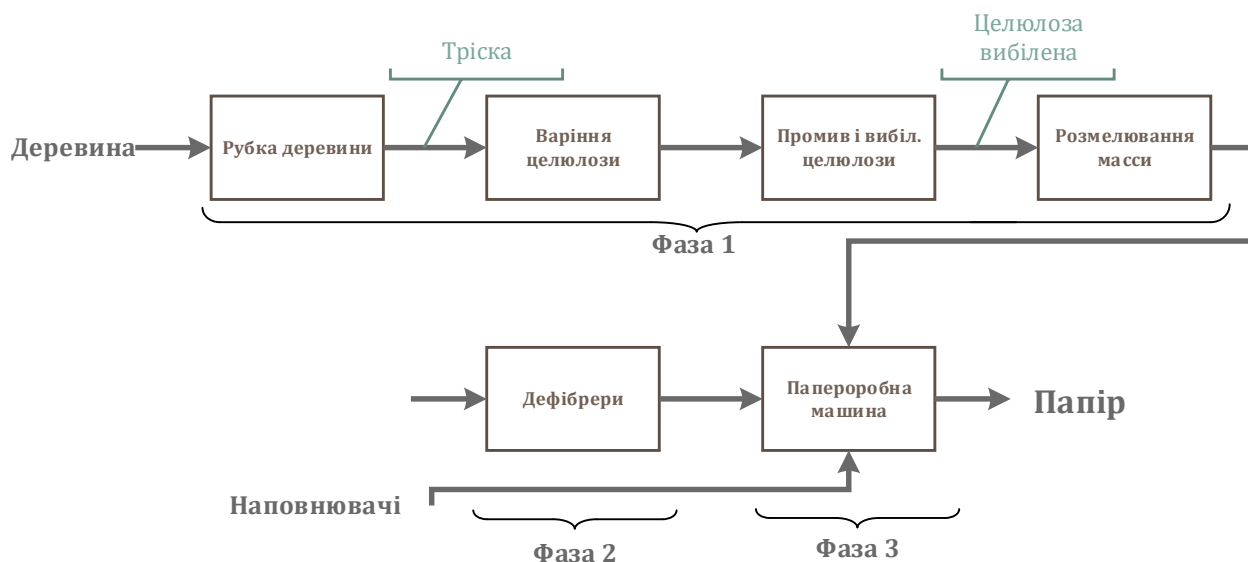


Рис. 1.1. Загальна схема виробництва паперу із деревини.

Якщо в минулому папір виготовляли із ганчірок та соломи, то в наш час сировиною для виготовлення цього виду продукції використовують тільки деревину. Переробка цього рослинного полімеру спочатку в целюлозу, а потім в папір є дуже складним технологічним процесом [9,22,23].

Деревина із біржі деревини подається на рубальні машини різноманітної конструкції які рубають деревинні бруси на тріски, придатні для варіння целюлози чи переробки на деревну масу за допомогою дефібрерів. Одержано на них тріска подається транспортерами у варильний цех, у якому в котлах періодичної дії із неї в присутності хімічних реагентів здійснюється теплохімічна обробка тріски при підвищеній температурі та тиску з метою вилучення лігніну, геміцелюлози екстрактивних речовин. Після варіння целюлозу промивають з метою відділення від целюлозного волокна чорної луговини, а після цього вибілюють. Вибілювання целюлози – це один із основних технологічних процесів у виробництві целюлози для паперу, а також для хімічної переробки. Він надає целюлозі білого кольору та звільняє від

небажаних домішок і надає їй нових фізико-хімічних властивостей. Розмелювання маси здійснюється на конічних чи дискових млинах, якими керують автоматично.

З метою здешевлення сировини частина деревини подається у деревномасний завод, де на дефібрерах різноманітних конструкцій виробляють деревну масу. Дефібрер – це машина для приготування деревинної маси з баканової деревини. Складається із станини обертового циліндричного дефібрерного каменя, металічного кожуха, пристрою для притискання балансів до циліндричної поверхні каменя, спорсків, ванни для збирання деревинної маси і апарата для насічки каменя. Ця маса разом з вибіленою масою і наповнювачами (глинозем, крейда) подаються власне на папероробну машину.

1.2 Особливості роботи універсальної тихохідної папероробної машини

Технологічну схему універсальної тихохідної папероробної машини показано на рис. 1.2.

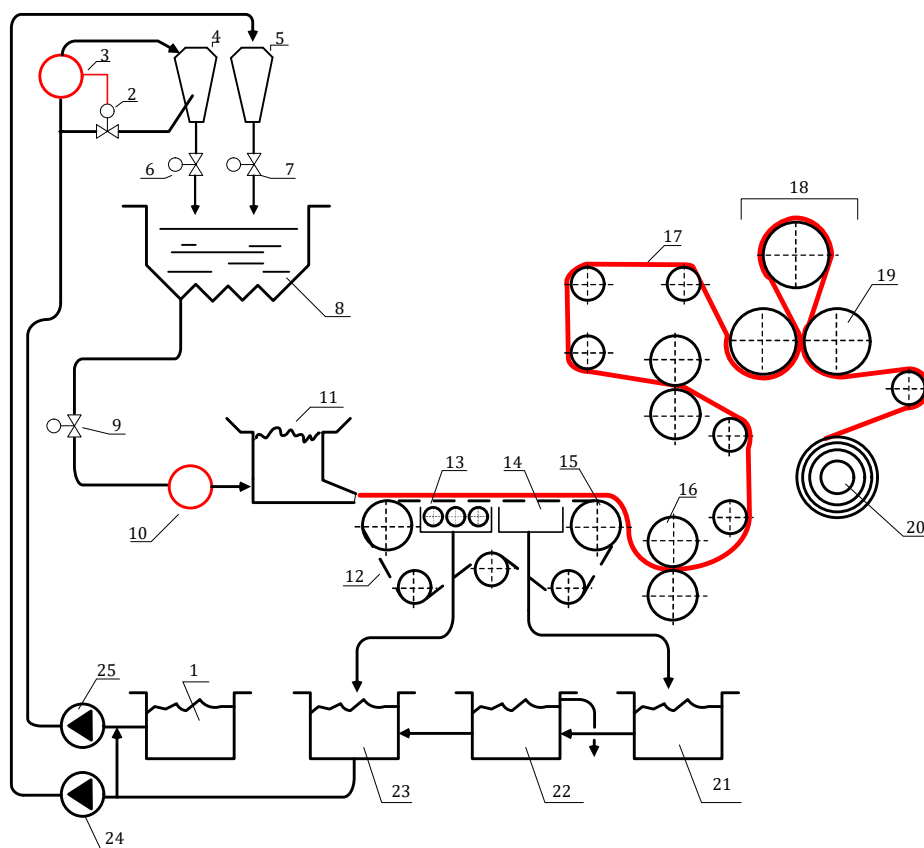


Рис. 1.2 Технологічна схема типової універсальної тихохідної папероробної машини :
1 – машинний басейн; 2 – регулювальний орган подачі вторинних відходів; 3 – датчик

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ

Арк.

13

концентрації маси високої концентрації; 4 – очищувачі маси високої концентрації; 5 – очищувачі обігової води; 6 – регулювальний орган витрати маси високої концентрації; 7 – регулювальний орган витрати обігової води; 8 – змішувач маси високої концентрації з обіговою водою; 9 – регулювальний орган витрати розбавленої маси; 10 – датчик концентрації розбавленої маси; 11 – напірний ящик відкритого типу; 12 – сітка; 13 – реєстрові валики; 14 – відсмоктуючі ящики; 15 – гауч-вах; 16 – пресова частина машини; 17 – мокре паперове полотно; 19 – сушильні циліндри; 20 – накат; 21 – резервуар сосунної води; 22 – буферний резервуар; 23 – резервуар реєстрової води; 24 – насос подачі обігової води; 25 – насос подачі маси високої концентрації.

Паперова маса (волокнинна суспензія – далі маса) підвищеної концентрації або так звана маса високої концентрації (МВК) - 30-40 г/л зберігається у машинному басейні 1. З нього ця маса нагнітальним насосом 25 подається на папериробну машину (ПРМ). На своєму шляху вона розбавляється реєстровою водою, що подається насосом подачі обігової води (ОВ) 24, до концентрації 20-30 г/л і крізь очищувачі маси високої концентрації 4 подається у змішувач маси високої концентрації з обіговою водою 7 який у свою чергу подається обігова вода, яка пройшла очищувачі обігової води 5. У змішувачі МВК з ОВ утворюється розбавлена маса з концентрацією 2-3 г/л яка пройшовши регулювальний орган 9 і датчик концентрації розбавленої маси 10 подається до напірного ящика 11.

Напірний ящик – це основний елемент папероробної машини, який дає змогу підняти рівень маси перед його випускальною щілиною на висоту, достатньо для надання масі під час виходу на сітку машини 12 необхідної швидкості без завіхрювань при рівномірному шарі по всій ширині. Швидкість сітки і потоку маси, що витікає із напірного ящика знаходяться у певній залежності. Напірний ящик може бути відкритого чи закритого типів, з вакуумним простором над поверхнею маси. Величина вакууму встановлюється по монограмі, що за звичай прикріплюється до лицьового боку ящика та розрахункам по відомим виробникам формулах.

Після того, як розбавлена маса із напірного ящика потрапляє на сітку машини на ній розпочинається зневоднення цієї маси за допомогою

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

різноманітних пристроїв (регістрових валиків 13, відсмоктуючих ящиків 14 і гауч-вала 15). В обіговій воді знаходиться досить багато волокна і тому задача зневоднення паперового полотна полягає у тому, щоб якомога менше волокна проходило крізь сітку. В дійсності концентрація обігової води змінюється від 0,2 до 2 г/л в залежності від складу паперу, що виробляється на машині. Відібрана обігова вода після регістрових валиків надходить до резервуару регістрової води 23. Обігова вода, яка відбирається відсмоктуючими ящиками подається у резервуар сосунної води 21, що має сталий рівень, потрібний для стабілізації стовпа водовсмоктуючої води. Ця вода самоплином надходить до буферного резервуару 22, який в свою чергу з'єднується з резервуаром регістрової води 23. Саме тому, що воду використовують для розбавлення маси високої концентрації оскільки у ній знаходиться багато волокна.

На кінці сітки машини остаточно формується паперове полотно, яке має сухість 20%. Воно повністю зберігає суху частку аж до накату. Із цього можна зробити висновок, що вся маса абс. сухої речовини по відношенню до маси 1 м² паперового волокна, виміряної на накаті відома, якщо не враховувати на зміну розмірів паперового волокна які можуть виникнути у пресовій чи сушильній частинах машини.

Сукупність сіткової частини і пресової частин папероробної машини, а також допоміжного обладнання (машинного басейну, насосів, регуляторів концентрації і витрати маси й обігової води, змішувача МВК з ОВ, очищувачів і т. ін.) називають мокрою частиною папероробної машини. Після мокрої частини машини паперове волокно за допомогою шерстяних сукон передається у пресову частину машини 16 яка і доводить сухість паперового полотна до 40%.

Щоб видалити воду із паперового полотна від 50 до 90% необхідно його висушити. Сушіння паперового полотна виконується на сушильних циліндрах, у які подається пара, а між ними циркулює тепле повітря, що дозволяє швидко відводити воду, яка випаровується з паперового полотна.

Принципову схему сушильної частини папероробної машини показано на рис. 1.3.

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		15

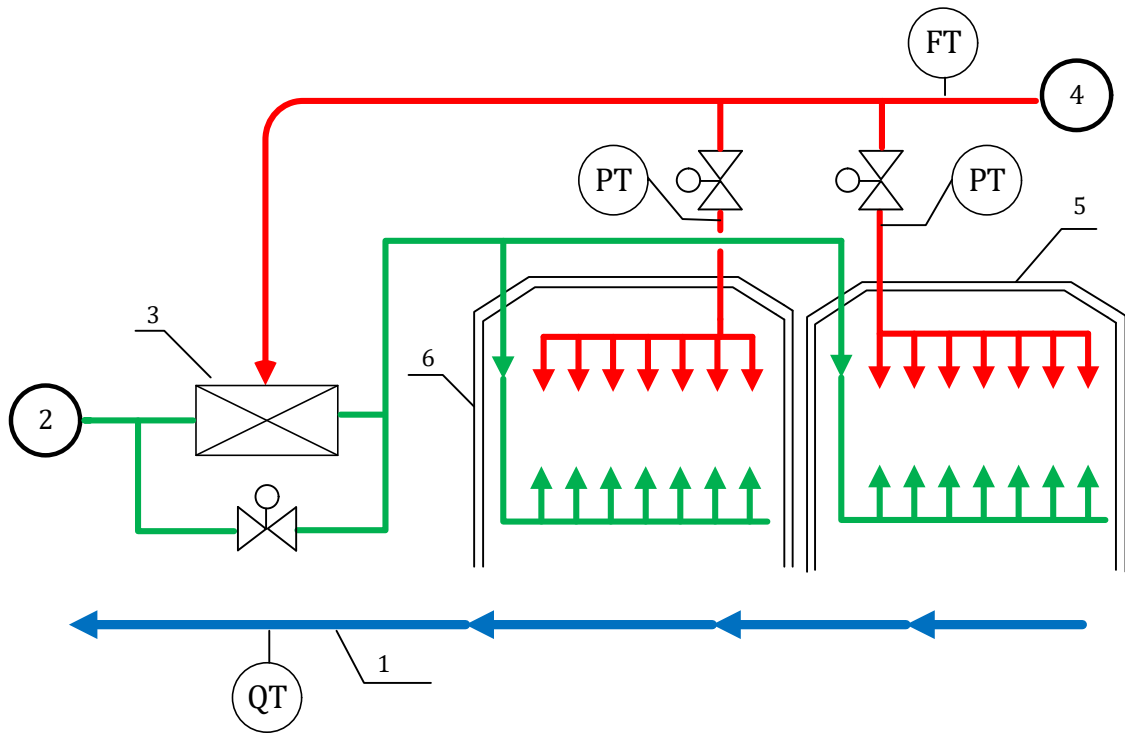


Рис. 1.3. Принципова схема сушильної частини папероробної машини:

1 – паперове полотно; 2 – трубопровід повітря; 3 – теплообмінник (пар/повітря); 4 – трубопровід пари; 5 – перша сушильна група; 6 – друга сушильна група.

Сушильна частина складається із двох сушильних груп. Подача пару які виконуються незалежно одна від одної, тобто паралельні. Витрата теплого повітря регулюється вентилятором, а його температура – за допомогою пари.

Папероробна машина приводиться в рух за допомогою головного валу який з'єднаний з електричним двигуном. Окремі секції папероробної машини регулюються автоматичними регуляторами швидкості. Це дозволяє стабілізувати співвідношення швидкостей, що встановлюються між ними згідно з технологічним регламентом. Вказане керування дуже важливе, оскільки з одного боку паперове полотно витягується в повздовжньому напрямку машини, а з другого боку полотно дещо скорочується в поперечному напрямку машини, викликаному його сушінням.

Рівнодіюча цих двох сил і дає загальне видовження полотна від 5 до 10% в машинному напрямку.

1.3 Автоматизація універсальних тихохідних папероробних машин

1.3.1 Вимірювальні засоби автоматизації

1.3.1.1 Вимірювання витрат технологічних параметрів

Вимірювання витрати технологічних параметрів виконується за допомогою електромагнітних витратомірів. Особливу увагу звертають на вимірювання витрат маси високої концентрації (МВК) та обігової води (ОВ), що подається до змішувача МВК з ОВ.

Вихідний сигнал електромагнітного витратоміра знаходиться в межах від 4 до 20 мА і є лінійним. Обробка такого сигналу здійснюється в мікропроцесорній системі (МПС) шляхом його усереднення та відповідного масштабування.

1.3.1.2 Вимірювання концентрації розбавленої маси

Концентрація розбавленої маси яка витікає із змішувача МВК з ОВ і подається до напырного ящика. Вимірюється за допомогою датчика маси низької концентрації, що працює на принципі відбивання поляризованого світла целюлозними волокнами.

Детектирувальним органом слугує фотоелектрична гарунка (комірка). Одержаний після підсилення датчиком сигналу знаходиться у межах від 0 до 50 мВ. Характеристика цього датчика не надійна, а тому мікропроцесорна система має виконувати лінеризацію цієї статичної характеристики. Оскільки датчик дуже чутливий до складу і кольору маси, то необхідно мати декілька градуювальних шкал.

1.3.1.3 Вимірювання маси 1м² і вологості паперового полотна

Маса 1м² паперу – це маса одиниці площі паперу, визначена стандартним методом випробувань. Виражається в грамах на 1м². Вологість – це вміст води в матеріалі, виражений у процентах, відносно ваги сухої речовини (абсолютна вологість) або ваги вологої речовини (відносна вологість).

Вимірювання маси 1м² паперового полотна на сучасних папероробних машинах виконується за допомогою комбінованого приладу Мюллер-Барбері.

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Датчик цього приладу виконує вимірювання загальної маси 1 м^2 паперового полотна шляхом вимірювання інтенсивності радіоактивного випромінювання, яке проходить крізь паперове полотно. Вимірювання паперового полотна виконуються шляхом вимірювання діелектричної сталої конденсатора крізь пластини якого проходить паперове полотно. Маючи вимірювання загальної маси 1 м^2 паперового полотна і його вологість мікропроцесорна система визначає абсолютно суху масу 1 м^2 паперового полотна.

1.3.1.4 Вимірювання тиску і рівня маси у напірних ящиках

Якщо на папероробній машині встановлено напірний ящик відкритого типу, то в ньому вимірюється тільки рівень маси у напускній камері. Якщо ж використовується напірний ящик з вакуумним простором над поверхнею маси, то в такому випадку вимірювати рівень маси у напускній камері і вакуум у вакуумному просторі над поверхнею маси. Ці вимірювання здійснюються за допомогою датчиків тиску, які мають вихідний сигнал від 0 до 50 мВ, пропорційний величині вимірюваного тиску.

1.3.1.5 Вимірювання тиску, температури та витрати пари

Вимірювання тиску пари, її температура та витрати, що подається у сушильну частину папероробної машини виконуються за допомогою загальнопромислових стандартних засобів автоматизації.

1.3.1.6 Вимірювання швидкості сітки

Вимірювання швидкості сітки ґрунтується на визначенні кутової швидкості обертання валу, що приводить сітку в рух, з наступним перерахунком через радіус валу кутової швидкості в лінійну. При цьому припускається відсутність просковзування сітки відносно валу.

Ведуться роботи щодо використання цифрових методів і пристроїв для вимірювання швидкості обертання приводних секцій папероробних машин, включаючи і сітковий стіл. Деякі із нестандартних пристроїв подібного роду розглянуто у роботі [48]

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		18

1.3.2 Виконавчі пристрої

1.3.2.1 Пневматичні виконавчі механізми

Головними виконавчими механізмами на тихохідній універсальній папероробній машині, є пневматичні виконавчі механізми, які з'єднані з регулювальними органами за допомогою яких задають витрату маси високої концентрації та обігової води, що поступають до змішувача. Пневмоелектричні перетворювання дозволяють стандартний вихідний сигнал (0,2-1 Бар) перетворити в електричний (4-20 мА)

1.3.2.2 Крокові двигуни

Сучасні засоби автоматизації дозволяють керувати випускальною щілиною напірного ящика за допомогою двох крокових двигунів. Таке керування здійснюється мікропроцесорною системою (МПС) через проміжний пристрій цифрового імпульсного модуля. Число імпульсів дорівнює цифровому значенню числа, а частота повинна узгоджуватися зі смугою пропускання вивідного пристрою. Для цього пристрою використовується частота 200 Гц. А синхронні електричні двигуни приводять в рух насоси, які подають масу високої концентрації і обігову воду до змішувача цих речовин.

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		19

1.4 Традиційні автоматизовані системи керування тихохідною папероробною машиною

1.4.1 АСКТП на базі керувальної обчислювальної машини МАТ 01

1.4.1.1 Керувальна обчислювальна машина

На тихохідних папероробних машинах малої і середньої продуктивності як правило, використовують централізовану автоматизовану систему керування технологічним процесом (АСКТП) така система має одну керувальну обчислювальну машину (КОМ), яка працює в реальному масштабі часу. Робота керувальної машини у реальному масштабі часу змушує вводити в систему керування пріоритетні переривання.

Як приклад наведено характеристики керувальної обчислювальної машини МАТ 01, яка використовується для автоматичного керування папероробними машинами малої і середньої продуктивності Франції [25].

Керувальна обчислювальна машина МАТ 01 має 8192 слова і магнітну пам'ять. Довжина слова складає 21 біт (це для запису значення його величини, 1 для запису знака, 1 для запису пріоритету і 1 для запису контролю). Основний цикл роботи машини 6,5 мс.

1.4.1.2 Аналогово-цифровий перетворювач

В централізованій АСКП виробництва паперу використовується один комплект підсилювально – перетворюючого пристрою. Він використовується разом з одним багатоканальним комутатором. Усі вимірювання стандартизовані у межах від 0 до 50 мВ (низький сигнал). Підсилювач працює від мережі постійного електричного струму в межах від 0 до 10 В. перетворювач видає двійкове слово, яке має довжину 12 біт і знак числа. Робота перетворювача ґрунтується на принципі вагового вимірювання.

1.4.1.3 Цифро-аналоговий перетворювач

Цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП) складається із крокового двигуна, який з'єднано з комплектом перетворювачів, що працюють на

									Арк.
									20
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ				

принципі рівноваги сил. Цей комплект видає постійний електричний струм в межах від 4 до 20 мА. Елемент, який ще називають пристроєм керування ключами, надсилає потрібні імпульси кроковому двигуну. Цей пристрій виконує головним чином функцію запам'ятовування керувальних дій і називається фіксатором нульового порядку [6].

1.4.2 Дослідний зразок АСКТП на базі мікро – ЕОМ «Електроніка-60»

Розроблена в СРСР на замовлення Рижської фабрики система призначена для контролю і керування за допомогою мікро-ЕОМ «Електроніка-60» технологічним процесом виробництва паперового волокна на вузькоформатних папероробних машинах. Вона виконує збирання і оброблення інформації з аналогових, дискретних, ініціативних та число імпульсних датчиків, видає на екран пульта оператора технолога зображення листів інформації, необхідної для аналізу протікання технологічного процесу, здійснює взаємопов'язане керування витратою розбавленої маси і концентрації у напірному ящику; керування масою 1м² продукції з корегуванням по концентрації маси високої концентрації та вологістю паперового полотна.

Мікропроцесорна АСКТП має декілька особливостей, які відрізняють її від існуючих аналогів. В цьому числі комплекс технічних засобів, що формується на рівні плат; використання мікро- ЕВМ; установка пульта оператора-технолога безпосередньо у цеху, тобто без будівництва окремого приміщення, як результат досягається значна економія коштів це рахунок зменшення необхідної для монтажу АСКТП кількості кабельної продукції; конструктивне виконання пульта оператора-технолога надає можливість відбудову додаткових блоків і плат з метою розширення функцій системи; використання під час розробки програмного забезпечення типових алгоритмів і програмних модулів.

Перелічені принципи організації такої АСКТП дозволяють виконувати розробку програмного і алгоритмічного забезпечення різноманітних конфігурацій системи у стислі терміни.

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

1.5 Принципи побудови сучасних автоматизованих систем керування тиххідною папероробною машиною

1.5.1 Типи АСКТП виробництва паперу

Сучасні автоматизовані системи керування технологічними процесами (АСКТП) виробництва паперу можуть бути централізованими чи децентралізованими [19]. Централізована АСКТП виробництва паперу має одну керувальну обчислювальну машину, з'єднану з мокрою і сушильною частинами папероробної машини (ПРМ). В децентралізованій АСКТП виробництва паперу має бути, як правило детальна мікро ЕОМ, кошика із яких розв'язує частину загальної задачі керування папероробною машиною. У відповідності з багаторівневим принципом побудови сучасних АСКТП виробництва паперу загальна проблема керування папероробною машиною розбивається на ієрархію більш простих проблем, розв'язання яких передбачається на різних рівнях ієрархії. Зазвичай ієрархія багаторівневої АСКТП виробництва паперу складається із 3-х рівнів: стабілізації, координації та оптимізації. Рис. 1.4.

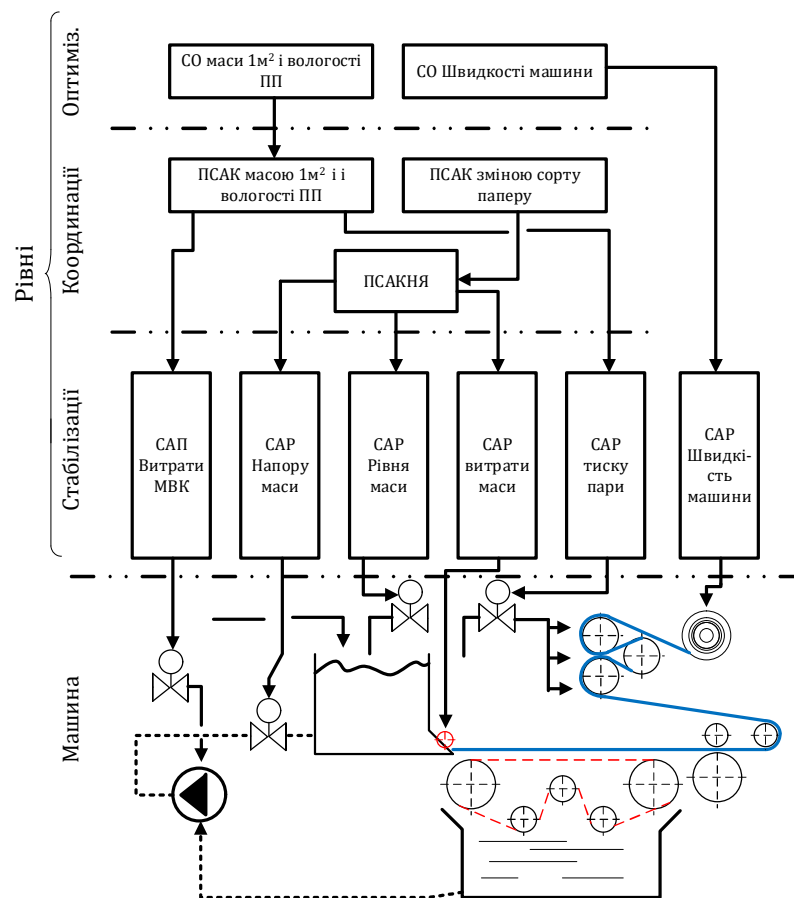


Рис. 1.4 Трирівнева ієрархічна АСКТП виробництва паперу:

1 – змішувальний насос; 2 – напірний ящик; 3 – збирач води; 4 – пресова частина; 5 – сушильна частина; 6 – накат.

На рівні стабілізації виконується стабілізація технологічних параметрів за датою аналогових та дискретних систем автоматичного регулювання (САР). Найважливішими автоматичними системами на цьому рівні є: САР витрати маси високої концентрації (МВК) яка подається до змішувального насоса 1; САР напору маси у випускальній щілині напірного ящика 2; САР рівня маси у напускній камері ящика; САР витрати маси крізь випускальну щілину напірного ящика, САР тиску пари у ведучій сушильній групі системи паропостачання; САР швидкості папероробної машини.

Мета рівня координації полягає в координації автоматичних систем, які знаходяться на рівні стабілізації. При цьому вирішується питання компенсації взаємодії між окремими технологічними параметрами, які негативно впливають на точність та якість стабілізації головних параметрів паперу, що визначають його якість. Крім цього, на цьому рівні ієрархії здійснюється корегування завдань регуляторам, розміщених на рівні стабілізації. Як приклади систем, у яких необхідно мати рівень координації, названо підсистему автоматичного керування (ПСАК) напірним ящиком; ПСАК масою 1м². І вологістю паперового полотна та ПСАК зміною сорту паперу. Перша із вказаних підсистем має здійснювати керування напірним ящиком не тільки під час виробництва заданого виду паперу, але й виконувати координоване керування напірним ящиком під час автоматичного переведення паперової машини з одного режиму роботи на інший. Ця підсистема складається із 3-х САК: САК сумарним напором маси, САК рівня маси у напускній камері напірного ящика і САК витрати маси, яка витікає крізь випускну щілину ящика. Між цими автоматичними системами існує значна взаємодія через внутрішні канали розглядуваного об'єкта керування. Саме тому в АСКТП виробництва паперу на папероробній машині, яка здійснює часто переходи з одного режиму роботи на інший режим, потрібно мати таку ПСАК напірним ящиком, у якій вказана

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		23

взаємодія анулюється за допомогою зовнішніх корегувальних пристроїв, реалізованих програмним шляхом.

ПСАК масою 1м^2 і вологістю паперового полотна складається із двох автоматичних систем: САК масою 1м^2 паперового полотна і САК вологістю паперового полотна. Між цими автоматичними системами існує досить сильна взаємодія, яка проявляється через внутрішні канали сушильної частини папероробної машини. Отже з метою підвищення швидкості і точності стабілізації вказаних основних технологічних показників паперу, які і визначають якість виробленої продукції, в ПСАК масою 1м^2 паперового полотна, необхідно ввести «два» (у випадку керування масою 1м^2 паперового полотна) чи «один» (у випадку керування абсолютно сухою масою 1м^2 і вологістю паперового полотна) зовнішніх корегувальних пристроїв.

ПСАК зміною сорту виробленої продукції призначена для вироблення корегувальних діянь в ПСАК напірним ящиком, ПСАК масою 1м^2 і вологістю паперового полотна та ПСАК швидкістю паперової машини з одного режиму роботи на інший режим роботи.

На рівні оптимізації передбачається визначення оптимальних завдань ПСАК масою 1м^2 і вологістю паперового полотна з метою мінімізації кількості продукції, яка виходить за межі допустимих відходів, визначених відповідною нормативною документацією з цією метою на рівні оптимізації слід мати систему оптимізації (СО), яка активізує розподіл маси 1м^2 і вологості паперового волокна у повздовжньому й поперечному напрямках машини. За наявності такої СО може ставитися мета – мінімізувати виготовлення паперу, за встановленні межі. Ці межі можуть бути вибрано у відповідності з нормами нормативної документації на цей вид продукції, і одночасно з економічної доцільності: паперове полотно має виготовлятися з мінімальним вмістом волокна і максимальною вологістю з урахуванням, певна річ відповідних обмежень, які накладаються на ці параметри паперу технологічним регламентом. На рівні оптимізації розміщується також СО швидкості папероробної машини, яка дозволяє оптимізувати її швидкість у випадку

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		24

досягнення максимальної продукції сушильної системи машини. У цьому випадку регулювальний орган подачі пара у сушильну частину машини повністю відкривається і вологість паперового волокна регулюється шляхом зміни швидкості папероробної машини шляхом впливу на САР швидкості машини.

1.5.2 Причини виникнення відхилень маси 1 м^2 паперового волокна від її заданого значення і методи боротьби з ними

Найважливішою задачею децентралізованої АСКТП виробництва паперу є стабілізація маси 1 м^2 паперового полотна У зв'язку з цим розглянемо основні причини виникнення збирань, які викликають відхилення цього параметра від його заданого значення та методи боротьби з ними.

Відповідно [16], що основними принципами виникнення збирань є зміна турбулентності потоку маси, що подається до напускної камери напірного ящика; зміна гідравлічних та інерційних опорів у мережі повітроводів напірного ящика та зміни композиційного складу маси. Вказані збурення можна класифікувати на три групи збурень у відповідності з їхніми періодами коливань.

До першої групи збурень віднесено збурення, які викликають коливання маси 1 м^2 паперового полотна з періодом коливань від 60 с і більше. Їхня поява обумовлена здебільш з нестабільністю властивостей сировини (целюлози, деревної маси тощо).

До другої групи збурень віднесено збурення, які призводять до коливання маси 1 м^2 паперового полотна з періодом коливань від 1 с до 60 с. Ці збурення пов'язані зі зміною коефіцієнта провалу волокна крізь сітку машини та коливаннями швидкості машини.

До третьої групи збурень віднесено збурення, які викликають коливання маси 1 м^2 паперового полотна з періодом коливань від 0,01с до 1с. Вказані коливання обумовлені зміною гідравлічних опорів у мережі масопроводів мокрої частини папероробної машини.

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		25

Ліквідувати коливання маси 1 м^2 паперового полотна навколо її середнього значення, викликаних дією вказаних збурень, можна або вручну (якщо період коливання більший, ніж 6000), або за допомогою відповідної автоматичної системи.

Ліквідацію або хоча би зменшення коливань маси 1 м^2 паперового полотна з періодом від 60с до 600с має здійснювати ПСАК масою 1 м^2 паперового полотна, оскільки ця підсистема не може погасити коливання маси 1 м^2 паперового полотна період коливання яких менший, ніж 60с, оскільки у каналі керування існує велике транспортне запізнювання, а скануючий датчик маси 1 м^2 паперового полотна здійснює сканування паперового полотна у поперечному напрямку паперової машини з періодом сканування 30-40с [16].

Для компенсації збурень, що викликають коливання маси 1 м^2 паперового полотна мають період коливань від 1с до 60с, потрібно мати ПСАК напірним ящиком. Якщо використовується напірний ящик з повітряною подушкою, то у ньому потрібно стабілізувати рівень маси, що проходить крізь випускальну щілині та концентрацію маси у напірному ящику.

Насамкінець, для ліквідації збурень, які викликають коливання маси 1 м^2 паперового полотна на мікроплощі і мають період коливання від 0.01с до 1с, існує тільки один шлях удосконалення конструкції напірного ящика зі змінним об'єктом повітряної подушки [1, 2, 3, 4].

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		26

2 Математичне моделювання мокрої і сухої частин тихохідної папероробної машини

Під терміном «мокра частина» папероробної машини будемо розуміти частину машини яка складається із змішувача маси високої концентрації з обіговою водою і напірного ящика, а під терміном «суха частина» машини будемо розуміти власне сушильну частину папероробної машини. Мокру частину папероробної машини називають системою подачі машинна сітка машини склад такої системи дуже різноманітними залежить він від того, який вид паперу виробляють на папероробній машині. Як приклад, розглянемо систему подачі маси на сітку тихохідної папероробної машини, призначеної для виробництва паперу, яка має такі середні параметри [25]:

- абсолютно суха маса 1 м кв. паперового полотна від 70 до 78 г/м²;
- вологість паперового полотна від 5 до 6%;
- витрата розбавленої маси – від 4,5 до 6 м³/г;
- витрата обігової води – 27 м³/г;
- тиск пари у 1-й сушильній групі – від 0,4 до 15 Бар;
- швидкість машини – 60 м/хв.

					ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

2.1 Склад системи подачі маси

Принципову схему системи подачі маси на сітку тихохідної папероробної машини показано на рис. 2.1.

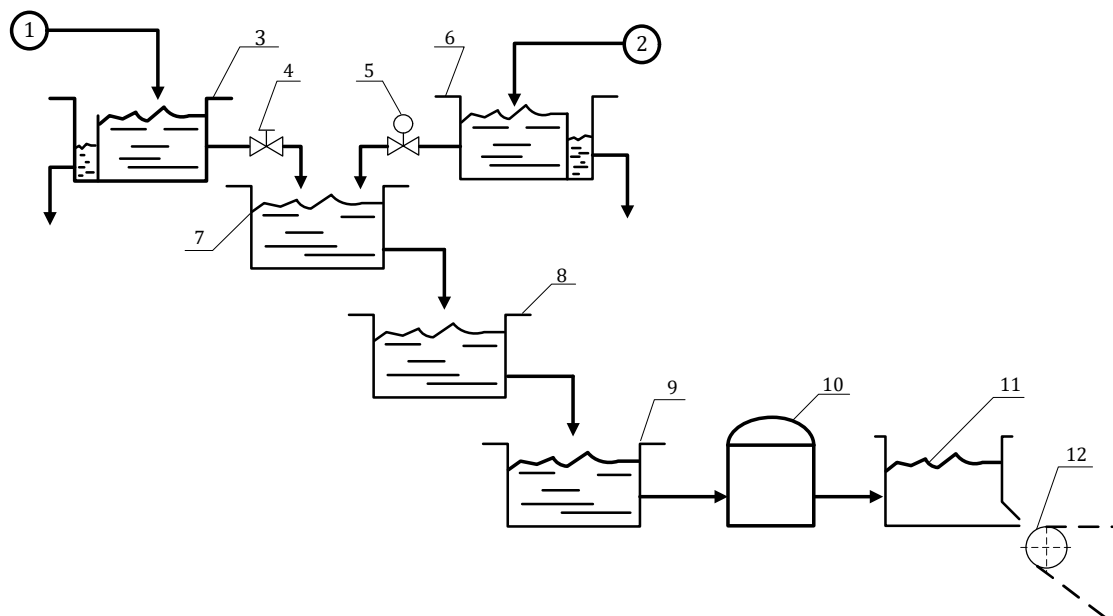


Рис. 2.1. – Принципова схема системи подачі маси на сітку тихохідної папероробної машини:

1 – трубопровід маси високої концентрації; 2 – трубопровід обігової води; 3 - басейн маси високої концентрації; 4 – регулювальний пристрій; 5 – регулювальний орган; 6 – басейн обігової води; 7 – змішувач маси високої концентрації з обіговою водою; 8 – басейн підігрівання маси; 9 – машинний басейн; 10 – очищувач маси; 11 – напірний ящик відкритого типу; 12 – сітка.

Система подачі маси на сітку папероробної машини складається із басейну маси високої концентрації (МВК) 3, басейну обігової води (ОВ) 6, змішувача маси високої концентрації з обіговою водою 7, басейну підігрівання розбавленої маси 8, машинного басейну 9, очищувача маси 10 і напірного ящика відкритого типу 11.

Витрату маси високої концентрації перед тим, як вона надходить до змішувача 7, регулюють за допомогою спеціального регулювального пристрою 4. Така маса розбавляється у змішувачі обіговою водою, витрату якої регулюють за допомогою регулювального органна 5. Розбавлена маса (маса низької концентрації) пройшовши крізь басейн для підігрівання маси 8 подається до машинного басейну 9 у якому відбувається вирівнювання

концентрації маси. Із цього басейну розбавлена маса пройшовши систему очищувачів маси 10 поступає у напірний ящик 11, а вже з нього на систему машини 12.

Кожну із вказаних вище частин системи подачі маси на сітку машини у динамічному відношенні можна представити аперіодичною частиною 1-го порядку. Таким чином розглядувана система подачі маси на сітку машини – це послідовне з'єднання вказаних басейнів очищувача маси та напірного ящика, яка володіє високим транспортним запізнюванням. Проте перед чотирьома аперіодичними ланками 1-го порядку, стала часу напірного ящика має найбільше значення у порівнянні з іншими елементами цієї системи подачі маси на сітку. Саме тому напірний ящик з його мережею масопроводів подачі маси представляється аперіодичною ланкою 1-го порядку зі значним транспортним запізнюванням. Таку модель уже можна використовувати для аналітичного користування відповідних регуляторів.

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		29

2.2 Математичне моделювання змішування маси високої концентрації з обіговою водою як об'єкта керування витратою і концентрацією розбавленої маси

2.2.1 Представлення змішувача системою лінійних диференціальних рівнянь

Диференціальне рівняння, яке описує матеріальний баланс речовин у перехідному режимі цього об'єкта керування, можна подати так - рис. 2.2.

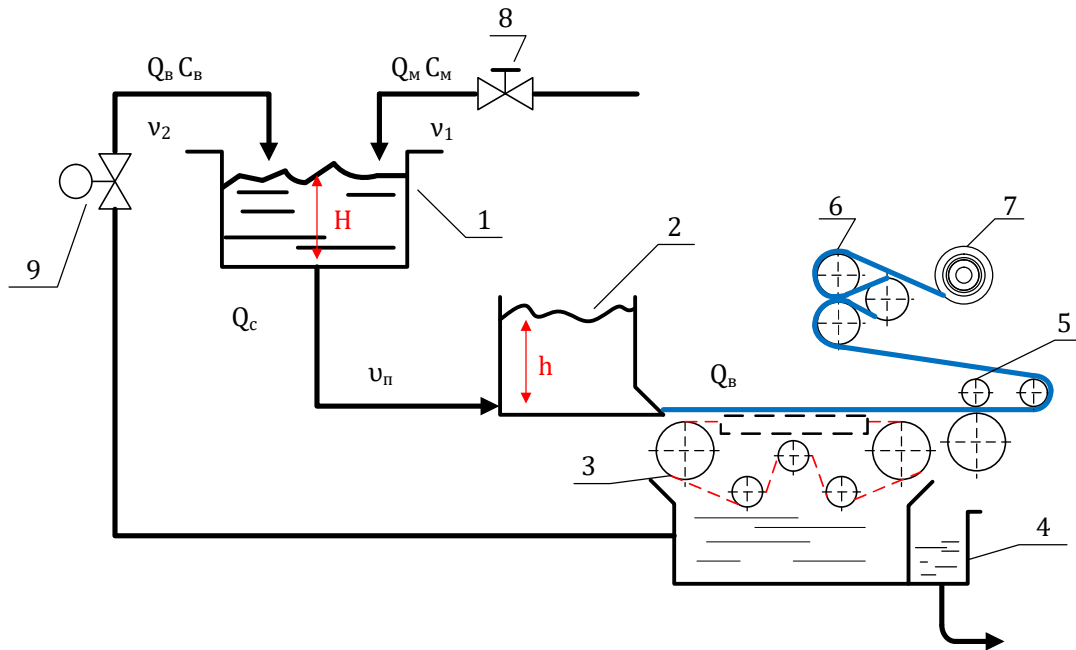


Рис. 2.2. – Технологічна схема тихохідної папероробної машини:

1 – змішувач маси високої концентрації з обіговою водою; 2 – напірний ящик відкритого типу; 3 – сіткова частина; 4 – підсіткова ванна; 5 – пресова частина; 7 – накат; 8 – регулювальний пристрій; 9 – регулювальний орган.

$$\frac{dV_3}{dt} = Q_M(t) + Q_B(t) - Q_C(t), \quad (2.1)$$

де V_3 - об'єм змішувача; $Q_M(t)$, $Q_B(t)$, $Q_C(t)$ - витрата маси високої концентрації обігової води і розбавленої маси (суміші).

Диференціальне рівняння, яке описує матеріальний баланс абсолютно сухої речовини у перехідному режимі цього об'єкта керування також можна подати так

$$\frac{d}{dt} [C_C V_3] = Q_M(t) C_M + Q_B(t) C_B - Q_C(t) C_C, \quad (2.2)$$

де C_C, C_B, C_M - концентрація маси високої концентрації, обігової води і розбавленої маси відповідно.

Миттєву витрату розбавленої маси, яка витікає із змішувача можна визначити так [10]:

$$Q_C(t) = \alpha\sqrt{2gHt} = K\sqrt{H(t)}, \quad (2.3)$$

$K = \alpha\sqrt{2g}$ - коефіцієнт витрати; g - прискорена сила тяжіння; $H(t)$ - рівень маси у змішувачі.

Припустимо, що поверхня маси у змішувачі стала і залежить від висоти H . У такому випадку:

$$V_3(t) = F_1 H(t),$$

де F_1 - площа поверхні маси у змішувачі.

Звідси випливає, що

$$H(t) = \frac{1}{F_1} V_3(t). \quad (2.4)$$

Підставивши вираз (2.3) у вирази (2.1.) і (2.2) одержимо нелінійні диференціальні рівняння, які представляють змішувач і об'єкт керування (систему) витратою і концентрацією розбавленої маси, що подається до напірного ящика:

$$\frac{dV_3}{dt} = Q_M(t) + Q_B(t) - K\sqrt{\frac{1}{F_1}V_3(t)}; \quad (2.5)$$

$$\frac{d}{dt}[C_C(t)V_3(t)] = Q_M(t)C_M^0 + Q_B(t)C_B^0 - C_C^0 K\sqrt{\frac{1}{F_1}V_3(t)} \quad (2.6)$$

Наведені рівняння (2.5) і (2.6) не можна використовувати для розробки системи керування змішувачем позначка вони нескінчені. Саме тому їх слід стабілізувати. Спочатку розглянемо установлений розчин роботи змішувача при якому змінні системи є сталими величинами. Нехай Q_M^0, Q_B^0, Q_C^0 - це установленні значення витрат: маси високої концентрації, обігової води і суміші; C_M^0 - усталене значення концентрації маси, що витікає із змішувача; V_3^0 - усталений об'єм змішувача.

При $t = \infty$ із диференційованих рівнянь (2.1.) і (2.2.) та виразу (2.3.) випливає:

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

$$0 = Q_M^0 + Q_B^0 - Q_C^0; \quad (2.7)$$

$$0 = Q_M^0 C_M^0 + Q_B^0 C_B^0 - Q_C^0 C_C^0; \quad (2.8)$$

$$Q_C^0 = K \sqrt{\frac{1}{F_1} V_3^0(t)}. \quad (2.9)$$

Отже, якщо задано значення витрат Q_M^0 Q_B^0 а також їхні концентрації C_M^0 C_B^0 то із рівнянь (2.7) – (2.9.) можна визначити устачні значення Q_C^0 C_C^0 і V_3^0 :

Справді

$$Q_C^0 = Q_M^0 + Q_B^0;$$

$$C_C^0 = \frac{1}{Q_C^0} (Q_M^0 C_M^0 + Q_B^0 C_B^0);$$

$$V_3^0 = \frac{1}{K^2} (Q_C^0)^2 F.$$

Нехай у перехідному режимі роботи змішувача

$$Q_M(t) = Q_M^0 + \Delta Q_M(t);$$

$$Q_B(t) = Q_B^0 + \Delta Q_B(t);$$

$$C_C(t) = C_C^0 + \Delta C_C(t);$$

$$V_3(t) = V_3^0 + \Delta V_3(t),$$

де $\Delta Q_M(t)$, $\Delta Q_B(t)$, $\Delta C_C(t)$, $\Delta V_3(t)$ – відхилення витрат $\Delta Q_M(t)$ і $\Delta Q_B(t)$, концентрації $\Delta C_C(t)$ і об'єму $\Delta V_3(t)$ від їхніх усталених значень Q_M^0 , Q_B^0 , C_C^0 , V_3^0 .

Припустимо, що відхилення вказаних вище змінних не перевищує 20% від їх усталених значень. У такому випадку лінеаризація нескінченних диференціальних рівнянь (2.5.) і (2.6) дозволяє одержати такі лінійні диференціальні рівняння:

$$\frac{dV_3}{dt} = Q_M(t) + Q_B(t) - \frac{K}{V_3^0} \sqrt{\frac{1}{F_1} V_3} \Delta V_3(t); \quad (2.10)$$

$$V_3 \frac{d\Delta C_C}{dt} + C_C^0 \frac{d\Delta V_3}{dt} = C_M^0 \Delta Q_M(t) + C_B^0 \Delta Q_B(t) - C_C^0 \frac{K}{2V_3^0} \sqrt{\frac{1}{F_1} V_3} \Delta V_3(t) - K \sqrt{\frac{V_3^0}{F_1}} \Delta C_C(t). \quad (2.11)$$

Нехай

$$\Delta Q_M(t) \sim u_1(t);$$

$$\Delta Q_B(t) \sim u_2(t);$$

$$\Delta V_3(t) \sim x_1(t);$$

$$\Delta C_C(t) \sim x_2(t),$$

Де $u_1(t)$ і $u_2(t)$ – керувальні діяння;

$x_1(t)$ $x_2(t)$ – параметри стану системи.

Таким чином з урахуванням уведених позначень маємо наступну систему лінійних диференціальних рівнянь 1-го порядку:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} + \frac{1}{2T_3} x_1(t) = u_1(t) + u_2(t); \\ V_3^0 \frac{dx_2}{dt} + Q_B^0 x_2(t) = C_M^0 u_1(t) + C_B^0 u_2(t) - C_B^0 \frac{dx_1}{dt} + \frac{1}{2T_3} x_1(t). \end{cases} \quad (2.12)$$

де $T_3 = \frac{V_3^0}{Q_C^0}$ - стала часу змішувача маси високої концентрації з обіговою

водою.

2.2.2 Представлення змішувача системою векторно-матричних рівнянь

Якщо із системи лінійних диференціальних рівнянь (2.12) викликати змінну $\dot{x}_1(t)$ то можна звести до наступного векторно-матричного рівняння стану системи

$$\dot{\underline{x}}(t) = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2T_3} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2T_3} \end{bmatrix} \underline{x}(t) + \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ \frac{C_M^0 - C_C^0}{V_3^0} & -\frac{C_B^0 - C_C^0}{V_3^0} \end{bmatrix} \underline{u}(t) \quad (2.13)$$

або у стандартній формі

$$\dot{\underline{x}}(t) = \mathbf{A} \underline{x}(t) + \mathbf{B} \underline{u}(t) \quad (2.14)$$

де $\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2T_3} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{2T_3} \end{bmatrix}$ – матриця стану системи розмірності 2x2;

$B = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ \frac{c_M^0 - c_c^0}{V_3^0} & -\frac{c_B^0 - c_c^0}{V_3^0} \end{bmatrix}$ – матриця керування розмірності 2x2;

$\underline{x}(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} = [x_1(t) \quad x_2(t)]^T$ – вектор параметрів стану системи розмірності 2x1.

$\underline{u}(t) = \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{bmatrix} = [u_1(t) \quad u_2(t)]^T$ – вектор керувальних діянь розмірні 2x1.

Для виведення векторно-матричного рівняння вихідної змінної системи будемо вважати, що

$$y_1(t) \sim \Delta Q_c(t);$$

$$y_2(t) \sim \Delta C_c(t).$$

Тоді приріст витрати розбавленої маси, що витікає із змішувача

$$\Delta Q_c(t) = (Q_M(t) + Q_B(t)) - Q_c^0,$$

а приріст концентрації цієї суміші

$$\Delta C_c(t) = C_c(t) - C_c^0.$$

Оскільки поточна витрата суміші із змішувача

$$Q_c(t) = \alpha \sqrt{2gH} = K \sqrt{\frac{V_3(t)'}{F_1}},$$

то її приріст

$$\Delta Q_c(t) = \frac{1}{2} \frac{Q_c^0}{V_3^0}.$$

Таким чином

$$\begin{cases} y_1(t) = \frac{1}{2T_3} x_1(t); \\ y_2(t) = x_2(t). \end{cases} \quad (2.15)$$

У векторно-матричній формі систему рівнянь (2.15) подамо у загально-прийнятному вигляді так:

$$\underline{y}(t) = C \underline{x}(t), \quad (2.16)$$

де $C = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2T_3} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$ – матриця вимірювання вихідної змінної системи

розмірності 2x2

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$\underline{y}(t) = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \end{bmatrix} = [y_1(t) \quad y_2(t)]^T - \quad (2.17)$$

– вектор вихідної змінної системи розмірності 2x1

Таким чином змішувач маси високої концентрації з обіговою водою як об'єкт керування витратою розбавленості маси і її концентрації представляється системою векторно-матричних рівнянь:

$$\begin{cases} \dot{\underline{x}}(t) = A\underline{x}(t) + B\underline{u}(t); \\ \underline{y}(t) = C\underline{x}(t) + D\underline{u}(t), \end{cases}$$

де $D = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$ – матриця зв'язку виходу зі входом системи.

2.2.3 Визначення витрати маси високої концентрації

На сучасних системах подачі маси на сітку папероробних машин витрату обігової (підсіткової) води регулюються за доточною загально-промислових виконавчих пристроїв, які складаються із регулювального органу, зданого пневматичним виконавчим механізмом.

Витрату маси високої концентрації що подається від басейну маси високої концентрації до змішувача цієї маси з обіговою водою регулюється за допомогою спеціальних регулювальних пристроїв.

Розглянемо деякі з них.

Найпростіший пристрій для регулювання витрати маси високої концентрації наведено на рис. 2.3.

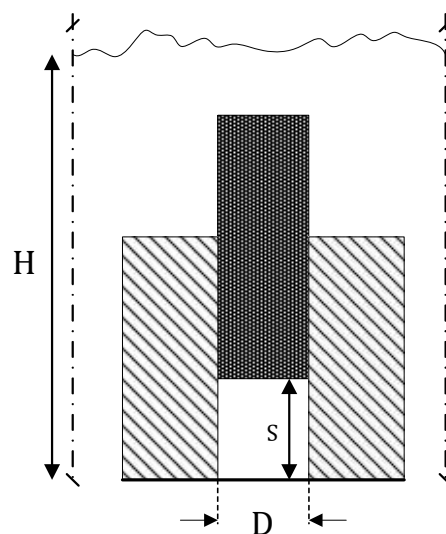


Рис. 2.3. – Пристрій для регулювання витрати маси високої концентрації.

Нехай висота маси у басейні дорівнює H а ширина верхнього отвору пристрою D . Тоді на підставі закону витікання рідини крізь такий отвір можна записати наступну залежність:

$$\alpha Q_M = K_g \sqrt{2g(H - S)} D ds. \quad (2.19)$$

де K_g – коефіцієнт витрати, який характеризує властивості маси, що витікає із басейну; g - прискорення сили тяжіння; S - переміщення заслінки.

Інтегрування виразу (2.19) дає наступний результат

$$Q_M \int_0^S dQ_M = \frac{2}{3} K_g \sqrt{2g(H - S)} D \cdot \frac{H^{3/2} - (H-S)^{3/2}}{\sqrt{H-S}} \quad (2.20)$$

З виразу (2.20) випливає, що

$$K_g 2g(H - S) D = \frac{2}{3} \frac{Q_M \sqrt{H-S}}{H^{3/2} - (H-S)^{3/2}}. \quad (2.21)$$

Оскільки величини Q_M , H , S і D відомі, то можна визначити із виразу (2.19) коефіцієнт витрати K_g .

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		36

2.3 Математичне моделювання напірного ящика відкритого типу, як об'єкту керування рівнем маси

2.3.1 Представлення напірного ящика лінійним диференціальним рівнянням

Принципову схему напірного ящика цього типу наведено на рис. 2.4.

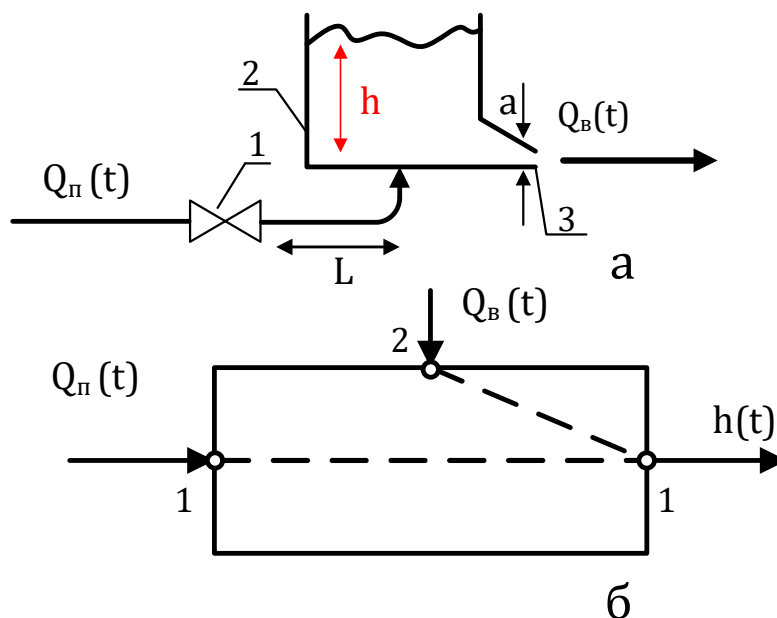


Рис. 2.4 Напірний ящик відкритого типу: а – принципова схема; б загальна структурна схема;

1 – регулювальний орган; 2 – напускна камера; 3 – випускальна щілина.

Диференціальне рівняння, яке представляє цей об'єкт керування має вигляд

$$\frac{dv}{dt} = Q_{\Pi}(t) - Q_{B}(t); \quad (2.23)$$

де $Q_{\Pi}(t)$, $Q_{B}(t)$ – витрата маси що подається в ящик і відводиться із нього.

Об'єм маси у напускній камері

$$V = F_2 h, \quad F_2 \neq f(h), \quad (2.23)$$

де F_2 – площа поверхні маси у напускній камері; h – рівень маси у напірному ящику.

Витрата маси, яка витікає крізь випускальну щілину ящика

$$Q_{B}(t) = f \sqrt{2gh(t)}, \quad (2.24)$$

де f - площа випускальної щілини; g - прискорення сили тяжіння.

Підставивши вирази (2.23) і (2.24) у диференціальне рівняння (2.22) маємо

$$F \frac{dh}{dt}(t) + f\sqrt{2gh(t)} = Q_{\Pi}(t). \quad (2.25)$$

Диференціальне рівняння (2.25) – це нелінійне диференціальне рівняння. Його неможливо використати для розробки системи керування напірним ящиком, а тому лінеризуємо його. У відхиленнях поточних значень $V(t)$, $Q_B(t)$, $Q_{\Pi}(t)$ від їхніх уставних значень Q_B^0 , Q_{Π}^0 , V_0 нелінійне диференційне рівняння (2.22) перетворюється на лінійне диференціальне рівняння 1-го порядку:

$$\frac{d\Delta V}{dt} = \Delta Q_{\Pi}(t) - Q_B(t). \quad (2.26)$$

де $V(t) = F\Delta h(t); \quad (2.27)$

$$\Delta Q_B(t) = \left(\frac{\partial Q_B}{\partial h}\right)^0 \Delta h(t) + \left(\frac{\partial Q_B}{\partial f}\right)^0 \Delta f(t); \quad (2.28)$$

$$\left(\frac{\partial Q_B}{\partial h}\right)^0 = \frac{1}{2} \frac{Q_B^0}{h^0}; \quad (2.29)$$

$$\left(\frac{\partial Q_B}{\partial f}\right)^0 = \frac{Q_B^0}{f^0}. \quad (2.30)$$

Підставимо вирази (2.29) і (2.30) у вираз (2.28). тоді відхилення поточного значення витрати маси $Q_B(t)$ крізь випускальну щілину від його усталеного значення Q_B^0

$$\Delta Q_B(t) = \frac{1}{2} \frac{Q_B^0}{h^0} h(t) + \frac{Q_B^0}{f^0} \Delta f(t), \quad (2.31)$$

де h^0 і f^0 - усталене значення рівня маси і площі випускальної щілини.

Підставимо вираз (2.31) у лінійне диференціальне рівняння (2.26). оскільки $F \neq f(h)$, то

$$F \frac{dh}{dt} + \frac{1}{2} \frac{Q_B^0}{h^0} h(t) = \Delta Q_{\Pi}(t) - \frac{Q_B^0}{f^0} \Delta f(t). \quad (2.32)$$

У канонічній формі лінійне диференційне рівняння має компактний вигляд:

$$T_{11} \frac{dy}{dt} + y(t) = K_{11}v(t) - K_{12}f(t), \quad (2.33)$$

де $y(t) \sim \Delta h(t)$, $u(t) \sim Q_{\Pi}(t)$;

$$T_{11} = 2 \frac{Fh^0}{Q_B^0} - \quad (2.34)$$

- стала часу напірного ящика;

$$K_{11} = 2 \frac{h^0}{Q_B^0} - \quad (2.35)$$

- коефіцієнт підсилення каналу керування 11;

$$K_{12} = 2 \frac{h^0}{f^0} - \quad (2.36)$$

- коефіцієнт підсилення каналу збурення 21.

2.3.2 Представлення напірного ящика двома передавальними функціями

Застосувавши до обох частин диференціального рівняння перетворення Лапласа маємо наступне операційне рівняння

$$(T_{11}\rho - 1) y(\rho) = K_{11}u(\rho) - K_{12} f(\rho), \quad (2.37)$$

де $y(\rho)$, $v(\rho)$ і $f(\rho)$ - зображення за Лапласом: рівня маси; витрати маси, що подається у напірний ящик і площі випускальної щілини; ρ - оператор Лапласа.

Таким чином, передавальна функція напірного ящика по каналу керування 11.

$$g_{11}(\rho) = \frac{y(\rho)}{u(\rho)} = \frac{K_{11}}{1+T_{11}\cdot\rho}. \quad (2.38)$$

Передавальна функція напірного ящика по каналу збурення 21.

$$g_{12}(\rho) = \frac{y(\rho)}{f(\rho)} = -\frac{K_{12}}{1+T_{11}\cdot\rho}. \quad (2.39)$$

Оскільки регулювальний орган 1 (рис.2.4.), призначений для регулювання рівня маси у напірному ящику встановлено на відстані L від ящика, то в каналі керування маємо транспортне запізнювання τ . У такому випадку потрібно до передавальної функції (2.38) послідовно передати передавальну функцію ланки запізнювання. Тоді скоригована передавальна функція каналу 11 матиме вигляд

$$g_{11}(\rho) = K_{11} \frac{\exp(-\rho\tau)}{1+T_{11}\cdot\rho}. \quad (2.40)$$

Слід відміти, що у каналі збурення 21 не існує запізнювання, оскільки зміна площі випускальної щілини миттєво реагує на рівень маси у напускній камері. Таким чином напірний ящик відкритого типу як об'єкт керування рівнем маси можна представити двома передавальними функціями: (2.38) і (2.40).

					ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

2.3.3 Представлення напірного ящика двома дискретними передавальними функціями

Дискретну передавальну функцію функцію напірного ящика по каналу керування 11 визначають по передавальній функції (2.40). Застосувавши до неї z - перетворення маємо таку дискретну передавальну функцію вказаного каналу

$$g_{11}(z) = \frac{y(z)}{u(z)} = K_{11} \frac{1-a_p}{1-a_p \cdot z^{-1}} z^{-(K+1)}. \quad (2.41)$$

де $y(z)$ і $v(z)$ - зображення у z - формі рівняння маси і витрати маси, що подається у напірний ящик;

$$a_p = \exp\left(-\frac{T}{T_{11}}\right);$$

$$K = \frac{\tau}{T},$$

де T -період дискретизації системи.

Дискретну передавальну функцію напірного ящика по каналу збурення 21 визначають із дискретної передавальної функції (2.41). Оскільки у цьому каналі $\tau = 0 (K = 0)$, то дискретна передавальна функція напірного ящика по каналу збурення 21.

$$g_{12}(z) = \frac{y(z)}{u(z)} = -K_{12} \frac{1}{1-a_p \cdot z^{-1}} z^{-1}. \quad (2.42)$$

Таким чином, розглядуваний напірний ящик як об'єкт керування рівнем маси представляється двома дискретними передавальними функціями: (2.41) і (2.42)

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

2.3.4 Визначення витрати маси крізь випускальну щілину папірного ящика відкритого типу

Принципову схему витікання маси крізь випускальну щілину папірного ящика цього типу наведено на рис. 2.5.

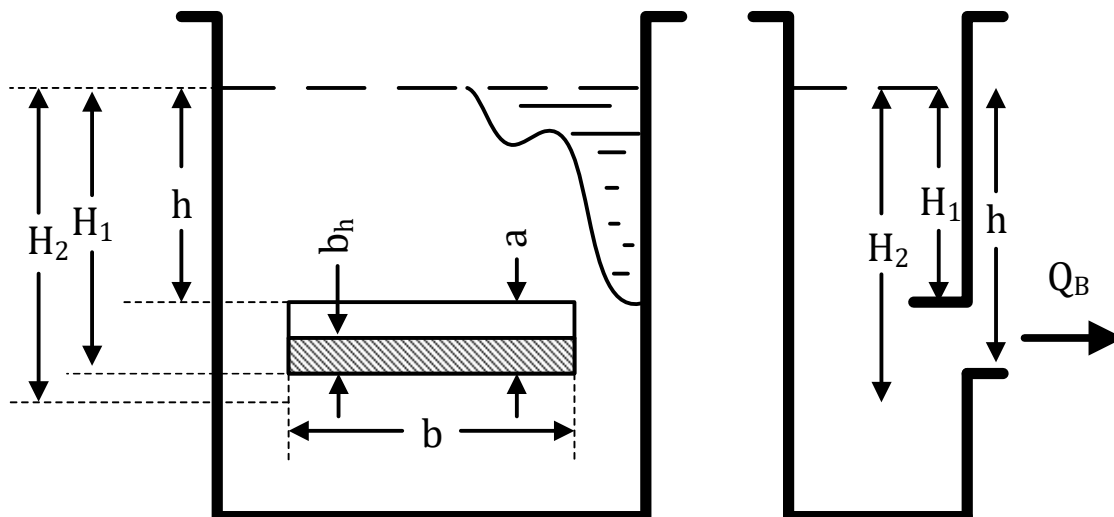


Рис. 2.5. Витікання маси крізь випускальну щілину папірного ящика відкритого типу.

Отвір витікання має щілинну форму великої ширини (відповідно ширини сітки машини). У щілинному отворі у бічній стінці папірного ящика виділено елементарний переріз висотою d_h ; шириною b , що дорівнює ширині щілини.

Елементарна витрата маси крізь цей переріз

$$dQ_B = \dot{\eta} S v = \dot{\eta} b a h \sqrt{2gh} V, \quad (2.43)$$

де $\dot{\eta}$ – коефіцієнт витрати елементарного потоку; h – висота від горизонтальної осі елементарного перерізу до рівня маси, чи напір, під дією якого і виникає витікання маси на сітку машини.

Теоретична швидкість витікання маси крізь випускальну щілину

$$V = \sqrt{2gh}. \quad (2.44)$$

Підставивши вираз (2.44) у вираз (2.43) маємо:

$$Q_B = \int_{H_1}^{H_2} \eta b \sqrt{2gh} a h = \eta b \sqrt{2g} \int_{H_1}^{H_2} h^{\frac{3}{2}} a h. \quad (2.45)$$

Де η – середнє значення коефіцієнта витрати для щілинного отвору.

При інтегруванні виразу (2.45) в межах зміни напору маси від H_1 до H_2 одержимо повну витрату маси крізь випускальну щілину.

Після інтегрування виразу (2.45)

$$Q_B = \frac{2}{3} \eta b \sqrt{2g} (H_2^{1.5} - H_1^{1.5}). \quad (2.46)$$

Оскільки висота випускної щілини $a = H_2 - H_1$ незначна, то вираз (2.46) можна спростити. Справді, $H_1 = H_2 - a$, величина

$$H_1^{1.5} = (H_2 - a)^{1.5}.$$

Розкладемо цей вираз згідно з біномом Ньютона і обмежимося першими чотирма членами розкладання, тоді

$$(H_2 - a)^{1.5} = H_2^{1.5} - 1,5H_2^{0,5}a + \frac{3}{8}H_2^{0,5} \cdot a^2 - \frac{3}{48}H_2^{1,5}a^3. \quad (2.47)$$

Отже,

$$H_2^{1.5} - H_1^{1.5} - (H_2^{1.5} - a) = 1,5H_2^{0,5} \cdot a \left[1 - 0,25 \frac{a}{H_2} + \frac{1}{24} \frac{a^2}{H_2^2} \right],$$

Позаяк

$$0,25 \frac{a}{H_2} - \frac{1}{24} \left(\frac{a}{H_2} \right)^2 \ll 1,$$

то цим доданком можна знехтувати.

$$\text{Тоді } H_2^{1.5} - H_1^{1.5} = 1,5H_2^{0,5} a.$$

Підставивши цей вираз у вираз (2.46) маємо;

$$Q_B = \eta ab \sqrt{2gH_2}. \quad (2.48)$$

Величина коефіцієнта витрати η залежить від форми насадки крізь яку іде витікання маси на сітку машини (див. «Справочник бумажника», т. II. М.; Лесная пром., 1965 г. с. 505).

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

2.4 Матиматичне моделювання системи подачі маси з напірним ящиком з вакуумним простором

2.4.1 Склад системи подачі маси

На тихохідних папероробних машинах для подачі розбавленої маси на сітку машини використовується система подачі маси, яка складається із змішувача маси високої концентрації з обіговою водою і напірного ящика з вакуумним простором. Принципову схему такої системи подачі маси наведено на рис. 2.6.

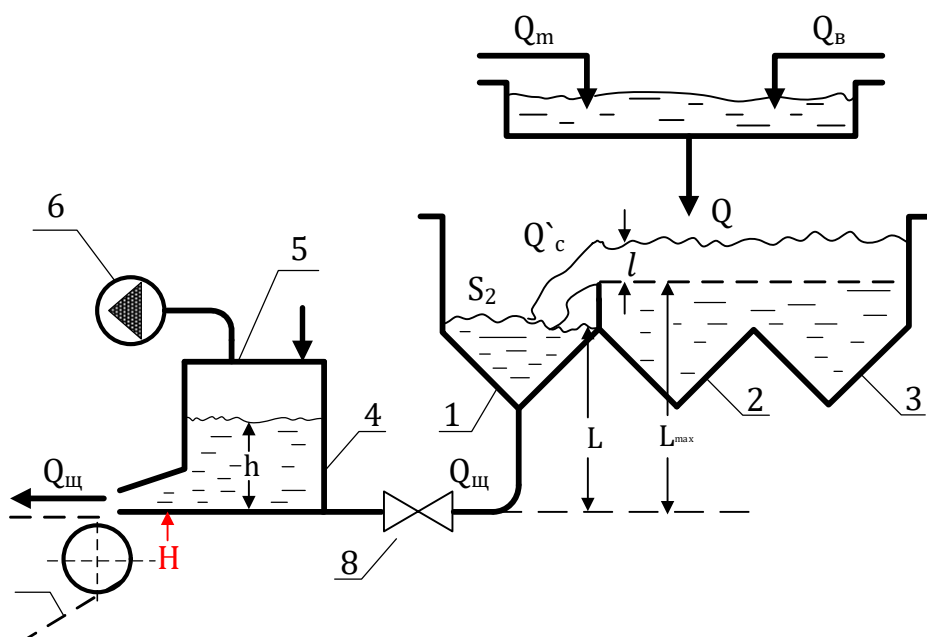


Рис. 2.6 – Принципова схема системи подачі маси на сітку з напірним ящиком з вакуумним простором: 1,2 і 3 – перша, друга і третя секції; 4 – напускна камера; 5 – вакуумний простір; 6 – вакуум-насос; 7 – сітка; 8 – регулювальний орган.

Змішувач маси високої концентрації з обіговою водою складається із трьох секцій – у другу і третю його секції подається відповідна маса високої концентрації Q_M і обігова вода Q_V із першої секції розбавлена маса (суміш) Q_C самопливом надходить до напірного ящика, який складається із напускної камери 4 і вакуумного простору 5 із якого за допомогою вакуум насоса 6 створюється вакуум.

Із напірного ящика розбавлена маса крізь випускальну щілину подається на сітку 7.

Окрім наведених потоків уведено потік маси \dot{Q}_C , який призводить до зміни рівня маси L у першій секції змішувача. Він або іде у злив, або приєднується до основного потоку і тоді $Q_C = \dot{Q}_C$.

Закон який характеризує режим зливання маси можна подати так

$$\dot{Q}_C = Kl^{3/2}, \quad (2.49)$$

де l – висота потоку маси, що переливається.

$$K = f(l).$$

Статичну характеристику першої секції змішувача згідно з виразом (2.49) наведено на рис. 2.7.

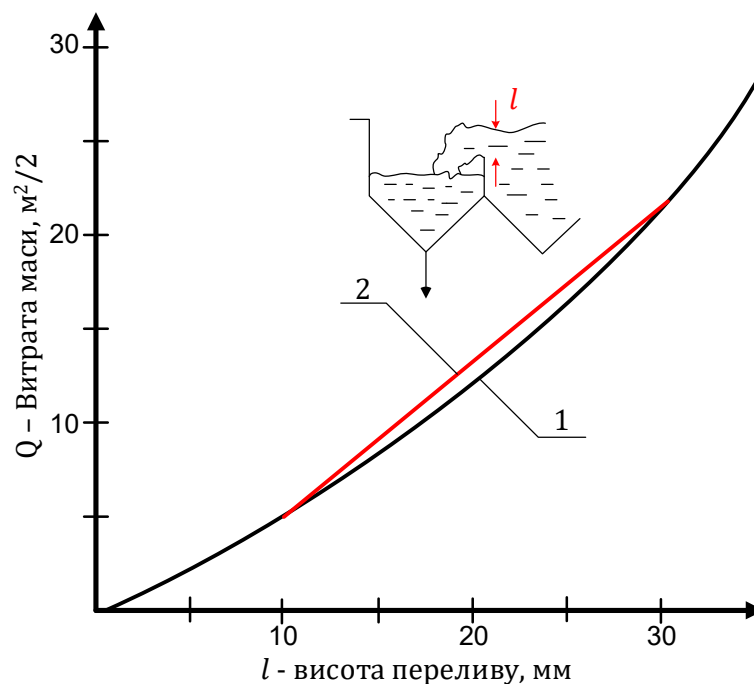


Рис.2.7. Статична характеристика першої секції змішувача: 1 – згідно з виразом(2.44);

2 – апроксимована.

2.4.2 Математична модель змішувача

Систему рівнянь, яка описує зливний режим роботи змішувача можна подати у такому вигляді

$$\begin{cases} \dot{Q}_C = f(l); \\ Q = \dot{Q}_C + S_2 \frac{dl}{dt}. \end{cases} \quad (2.50)$$

Якщо $L \gg L_{\max}$ то $\dot{Q}_C = Q$.

Як видно із рис. 2.6. розміри змішувача не є сталими величинами, а площа поверхні маси у першій секції змішується в залежності від висоти L :

$$\begin{aligned} 0 \leq L \leq 0,0891\text{м}, S_2 &= 0,00285 \text{ м}^2; \\ 0,0891\text{м} \leq L \leq 0,380\text{м}, S_2 &= 1,76(L - 0,0424)^2; \\ 0,380\text{м} \leq L \leq 0,525, S_2 &= 0,2 \text{ м}^2; \\ 0,525\text{м} \leq L \leq 0,69\text{м}, S_2 &= 0,7 \text{ м}^2; \\ L \geq 0,69\text{м}, &\text{переповнення.} \end{aligned}$$

Аналіз системи рівнянь (2.50) свідчить, що математична модель цього змішувача досить складна і до того ж нестійка. Зауважимо, що перелив маси впливає тільки на сталу часу змішувача, якщо прийняти тільки статичну характеристику дійсною в інтервалі зміни від 10 до 30 мм.

2.4.3 Математична модель напірного ящика з вакуумним простором

Математичну модель напірного ящика цього типу можна представити наступною системою рівнянь

$$\begin{cases} H = h + \frac{P}{\rho}; \\ L = H + K_1 Q_c^2; \\ H = \frac{U_m^2}{2g} - K_2 Q_{щ}^2; \\ Q = Q_m + S_1 \frac{dh}{dt}; \\ Q_{щ} = S U_m. \end{cases} \quad (2.51)$$

Де H – сумарний напір маси; h – рівень маси у напускній камері; h – питома вага маси; U_m – швидкість маси крізь випускную щілину; S – площа випускної щілини; K_1 – коефіцієнт втрат на регульовальному органі подачі маси у напірний ящик; K_2 – коефіцієнт втрат у випускальній щілині; S_1 – поверхня маси у напускній камері; S_2 – площа поверхні маси у першій секції змішувача - $S_1 = const$ в інтервалі зміни l від 10 до 30 мм (рис. 2.7); P – вакуум в напірному ящику.

Таким чином, математична модель розглядуваної системи подачі маси на сітку машини, має такий вигляд:

					ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

$$\left\{ \begin{array}{l} H = h + \frac{P}{\rho}; \\ L = H + K_1 Q_c^2; \\ H = \frac{1}{2g} - K_2 Q_{\text{щ}}^2; \\ Q_c = Q_{\text{щ}} + S_1 \frac{dh}{dt}; \\ Q_{\text{щ}} = Q_{\text{щ}} + Q_{\text{в}}; \\ \dot{Q} = Q_c + S_2(t) \frac{dL}{dt}. \end{array} \right. \quad (2.52)$$

2.5 Математичне моделювання сушильної частини машини як об'єкта керування масою 1 м². і вологістю паперового полотна

2.5.1 Опис сушильної частини машини

Як показано у розділі 1 сушильна частина машини розглядуваної папероробної машини складається із двох сушильних груп (рис. 1.3.), з'єднаних паралельно по яких проходить паперове полотно. Перша сушильна група складається із 16 сушильних циліндрів, а друга – має 8 циліндрів. Два регулювальних органи дозволяють керувати тиском пари у цих групах. Для регулювання вологості паперового полотна використовують регулювальний орган, розміщений у другій сушильній групі.

Слід відмітити, що побудувати теоретично математичну модель сушильної частини машини дуже важко. В силу цього було вирішено побудувати глобальну модель цього об'єкта керування загальну схему якого показано на рис. 2.8.

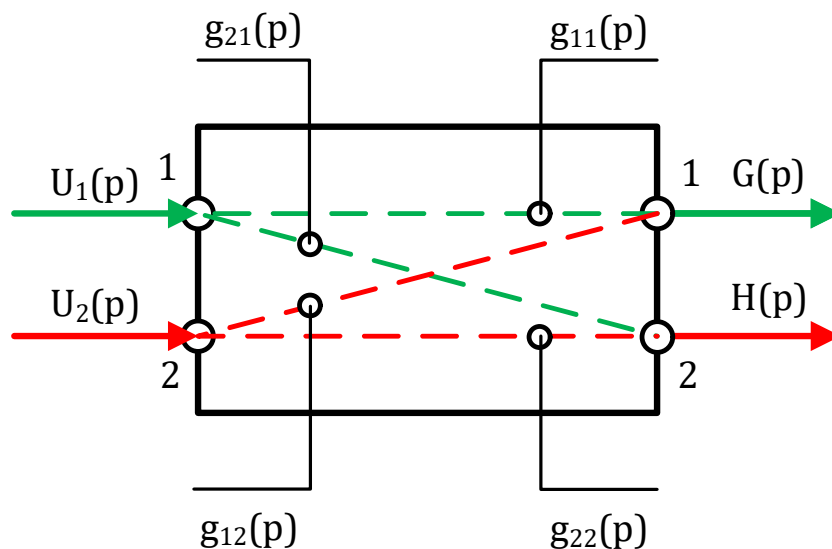


Рис.2.8 Глобальна схема сушильної частини машини (система 2x2)

На цій схемі G - маса 1 м^2 , а H - вологість паперового полотна на накаті машини; U_1 - положення регулювального органу для зміни витрати маси високої концентрації, що подається до змішувача маси високої концентрації з обіговою водою з метою регулювання маси 1 м^2 . паперового полотна на накаті; U_2 положення регулювального органу пари у другій сушильній групі з метою регулювання вологості паперового полотна на накаті.

2.5.2 Структури моделі сушильної частини машини

Аналіз сушильної частини машини як об'єкта керування масою 1 м кв. і вологістю паперового полотна на накаті дозволяє побудувати структурну схему цього об'єкта керування. Рис. 2.9.

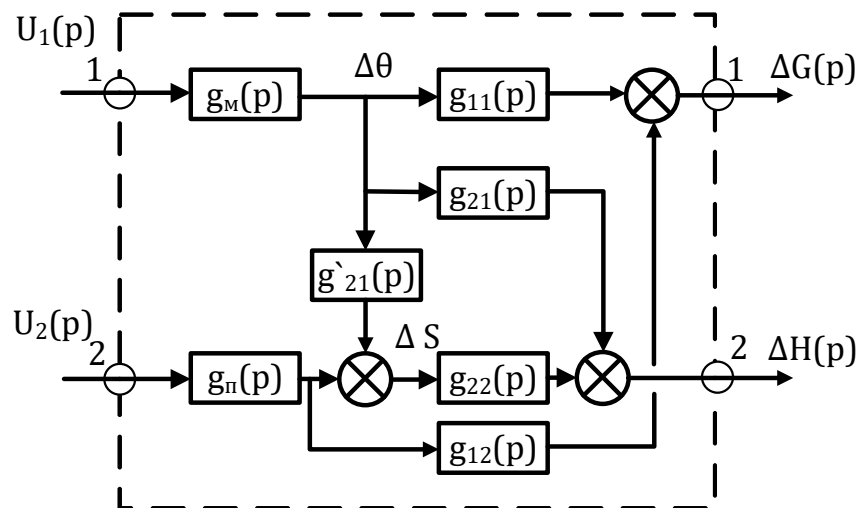


Рис. 2.9 Структурна схема сушильної частини машини як об'єкта керування масою 1 м^2 і вологістю паперового полотна (варіант 1).

Аналіз наведеної структурної схеми свідчить, що зміна витрати маси високої концентрації $\Delta U(t)$ впливає не тільки на зміну маси 1 м^2 . паперового полотна $\Delta G(t)$, але й на зміну як вологості паперового полотна $\Delta H(t)$ та тиску пари $\Delta S(t)$ з урахуванням передавальної функції $g_{21}(p)$.

Якщо розглядати сушильну частину машини як об'єкт керування абсолютно сухою масою 1 м^2 і вологістю паперового полотна, то у такому випадку передавальна функція $g_{12}(p) = 0$ і таким чином із структурної схеми (рис. 2.9) отримуємо структурну схему сушильної частини машини як область керування абсолютно сухою масою 1 м^2 і вологістю паперового полотна, рис. 2.10.

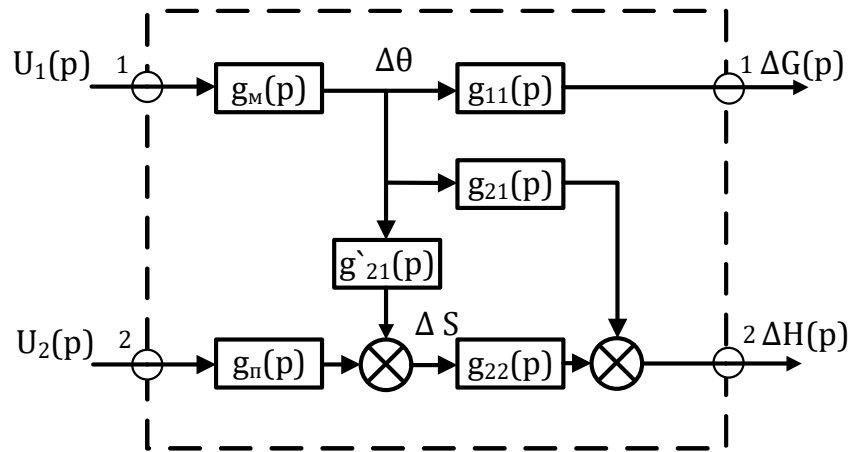


Рис. 2.10 Структурна схема сушильної частини машини як об'єкта керування сухою масою 1 м^2 і вологістю паперового полотна (варіант 2)

Виходячи із рис. 2.10 маємо

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{G}(t) \\ \Delta H(t) \\ \Delta S(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_{12}(p) \\ g_{21}(p) + \dot{g}_{21}(p)g_{22}(p) \\ \dot{g}_{21}(p) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta U_1(p) \\ \Delta U_2(p) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_M(p) & 0 \\ 0 & g_n(p) \end{bmatrix}. \quad (2.53)$$

Математична модель мокрої ястини паперової машини представляється передавальними функціями $g_{12}(p)$, $\dot{g}_{21}(p)$.

Передавальна функція виконавчого пристрою подачі маси високої концентрації

$$g_M(p) = K_p(C_M - C_B), \quad (2.54)$$

де K_p – коефіцієнт підсилення виконавчого пристрою; C_M – концентрація маси високої концентрації; C_B – концентрація обігової води.

Передавальна функція каналу «положення регулювального органа маси високої концентрації $U_1(t)$ – абсолютна маса 1 м кв. паперового полотна $G(t)$ (канал керування 11)

$$g_{11}(p) = \frac{K_{11}e^{\tau p}}{(1+T_3p)(1+T_n p)(1+T_g p)}, \quad (2.55)$$

де

$$K_{11} = \frac{1}{bU_m} \quad (2.56)$$

Коефіцієнт підсилення каналу керування 11; b – необрізна ширина паперового полотна; U_m - швидкість машини; T_3 -стала часу змішувача маси високої концентрації з обіговою водою; T_n - стала часу напірного ящика; T_g –

стала часу датчика маси 1 м^2 паперового полотна; τ – час запізнювання у каналі керування 11.

Таким чином для визначення математичної моделі сушильної частини машини потрібно мати передавальні функції $g_{21}(p)$, $g_{22}(p)$ і $g_{\text{п}}(p)$.

Примітка, якщо взяти до уваги те що довжина паперового полотна значно більша його ширини і вважати що витрата маси високої концентрації безпосередньо діє на тиск пари, а не в регулювальний орган тиску пари, то структурну схему (рис. 2.10) можна спростити і подати її так, як показано на рис. 2.11

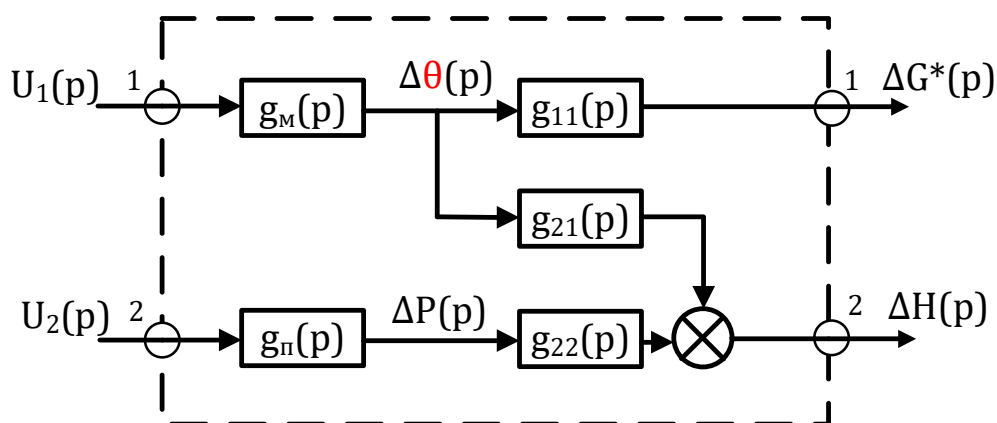


Рис. 2.11 – Структурна схема сушильної частини машини як об'єкта керування абс. сухою масою 1м^2 і вологістю паперового полотна (варіант 3)

2.5.3 Методика визначення передавальних функцій

Методику дослідження фізичних систем за допомогою псевдопасивних двійкових послідовностей представлено в роботі [7]. У цьому розділі наведено тільки результати їхньої роботи. З цією метою розглянемо рис. 2.10

Для визначення передавальної функції $g_{\text{м}}(p)$ змінювалася положення (переміщення) регулювального органна $\Delta U_2(t)$ для подачі пари в 2-у сушильну групу за допомогою псевдовипадкової двійкової послідовності (ПВДП) максимальної довжини. При цьому регулювальний орган для подачі маси високої концентрації не переміщувався. Якщо одночасно з цим зареєструвати тиск пари $\Delta S_2(t)$, то можемо визначити взаємну корекційну функцію (ВКФ) між $\Delta S_2(t)\Delta U_2(t)$, вчитися визначати і імпульсну перехідну функцію $h_0(t)$ а отже, і

передавальну функцію $g_n(p)$. після цього визначається ВКФ між переміщенням регульованого органу для подачі пари $\Delta U_2(t)$ і вологістю паперового полотна $\Delta H_2(t)$ на накаті, на підставі якої визначається імпульсна перехідна функція каналу $h(t)_1$, яка є результатом згортки імпульсних перепадах функцій $h_{12}(t)$ і $h_{22}(t)$. Отже,

$$h(t) = [h_n(t)\psi h_{22}(t)] = \int_0^\infty h_n(u)h_{22}(t-u)du, \quad (2.57)$$

де ψ – результат згортки.

Для одержання імпульсної перехідної функції $h_{22}(t)$ необхідно виконати розгортку, що завжди досить важко зробити. Саме тому приходиться використати методи непідйомного програмування. Тоді передавальна функція клапану керування

$$g(p) = g_n(p)g_{22}(p) \quad (2.58)$$

Таким чином із виразу (2.58) можна визначити і передавальну функцію $g_{22}(p)$.

Аналогічно можна визначити передавальні функції $g_{21}(p)$ $g_{21}(p)$. для цього потрібно подати ПВДП на регульовальний орган подачі маси високої концентрації і одночасно з цим зареєструвати витрату абсолютно сухої маси високої концентрації $\theta(t)$. Визначивши взаємні корекційні функції між $\Delta S(t)$ і $\Delta \theta(t)$ та між $\Delta \theta(t)$ і $\Delta H(t)$ одержимо на іншій підставі відповідні імпульсні переходи і функції (ІПФ), і також передавальні функції $g_{21}(p)$ і $g_{22}(p)$.

2.5.4 Визначення параметрів передавальних функцій методом нескінченного програмування

Ідентифікація фізичної системи на підставі використання псевдовипадкової двійкової послідовності базується на одержанні імпульсної перехідної функції керування. Однак таку ІПФ не використовують в практичних умовах для розробки відповідної системи автоматичного керування. Для цього потрібно мати модель об'єкта керування, представленого або представленою функцією. Для роз'яснення поставленої проблеми можна використати параметричний метод ідентифікації [19].

Структуру методу параметричної ідентифікації показано на рис. 2.12.

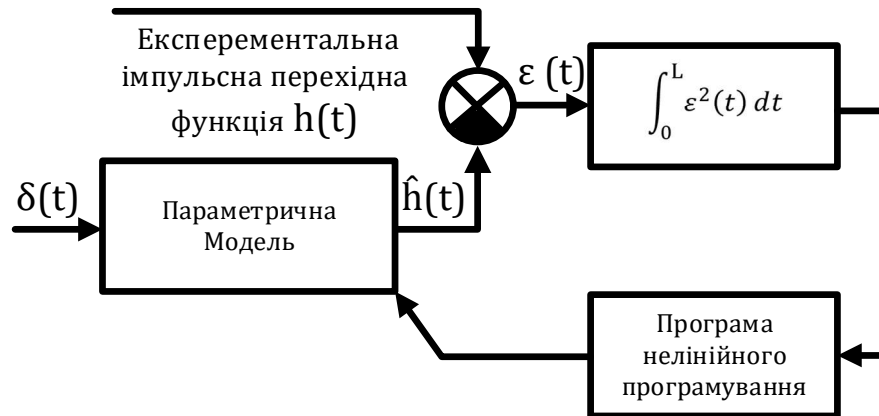


Рис. 2.12 – Структура методу параметричної ідентифікації

Експериментальна імпульсна перехідна функція (ЕІПФ) визначена на підставі взаємної кореляційної функції (ВКФ) досліджуваного каналу керування подається в елемент порівняння у якій також подається теоретична імпульсна перехідна функція моделі об'єкта керування $\hat{h}(t)$. Сигнал розузгоджування $\varepsilon(t)$ подається у блок у якому обчислюється інтегральний квадратичний критерій, вихід з якого подається в програму нелінійного програмування.

Нескінченне програмування складається із двох фаз. Перша фаза – це мінімізація критерію $\int_0^1 \varepsilon dt$ методом градієнта [19]. Підрахунок складових градієнта здійснюється на кожному кроці і тут же визначається напрямок переміщення у гіперпросторі параметрів моделі об'єкта керування. Алгоритм цього переміщення можна подати так:

$$x_{i+1} = x_i - K g_x(x_i), \quad (2.59)$$

де $g_x(x_i)$ – градієнт пристрою у точці x_i .

Коефіцієнт підсилення K являє собою коефіцієнт підсилення контуру нелінійного керування. Він обирається з метою найкращої збіжності параметрів.

Для визначення оптимального наближення використовується 2-а фаза, яка базується на методі Гауса-Ньютона в основі якої лежить алгоритм Ньютона-Рафсона і який застосовується для визначення нуля вектора-градієнта. Цей

метод змушує для кожної операції виконувати підрахунок складових градієнта, а також матриці похідних.

Принцип роботи алгоритма Ньютона-Рафсона у разі використання одномірного простору наведено на рис. 2.13

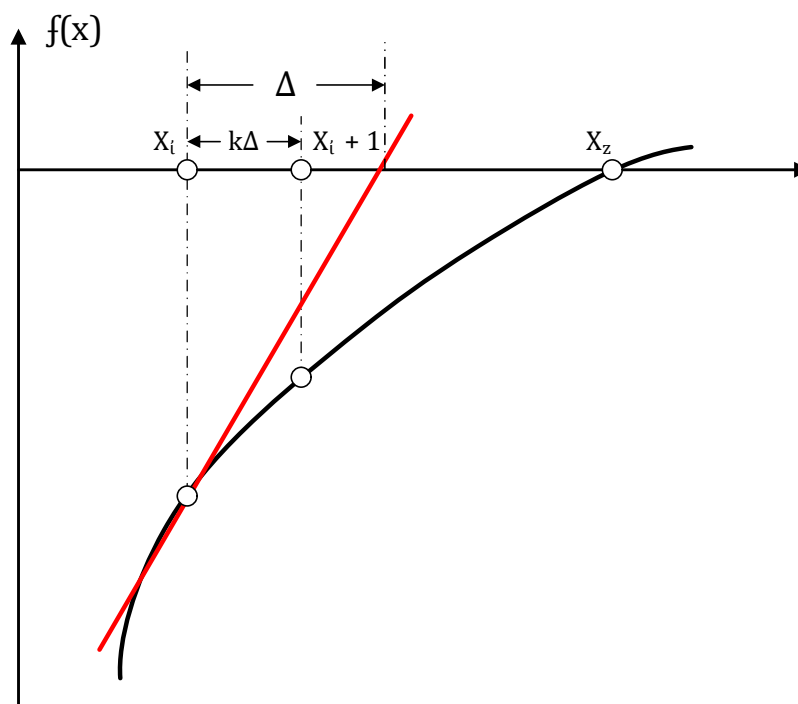


Рис. 2.13 – Принцип роботи алгоритму Ньютона-Рафсона

Знайшовши точку x_z при $f(x_z) = 0$ алгоритм дослідження можна подати так:

$$x_{i+1} = x_i - \frac{K}{f'(x_i)} f(x_i), \quad (2.60)$$

де коефіцієнт K зазвичай обирається рівним одиниці, але він являє собою в дійсності коефіцієнт підсилення контура лінійного програмування. Проблема звітності оцінок параметрів моделі об'єкта керування, пов'язана зі значенням цього коефіцієнта.

2.5.5 Результати визначення передавальної функції виконавчого пристрою для подачі пари у 2-у сушильну групу

Для визначення передавальної функції цього регулювального органу було виконано його переміщення за допомогою реєстра зсуву псевдо випадкової двійкової послідовності, який має $N = 7$ комірок і довжину послідовності

$L = 127$. Період генератора псевдовипадкової двійкової послідовності $\Delta t = 2c$ [25].

Обчислення взаємної корекційної функції $C_{yv}(K)$ між зміною тиску пари у 2-й сушильній групі і зміною положення регулювального органу подачі пари у цю сушильну групу, виконано згідно з алгоритмом визначення числової послідовності, наведеного у роботі [19], а по ній визначено і експериментальну імпульсну перехідну функцію $g_e(t)$, графік якої наведено на рис. 2.14.

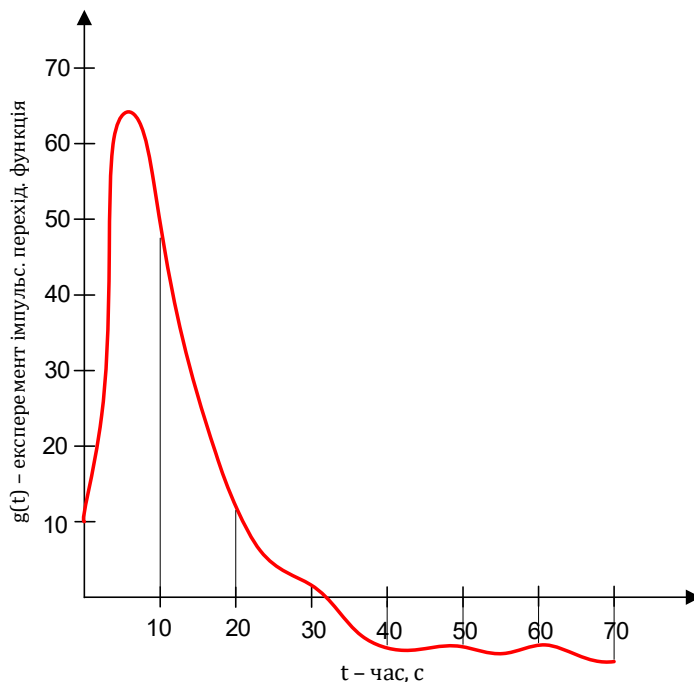


Рис. 2.14 – Експериментальна імпульсна перехідна функція виконавчого пристрою для регулювання подачі пари у другу сушильну групу.

Аналіз графіка цієї імпульсної перехідної функції свідчить, що він подібний до графіка імпульсної перехідної функції а періодичної ланки 2-го порядку, а тому можна запропонувати дві моделі досліджуваного каналу.

Модель 1. Передавальна функція каналу представляється двома аперіодичними каналами 1-го порядку з різними сталими часу, з'єднаними послідовно:

$$g_{п1}(p) = \frac{K}{(1+T_1p)(1+T_2p)}. \quad (2.61)$$

Модель 2. Представлена функція регулювального органу представляється двома аперіодичними ланками 1-го прядку з однаковими сталими часу, з'єднаними послідовно. У такому випадку передавальна функція

$$g_{п2}(p) = \frac{K}{(1+T_1p)^2}. \quad (2.62)$$

Передавальним функціям (2.61) і (2.62) відповідають теоретичні імпульсні перехідні функції

$$g_{п1}(t) = \frac{K}{T_1 - T_2} \left[\exp\left(-\frac{t}{T_1}\right) - \exp\left(-\frac{t}{T_2}\right) \right]. \quad (2.63)$$

$$g_{п2}(t) = \frac{K}{T_1^2} t \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right). \quad (2.64)$$

Для порівняння динамічних характеристик цих каналів спочатку досліджена модель (2.62), а потім модель (2.61)

Результати досліджень наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1. результати досліджень трьох видів передавальної функції каналу «положення регулювального органу подачі пари – тиск пари»

Передавальна функція	$g_{п1}(p) = \frac{K}{(1+T_1p)(1+T_2p)}$	$g_{п2}(p) = \frac{K}{(1+T_1p)^2}$	$g_{п2}(p) = \frac{K}{1+T_1p}$
Коефіцієнт підсилення K	803	834	889
Стала часу T_1 , с	5,49	5,22	18,79
Стала часу T_2 , с	4,42		
Критерій оптимізації	389	344	5300

Як свідчать розрахунки, найкраща оцінка параметрів математичної моделі відповідає моделі 2. Одержана імпульсна перехідна функція каналу має вигляд:

$$g_{п2}(p) = \frac{834}{(1+5,22)^2}. \quad (2.65)$$

3 Властивості системи подачі маси на сітку тихохідної папероробної машини

3.1 Змішувач маси високої концентрації з обіговою водою

3.1.1 Перехідні функції каналів змішувача і їхні графіки

Розв'язок системи векторно-матричних рівнянь (2.13) має вигляд:

$$\underline{y}(t) = \begin{bmatrix} 1 - e^{-\frac{t}{2T_3}} & 1 - e^{-\frac{t}{2T_3}} \\ \frac{c_M^0 - c_C^0}{Q_C^0} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_3}}\right) & \frac{c_M^0 - c_C^0}{Q_C^0} \left(1 - e^{-\frac{t}{T_3}}\right) \end{bmatrix} U(t). \quad (3.1)$$

Звідси перехідна функція змішувача по каналу «приріст витрати маси високої концентрації $U_1(t)$ - приріст витрати суміші $y_1(t)$ » (канал 11)

$$y_1(t) = \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{2T_3}\right)\right] U_1(t). \quad (3.2)$$

Перехідна функція змішувача по каналу «приріст витрати маси високої концентрації $U_1(t)$ – приріст концентрації суміші $y_2(t)$ » (канал 12)

$$y_2(t) = \frac{c_M^0 - c_C^0}{Q_C^0} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{T_3}\right)\right] U_1(t). \quad (3.3)$$

Перехідна функція змішувача по каналу «приріст витрати обігової води $U_2(t)$ – приріст витрати суміші $y_1(t)$ » (канал 21)

$$y_1(t) = \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{2T_3}\right)\right] U_2(t). \quad (3.4)$$

Перехідна функція змішувача по каналу «приріст витрати обігової води - $U_2(t)$ - приріст концентрації суміші $y_1(t)$ » (канал 22)

$$y_2(t) = \frac{c_B^0 - c_C^0}{Q_C^0} \left[1 - \exp\left(-\frac{t}{T_3}\right)\right] U_1(t). \quad (3.5)$$

Розглянемо типовий змішувач маси високої концентрації з обіговою водою, який має такі характеристики:

- витрата маси високої концентрації $Q_M^0 = 1.11 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$;
- концентрація маси високої концентрації $C_M^0 = 20 \text{ г/л}$;
- витрата обігової води $Q_B^0 = 5,27 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$;
- концентрація обігової води $C_B^0 = 2 \text{ г/л}$;
- витрата суміші $Q_C^0 = 6,38 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$;
- концентрація суміші $C_C^0 = 4,6 \text{ г/л}$;

- об'єм змішувача $V_3^0 = 0,166 \text{ м}^3$.

Нехай на вхід каналів 11 і 12 буде подано стрибкоподібний приріст витрати маси високої концентрації $U_1(t) = 0,11 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ тоді перехідна функція (3.2)

$$y_1(t) = 0,11 \cdot 10^{-4} [1 - \exp(-0,019t)]. \quad (3.6)$$

а перехідна функція (3.3)

$$y_2(t) = 0,313 [1 - \exp(-0,038t)]. \quad (3.7)$$

Нехай на вхід каналів 21 і 22 було подано стрибкоподібний пристрій витрати обігової води $U_2(t) = 0,520 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ тоді перехідна функція (3.4)

$$y_1(t) = 0,520 \cdot 10^{-4} [1 - \exp(-0,019t)]. \quad (3.8)$$

а перехідна функція (3.5)

$$y_2(t) = 0,148 [1 - \exp(-0,038t)]. \quad (3.9)$$

згідно з виразами (3.6) – (3.9) побудовано відповідні графіки, рис. 3.1 і 3.2

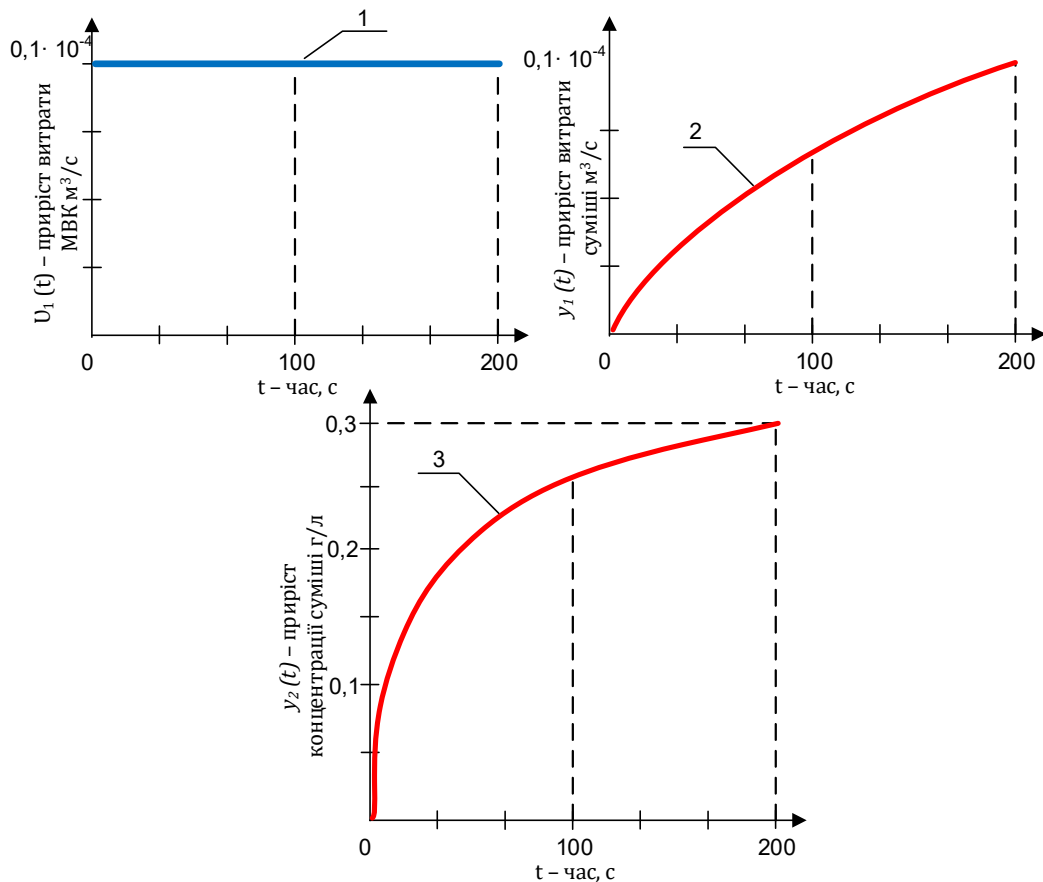


Рис. 3.1- Графіки приросту витрати суміші (графік 2) і концентрації суміші (графік 3) у разі приросту витрати обігової води (графік 1).

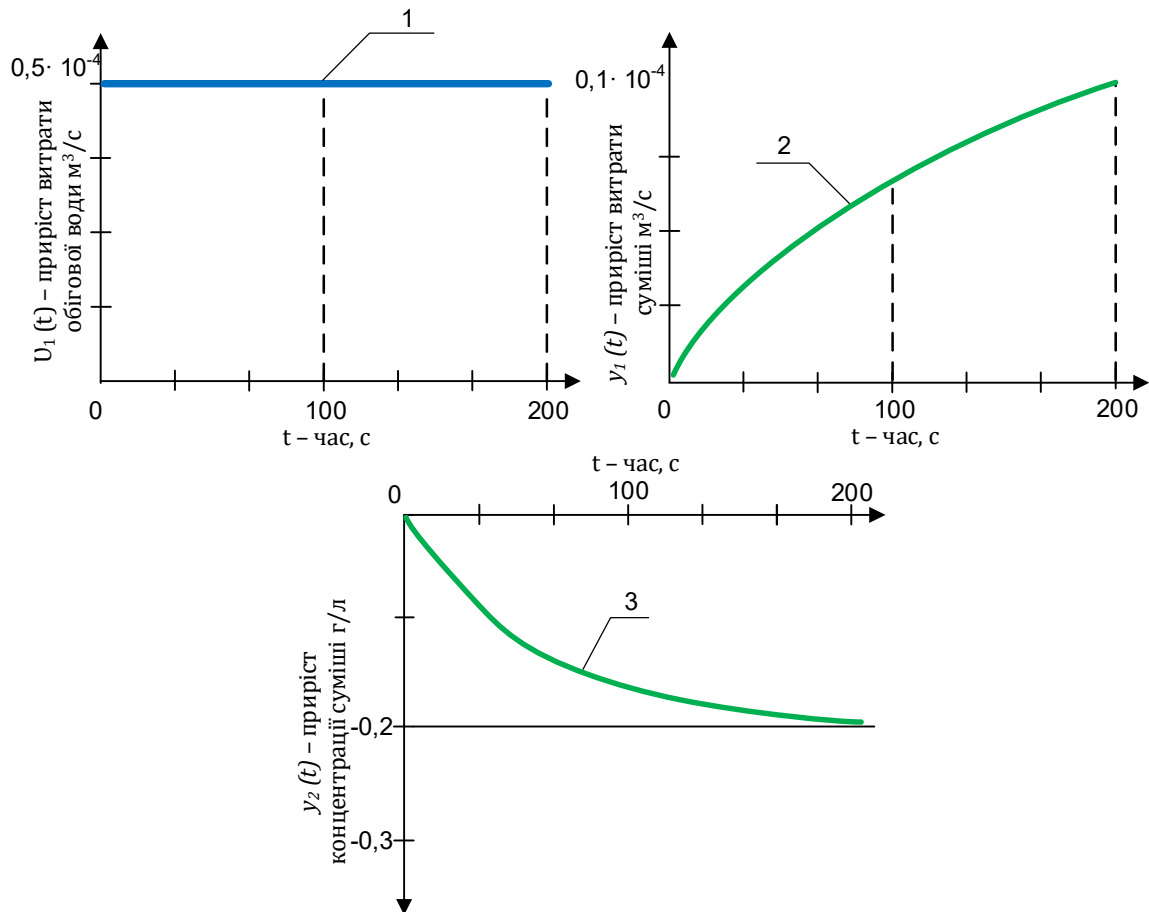


Рис. 3.2 Графіки приросту витрати суміші (графік 2) і концентрації суміші (графік 3) у разі приросту витрати обігової води (графік 1)

3.1.2 Керованість змішувача

Припустимо, що обидва потоки, які подаються до змішувача, мають рівні концентрації: $C_B = C_M = \bar{C}$. Тоді усталена концентрація у змішувачі C_C також рівна \bar{C} , а лінеризовано диференціальне рівняння стані системи матиме вигляд:

$$\dot{\underline{x}}(t) = \begin{bmatrix} -\frac{t}{2T_3} & 0 \\ 0 & -\frac{t}{T_3} \end{bmatrix} \underline{x}(t) + \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \underline{U}(t). \quad (3.10)$$

Із цього рівняння видно, що приріст концентрації суміші, яка є другою компонентою стану системи, не може керуватися безпосередньо вектором вхідної змінної, компонентами якого є прирости потоків, що надходять у

змішувач. Фізично це також ясно, позаяк згідно з припущенням потоки речовин, що надходять у змішувач, носять рівні концентрації.

Саме тому, вочевидь, система не є повністю керованою, якщо $C_B = C_M$. Якщо $C_B \neq C_M$, то система повністю керована.

У розділі 2 було показано, що змішувач представляється диференціальним рівнянням стану (2.13)

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} -\frac{t}{2T_3} & 0 \\ 0 & -\frac{t}{T_3} \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ \frac{C_M^0 - C_C^0}{V_3^0} & \frac{C_B^0 - C_C^0}{V_3^0} \end{bmatrix} U(t). \quad (3.11)$$

а його матриця керованості має вигляд

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 1 & -\frac{t}{2T_3} & -\frac{t}{2T_3} \\ \frac{C_M^0 - C_C^0}{V_3^0} & \frac{C_M^0 - C_C^0}{V_3^0} & -\frac{t}{T_3} \frac{C_M^0 - C_C^0}{V_3^0} & -\frac{t}{T_3} \frac{C_M^0 - C_C^0}{V_3^0} \end{bmatrix}. \quad (3.12)$$

Ранг матриці P дорівнює двом за умови, що $C_B \neq C_M = C_C$. Отже, система є повністю керованою, якщо $C_B \neq C_M$.

Якщо $C_B = C_M = C_C = \bar{C}$, то $C_C = \bar{C}$ і матриця керованості приймає вигляд

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 1 & -\frac{t}{2T_3} & -\frac{t}{2T_3} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (3.13)$$

Отже, підпростір керованих станів породжується вектором $\text{Col}(1,0)$. А це свідчить про те, що можна керувати об'ємом суміші у змішувачі, але не її концентрацією.

Насамкінець, відмітимо, якщо $C_B = C_M = C_C = \bar{C}$, то диференціальне рівняння стану (3.11) приймає вигляд (3.10), що є вже канонічною формою керованості. Значення $-\frac{t}{2T_3}$ – відповідає полюсу керованості, а $-\frac{t}{T_3}$ – полюсу некерованості.

3.1.3 Стабілізованість змішувача

Відомо, що початковий стан системи $x(0)$ можна однозначно представити у вигляді :

$$x(0) = x_s(0) + x_v(0). \quad (3.14)$$

де $x_s(0)$ – належить підпростору стійких станів, а $x_v(0)$ – підпростору не стійких станів. Отже, для правильного керування системою потрібно, щоб нестійка компонента була повністю керованою.

Змішувач за умови $C_B = C_M = C_C = \bar{C}$ описується диференціальним рівнянням стану (3.10). Як було показано вище ця система не є повністю керованою. Дане диференціальне рівняння вже має канонічну форму керованості. Матриця \hat{A}_{22} має характеристичне число $-\frac{t}{T_3}$, звідси випливає, що система є стабілізованою. Це говорить про те, що якщо скажімо, приріст концентрації $x_2(t)$ спочатку має невірне значення, то воно буде у підсумку прямувати до нуля.

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		59

3.2 Напірний ящик відкритого типу

3.2.1 Статичні характеристики напірного ящика

3.2.1.1 Залежність рівня маси у напірному ящику від швидкості сітки

Основною статистичною характеристикою напірного ящика цього типу є залежність рівня маси h від швидкості V_c сітки машини. Вказати залежність має вигляд [24] V_c

$$h = \frac{\varphi}{2g\mu^2} V_c^2, \quad (3.15)$$

де φ – коефіцієнт, який характеризує відставання струменя маси, що проходить крізь випускальну щілині ящика, від руху сітки (0,95); μ – коефіцієнт швидкості маси, що характеризує в'язкість маси (0,97); g – прискорення сили тяжіння;

Залежність (3.15) запишемо так

$$h = K V_c^2 \quad (3.16)$$

$$\text{де } K = \frac{\varphi^2}{2g\mu^2} = \frac{(0,95)^2}{2 \cdot 9,81(0,97)^2} = 4,88 \cdot 10^{-2} \text{ с/м}^2.$$

Таким чином залежність (3.15) набуває вигляду

$$h = 4,88 \cdot 10^{-2} V_c^2. \quad (3.17)$$

Графік залежності (3.17) наведено на рис. 3.3.

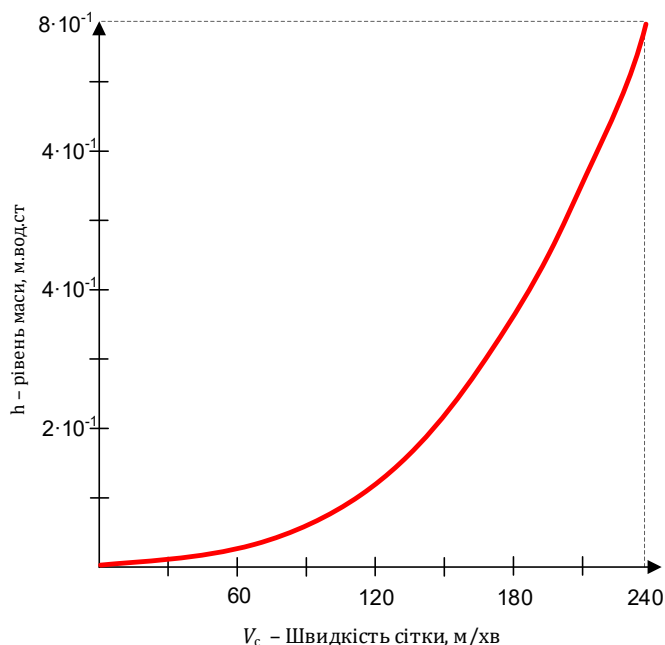


Рис. 3.3 – Залежність рівня маси у напірному ящику відкритого типу від швидкості сітки машини.

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Аналіз наведеної статичної характеристики свідчить про те, що вона суттєво нестійка. Однак за її допомогою можна визначити рівень маси у ящику цього типу від швидкості сітки, враховуючи числові значення коефіцієнтів φ і μ . так, наприклад, якщо задано швидкість сітки $V_c = 120 \text{ м/х}$, то рівень маси у ящику $h = 0,2 \text{ м вод. с. т.}$

3.2.1.2 Залежність висоти випускальної щілини напірного ящика від концентрації маси у ньому і підсіткової води, швидкості сітки та маси 1 м^2 полотна паперу

Висоту випускальної щілини напірного ящика визначають за допомогою номограми, рис. 3.4.

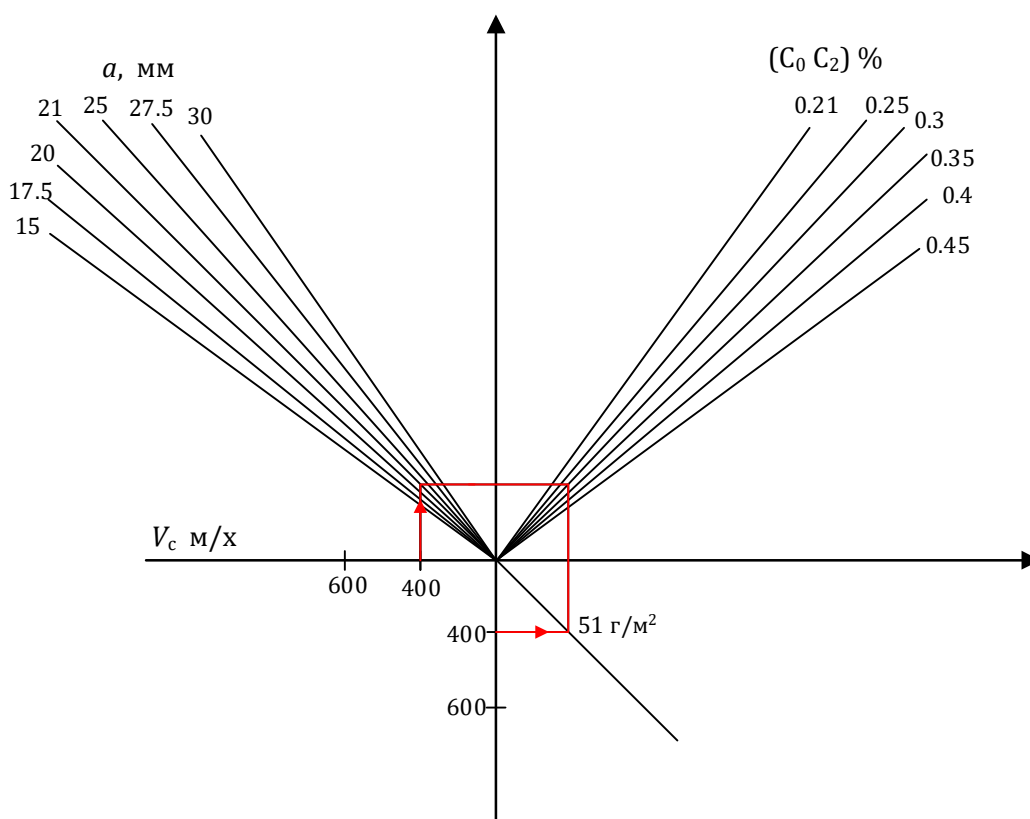


Рис. 3.4 – Залежність висоти впускальної щілини від концентрації маси C_0 у напірному ящику, концентрації підсіткової води C_2 , швидкості сітки машини V_c та маси 2 м^2 полотна паперу (51 г/м^2)

Користуватися наведеною номограмою дуже просто і зручно. Так, скажімо, якщо папероробна машина виробляє газетний папір (маса $1 \text{ м}^2 q - 51 \text{ г/м}^2$ зі швидкістю сітки $V_c = 400 \text{ м/х}$ при цьому концентрація маси у ящику

$C_0=0,5\%$, концентрація підсіткової води $C_2=0,2\%$, то $C_0 - C_2 = 0,5 - 0,2 = 0,3\%$.

Отже, згідно з наведеною номограмою висота випускальної щілини $a = 25$ мм.

3.2.2 Динамічні характеристики напірного ящика відкритого типу

Представлення напірного ящика цього типу двома дискретними передавальними функціями (2.41) і (2.42) дозволяє визначити його перехідні функції по каналу керування 11 і по каналу збурення 21 (рис. 2.4.,б). Розглянемо конкретний напірний ящик відкритого типу ЯНО-180-2950.

3.2.2.1 Технічна характеристика напірного ящика ЯНО-180-2950

- рівень маси у ящику $h = 0,485$ м;
- витрата маси крізь випускальну щілину $Q_B^0 = 0,093$ м³/с;
- площа випускальної щілини $f^0 = 0,042$ м²;
- площа поверхні маси у ящику $F = 3,277$ м²;
- час запізнювання у каналі керування 11 $\tau = 80$ с.

Стала часу напірного ящика згідно з виразом (2.34)

$$T_{11} = 2 \frac{Fh^0}{Q_B^0} = 2 \frac{3,277 \cdot 0,485}{0,093} = 34 \text{ с.}$$

Коефіцієнт підсилення каналу керування 11 згідно з виразом (2.35)

$$K_{11} = 2 \frac{h^0}{Q_B^0} = 2 \cdot \frac{0,485}{0,093} \cong 10 \text{ м/м}^3/\text{с}$$

Коефіцієнт підсилення каналу збурення 21 згідно з виразом (2.36)

$$K_{11} = 2 \frac{h^0}{f^0} = 2 \frac{0,485}{0,042} \cong 23 \text{ м/м}^2$$

Будемо вважати, що період дискретизації $T=20$ с. Тоді:

$$a_p = \exp\left(-\frac{T}{T_{11}}\right) = \exp\left(-\frac{20}{34}\right) = 0,554;$$

$$1 - a_p = 1 - 0,554 = 0,446;$$

$$K_{11}(1 - a_p) = 10 \cdot 0,446 = 4,46 \text{ м/м}^3/\text{с};$$

$$K_{12}(1 - a_p) = 23 \cdot 0,446 = 10,26 \text{ м/м}^2$$

$$K = \frac{\tau}{T} = \frac{80}{20} = 4.$$

					<i>ДП ЛАП81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

3.2.2.2 Динамічні властивості каналу керування 11

Дискретна передавальна функція каналу керування 11 згідно з виразом (2.41) і наведеними вище даними

$$g_{11}(z) = \frac{4,46}{1-0,554z^{-1}}z^{-5} \quad (3.18)$$

Нехай на вихід каналу керування 11 подано одиначне стрибкоподібне керувальне діяння.

$$v(z) = \frac{1}{1-z^{-1}}$$

Тоді зображення у z – формі рівня маси

$$y(z) = \frac{4,46}{1-1,554z^{-1}+0,554z^{-2}}z^{-5}. \quad (3.19)$$

Розглянемо вираз (3.19) у односторонній ряд Лораса. Тоді маємо наступне:

$$y(z) = 4,46z^{-5} + 6,93z^{-6} + 8,29z^{-7} + 9,052z^{-7} + 9,47z^{-9} + \dots \quad (3.20)$$

У відповідності з виразом (3.20) побудовано графік перехідної функції по каналу керування 11, рис. 3.5.

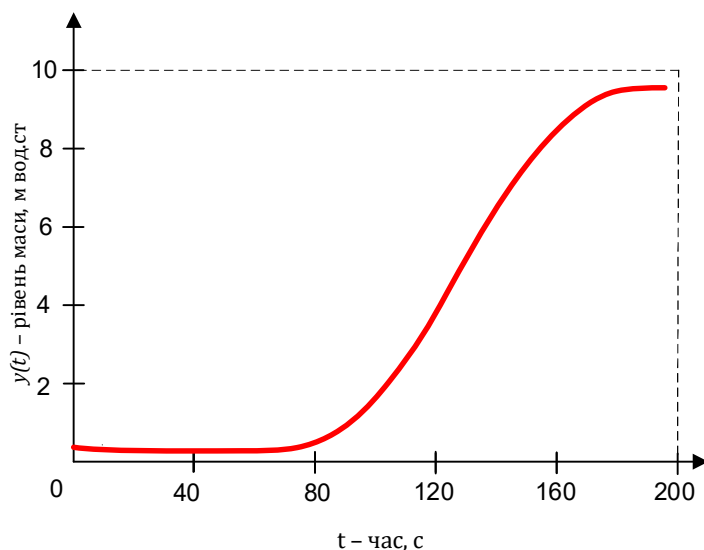


Рис. 3.5 – Графік приросту рівня маси у напірному ящику при стрибкоподібній зміні витрати маси, що подається у напірний ящик

Аналіз графіка перехідної функції каналу керування 11 свідчить, що у разі стрибкоподібної одиничної зміни керувального діяння, рівень маси у ящику починає змінюватися після закінчення часу транспортного запізнювання,

рівного 80 с. така властивість каналу керування рівнем маси у разі використання аналових засобів автоматизації.

3.2.2.3 Динамічні властивості каналу збурення 21

Дискретна передавальна функція каналу збурення 21 згідно з виразом (2.42) і наведеними вище даними

$$g_{п2}(z) = - \frac{10,26}{1-0,554z^{-1}} z^{-1}. \quad (3.21)$$

Нехай на вихід каналу збурення 21 подано одиначне стрибкоподібне збурення

$$f(z) = - \frac{1}{1-z^{-1}}.$$

Тоді зображення у z формі рівня маси

$$y(z) = \frac{10,26}{1-1,554z^{-1}+0,554z^{-2}} z^{-1}. \quad (3.22)$$

Розкладемо вираз (3.22) у односторонній ряд Лорана. Тоді має наступний ряд

$$\begin{aligned} (z) = & 10,26z^{-1} + 15,94z^{-2} + 19,19z^{-3} + 21,56z^{-4} + 22,18z^{-5} + 22,97z^{-6} + \\ & + 23,39z^{-7} + 24,10z^{-8} + 24,5z^{-9} \dots \end{aligned} \quad (3.23)$$

У відповідності з виразом (3.23) побудовано графік перехідної функції каналу збурення 21. Рис. 3.6.

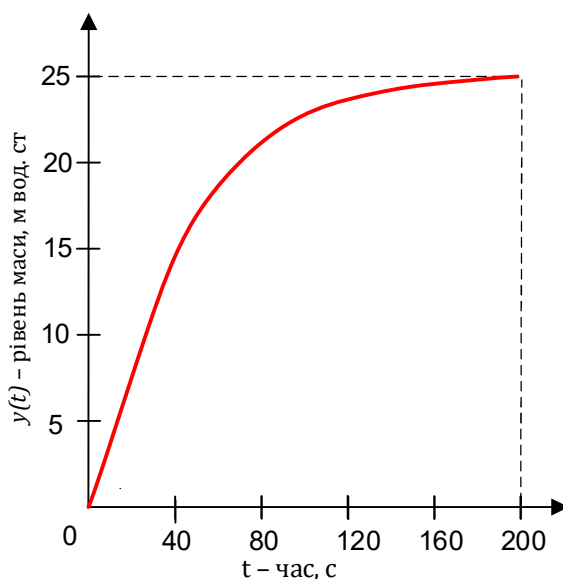


Рис. 3.6 -Графік приросту рівняння маси у напірному ящику при стрибкоподібній зміні площі випускальної щілини напірного ящика.

Аналіз графіка перехідної функції каналу збурення 21 свідчить, що у разі стрибкоподібної одиничної зміни збурювального діяння, рівень маси у ящику починає змінюватися миттєво.

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		65

4 Синтез законів керування системою подачі маси на сітку папероробної машини

4.1 Змішувач маси високої концентрації з обіговою водою

4.1.1 Математична модель змішувача з детермінованим процесом змішування

Математичну модель змішувача цього типу приведено у розділі 2. Для числових значень параметрів цієї моделі динамічний процес змішування буде описуватися наступним інтегрованим диференціальним рівнянням стану

$$\underline{\dot{x}}(t) = \begin{bmatrix} -0,019 & 0 \\ 0 & -0,0379 \end{bmatrix} \underline{x}(t) + \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 9,27 & 1,56 \end{bmatrix} \underline{U}(t), \quad (4.1)$$

і рівняння вимірювання

$$\underline{y}(t) = \begin{bmatrix} 0,019 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \underline{x}(t). \quad (4.2)$$

4.1.2 Постановка задачі

В розслідуваному випадку маємо багатоканальну задачу керування. Змішувач має два потоки речовин, які регулюються електричними та пневматичними виконавчими пристроями. Концентрації обігової води і маси високої концентрації припускається сталими і не можуть змінюватися. Потрібно спроектувати пристрій автоматичного керування, який би регулював за допомогою клапанів витрати вихідних потоків так, щоб витрата і концентрація вихідного потоку суміші були сталими і рівнем їхнім заданим значенням. При цьому на систему діють збурення у вигляді флуктуацій: вхідних концентрацій, вхідних витрат, (викликаних нестабільністю тиску перед клапанами, втратою розбавленої суміші перед витрати: випарювання) і теж.

Спроектований регулятор повинен стабілізувати вихідну витрату $Q_c(t)$ і вихідну концентрацію суміші $C_c(t)$, забезпечивши їхні номінальні (задані) значення Q_c^0 і C_c^0 відповідно, тобто відхилення $e_1 = (t)$ і відхилення $e_2 = (t)$ повинні бути рівні нулю.

4.1.3 Критерій оптимальності

Прийmemo міру похибки системи керування у вигляді [18]

									Арк.
									66
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ				

$$H = \underline{y}^T Q \underline{y} + \underline{v}^T R \underline{v}, \quad (4.3)$$

де \underline{y} – вимірний вихід: $\underline{y} = [y_1(t) \ y_2(t)] = [y_1(t) \ y_2(t)]^T$,

критерій оптимальності у такому випадку

$$I = \int_{t_0}^{t_1} (\underline{y}^T Q \underline{y} + \underline{v}^T R \underline{v}) dt. \quad (4.4)$$

Визначимо елементи вагових матриць критерію якості. Матриця вагових коефіцієнтів вибирається діагональною з елементами q_{11} і q_{22} :

$$Q = \begin{bmatrix} q_{11} & 0 \\ 0 & q_{22} \end{bmatrix}. \quad (4.5)$$

Звідси

$$\underline{y}^T Q \underline{y} = q_{11} y_1^2 + q_{22} y_2^2. \quad (4.6)$$

Для прийнятих значень $Q_c^0 = 6.38 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$, $C_c^0 = 4,6 \text{ г/л}$ (в припущенні однакового виливу) знайдемо значення q_{11} і q_{22} . Припустимо, що зміна витрати суміші, що витікає із змішувача на 10% (2,5 м³/ч) має викликати таку ж зміну критерію оптимальності (4,5), як і 10% зміна її концентрації (приблизно на 0,5 г/л)

Тоді

$$q_{11} (2,5)^2 \approx q_{22} (0,5)^2.$$

Звідси випливає, що

$$\frac{q_{11}}{q_{22}} = \frac{(0,5)^2}{(2,5)^2} = \frac{0,25}{6,25} = \frac{1}{25}.$$

Прийmemo $q_{11} = 0,2$ тоді $q_{22} = 5,0$.

Таким чином діагональна матриця

$$Q = \begin{bmatrix} 0,2 & 0 \\ 0 & 5 \end{bmatrix}. \quad (4.7)$$

Для вибору вагових коефіцієнтів матриці R скористаємося тим же прийомом. Отже, нехай матриця

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & 0 \\ 0 & r_{22} \end{bmatrix}. \quad (4.8)$$

Зміни витрати Q_B на 10% (2,0 м³/г) і витрати Q_M призводять до зміни критерію якості на 10%. Отже маємо рівність

					<i>ДП ЛАП81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

$$r_{11}(2,0)^2 = r_{22}(0,4)^2.$$

Із цього виразу випливає, що обидві складові вносять однакові впливи на критерій якості якщо

$$\frac{r_{11}}{r_{22}} = \frac{(0,4)^2}{(2,0)^2} = \frac{1}{25}.$$

Тому вибираємо матрицю

$$R = \begin{bmatrix} 0,2 & 0 \\ 0 & 5 \end{bmatrix}. \quad (4.9)$$

4.1.4 Аналітичне конструювання багатовимірного оптимального регулятора

Вибір вагових коефіцієнтів міри похибки являє собою важливу задачу, позаяк зв'язок вагових коефіцієнтів і параметрів оптимальної системи у загальному випадку дуже складний. На разі як задача не розв'язана, а тому в інженерній практиці використовуються досить простий і надійний метод, суть якого полягає в наступному.

Щоб показати вплив вагових коефіцієнтів на характеристики замкнутої системи керування розглядуваним змішувачем, виділяємо у мірі похибки (4.3) ваговий коефіцієнт ρ , який будемо змінювати. Тоді міру похибки можна подати так:

$$H = [x_1(t), v_2(t), t] = \underline{x}^T(t)Q(t)\underline{x}(t) + \rho v^T R(t)v(t).$$

Зміну інтегральної квадратичної похибки регулювання в залежності від інтегральної квадратичної величини керувальної дії наведено на рис. (4.1.)

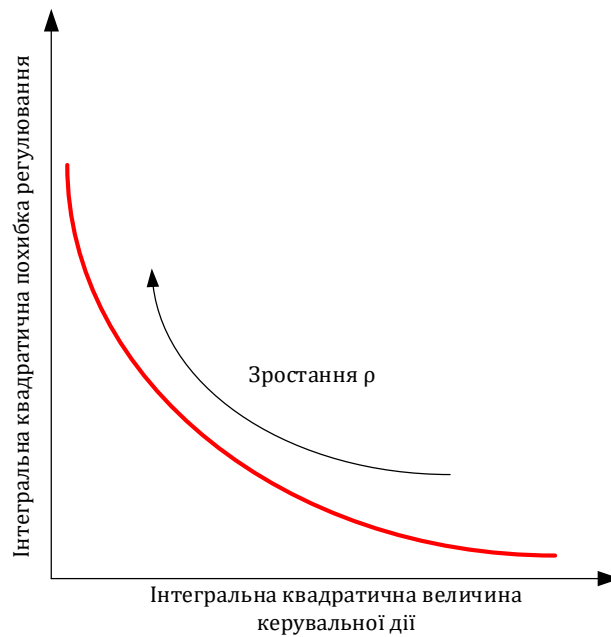


Рис. 4.1 – Залежність інтегральної квадратичної похибки регулювання від інтенсивної квадратичної величини керувальної дії.

У якості параметра використовується ваговий коефіцієнт ρ .

Аналіз наведеної залежності свідчить, що із зростанням ρ зменшується інтегральна квадратична величина керувальної дії $\int v^2(t)$, але при цьому зростає інтегральна квадратична похибка регулювання $\int e^2(t)$ і навпаки, зі зменшенням ρ збільшується інтегральна квадратична величина керувального діяння і зменшується інтегральна квадратична похибка регулювання таким чином матрицю керування (4.9) потрібно скорегувати так

$$R = \rho \begin{bmatrix} 0,2 & 0 \\ 0 & 5 \end{bmatrix}. \quad (4.10)$$

Маючи математичну модель змішувача маси високої концентрації з обіговою водою як об'єкта керування витратою і концентрацією розбавленої маси (суміші), а також критерій оптимальності можна приступити до аналітичного конструювання оптимального багато вимірного регулятора, скориставшись інтегральним рівнянням Ріккаті.

Матричне нелінійне рівняння Ріккаті для розв'язання задачі має вигляд:

$$P = -PA - A^T P - C^T Q C + P B R^{-1} B^T P; \quad (4.11)$$

де

$$A = \begin{bmatrix} -0.0190 & 0 \\ 0 & -0.0379 \end{bmatrix}; \quad (4.12)$$

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 9.27 & -1.56 \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

$$C = \begin{bmatrix} 0.0190 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (4.14)$$

$$Q = \begin{bmatrix} 0.2 & 0 \\ 0 & 5 \end{bmatrix}; \quad (4.15)$$

$$R = \rho \begin{bmatrix} 0.2 & 0 \\ 0 & 5 \end{bmatrix}. \quad (4.16)$$

Матриця P знаходиться у результаті розв'язання нелінійного матричного рівняння Ріккати (5.11).

Оптимальний закон керування подається у такому вигляді:

$$\hat{v}(t) = \begin{bmatrix} v_1(t) \\ v_2(t) \end{bmatrix} = -\rho^{-1} B^T P y(t). \quad (4.17)$$

Підставивши вирази (5.12)... (5.16) у рівняння (5.11) і подавши матрицю P у вигляді

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{bmatrix}. \quad (4.18)$$

Одержимо *оптимальний* закон керування змішувачем:

$$\hat{v}(t) = \begin{bmatrix} v_1(t) \\ v_2(t) \end{bmatrix} = -\frac{1}{\rho} \begin{bmatrix} 0.2 & 0 \\ 0 & 5 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 1 & 9.27 \\ 1 & -1.56 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \end{bmatrix}. \quad (4.19)$$

Вираз (4.19) подамо так:

$$\hat{v}(t) = \begin{bmatrix} G_{11}y_1(t) & G_{12}y_2(t) \\ G_{21}y_1(t) & G_{22}y_2(t) \end{bmatrix}$$

або в скалярній формі

$$\begin{cases} \hat{v}_1(t) = G_{11}y_1(t) + G_{12}y_2(t) \\ \hat{v}_2(t) = G_{21}y_1(t) + G_{22}y_2(t) \end{cases} \quad (4.20)$$

де

$$G_{11} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{1}{r_{11}} (p_{11} - 9.27 \cdot p_{21});$$

$$G_{12} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{1}{r_{11}} (p_{12} - 9.27 \cdot p_{22});$$

$$G_{21} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{1}{r_{22}} (p_{12} + 1.56 \cdot p_{22});$$

$$G_{22} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{1}{r_{22}} (p_{21} + 1.56 \cdot p_{22});$$

У відповідності із законом оптимального керування (4.20) побудовано структурну схему оптимальної системи автоматичного керування і регулювання змішувачем маси високої концентрації з обіговою водою рис. 4.2.

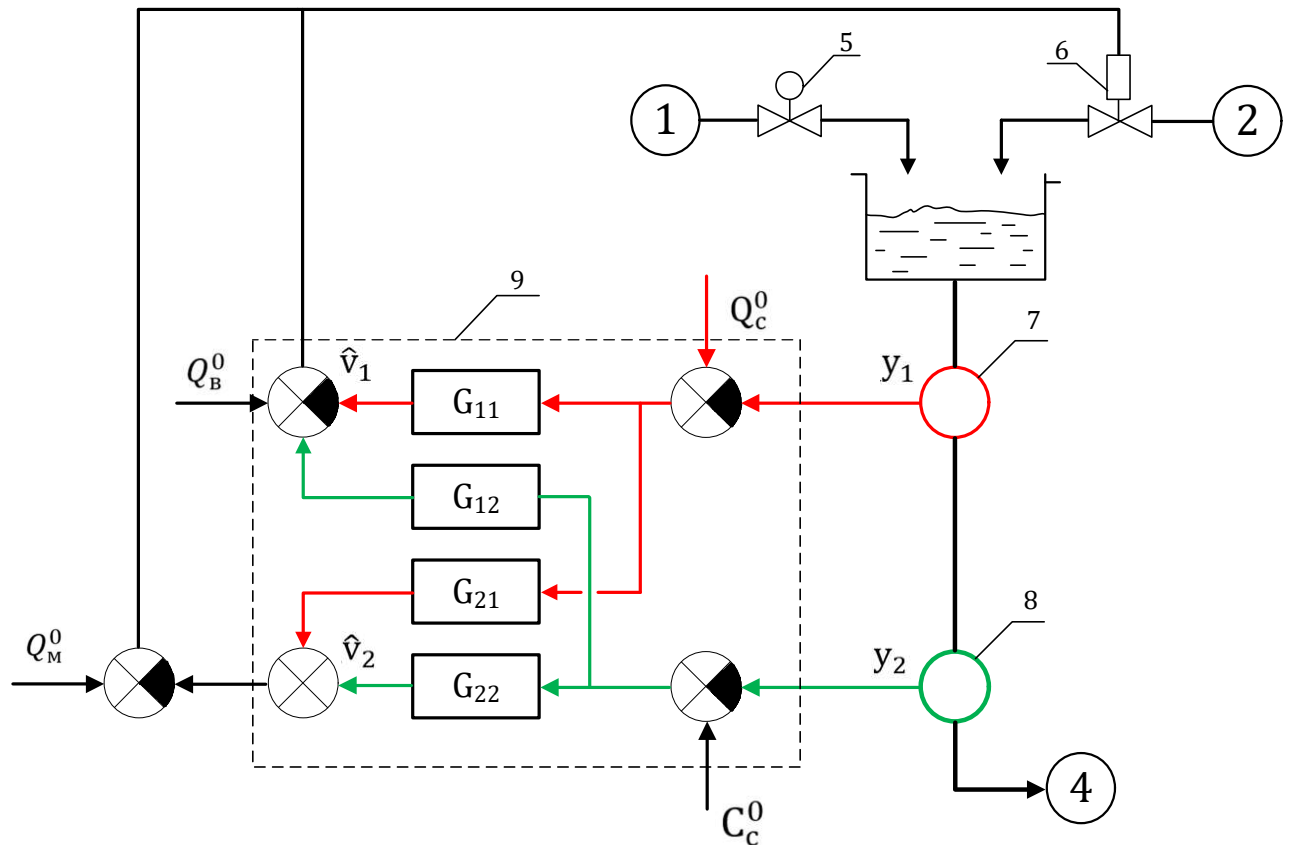


Рис. 4.2 – Структурна схема системи автоматичного керування і регулювання змішувачем маси високої концентрації з обіговою водою: 1-трубопровід обігової води; 2- трубопровід маси високої концентрації; 3- змішувач; 4- трубопровід розбавленої маси; 5- регулювальний орган; 6- пристрій витрати маси; 7- датчик витрати розбавленої маси; 9- оптимальний багатовимірний регулятор.

4.1.5 Моделювання оптимальної системи регулювання змішувача

4.1.5.1 технічна характеристика змішувача типу 2

- усталена витрата обігової води $Q_B^0 = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$;
- усталена витрата маси високої концентрації $Q_M^0 = 0,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$;
- усталена витрата розбавленої маси $Q_C^0 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$;
- усталена концентрація обігової води $C_B^0 = 1 \text{ кмоль}/\text{м}^3$;
- усталена концентрація маси високої концентрації $C_M^0 = 2 \text{ кмоль}/\text{м}^3$;
- усталена концентрація розбавленої маси $C_C^0 = 1,25 \text{ кмоль}/\text{м}^3$;

- об'єм змішувача $V_0 = 1 \text{ м}^3$;
- стала часу змішувача $T_3 = 50 \text{ с}$.

4.1.5.2 Математична модель змішувача як об'єкта керування витратою розбавленою маси і її концентрацією

Змішувач маси високої концентрації з обіговою водою як об'єкт керування витратою розбавленої маси Q_c і концентрацією C_c можна представити системою векторно-метричних рівнянь

$$\begin{cases} \dot{\underline{x}}(t) = \begin{bmatrix} -\frac{t}{2T_3} & 0 \\ 0 & -\frac{t}{T_3} \end{bmatrix} \underline{x}(t) + \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ \frac{c_M^0 - c_C^0}{V_3^0} & \frac{c_B^0 - c_C^0}{V_3^0} \end{bmatrix} \underline{U}(t); \\ \underline{y}(t) = \begin{bmatrix} \frac{t}{2T_3} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \underline{x}(t). \end{cases} \quad (4.21)$$

де $\underline{x}(t) = Col(x_1(t)x_2(t))$ - вектор параметрів стану системи $[x_1(t) - \text{відхилення об'єму змішувача від його заданого значення } V_3^0; x_2(t) - \text{відхилення концентрації розбавленої маси від її заданого значення } C_c^0]$.

$\underline{y}(t) = Col(y_1(t)y_2(t))$ - - вектор вихідної змінної системи $[y_1(t) - \text{відхилення витрати розбавленої маси від її усталеного значення } Q_c^0 - \text{відхилення концентрації розбавленої маси від її усталеного значення } C_c^0]$.

$\underline{v}(t) = Col(v_1(t)v_2(t))$ - вектор керувального діяння $[v_1(t) - \text{відхилення витрати обігової води від її заданого значення } Q_B^0; v_2(t) - \text{відхилення витрати маси високої концентрації від її заданого значення } Q_M^0]$.

Підставивши задані значення у систему рівнянь (4.21) маємо:

$$\begin{cases} \dot{\underline{x}}(t) = \begin{bmatrix} -0.01 & 0 \\ 0 & -0.02 \end{bmatrix} \underline{x}(t) + \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -0.25 & 0.75 \end{bmatrix} \underline{U}(t); \\ \underline{y}(t) = \begin{bmatrix} 0.01 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \underline{x}(t). \end{cases} \quad (4.22)$$

Таким чином маємо матриці зміни стану 2

$$A = \begin{bmatrix} -0.01 & 0 \\ 0 & -0.02 \end{bmatrix}; \quad (4.23)$$

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -0.25 & -0.75 \end{bmatrix}; \quad (4.24)$$

$$C = \begin{bmatrix} 0.01 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (4.25)$$

Аналітично визначаються елементи діагональних матриць Q і R . у такому випадку

$$Q = \begin{bmatrix} 50 & 0 \\ 0 & 0.02 \end{bmatrix}; \quad (4.26)$$

$$R = \rho \begin{bmatrix} 0,33 & 0 \\ 0 & 3 \end{bmatrix}. \quad (4.27)$$

4.1.5.3 Синтез закону керування

Як свідчить досвід розрахунків оптимальних систем керування [10], квадратичні критерії якості керування забезпечують просте вирішення задачі синтезу закону керування, а також його технічну реалізацію. Хоча це пов'язано безпосередньо з критерієм якості керування слід відмітити принципову різницю між обчисленнями, які накладає обмеження на множину параметрів стану системи (скажімо, надійність) та обмеження типу насичення, які виникають у змішувачі як наслідок фізичного обчислення.

Вибір вагових коефіцієнтів міри похибки являє собою важливу задачу, позаяк взаємозв'язок вагових коефіцієнтів і параметрів оптимальної системи керування у загальному випадку надто складний. На разі задача не розв'язана, а тому в інженерній практиці використовуються різноманітні методи, які дозволяють спростити розв'язок цієї задачі.

Як було показано вище у якості параметра використовується деяка величина ρ . Отже, матрицю керування (4.22) потрібно подати так:

$$R = \rho \begin{bmatrix} 0,33 & 0 \\ 0 & 3 \end{bmatrix}. \quad (4.28)$$

Тоді матричне нестабільне рівняння Ріккаті (4.11) матиме вигляд:

$$\dot{P} = -PA - A^T P - C^T Q C + P B R^{-1} B^T P. \quad (4.29)$$

де

$$A = \begin{bmatrix} -0.01 & 0 \\ 0 & -0.02 \end{bmatrix}; \quad (4.30)$$

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ -0.25 & -0.75 \end{bmatrix}; \quad (4.31)$$

$$C = \begin{bmatrix} 0.01 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (4.32)$$

$$Q = \begin{bmatrix} 50 & 0 \\ 0 & 0.02 \end{bmatrix}; \quad (4.33)$$

$$R = \rho \begin{bmatrix} 0,33 & 0 \\ 0 & 3 \end{bmatrix}; \quad (4.34)$$

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{bmatrix}. \quad (4.35)$$

Матриця (4.35) визначається у результаті розв'язання нестабільного матричного рівняння Ріккати (4.29)

Оптимальний закон керування змішувачем типу 2 подамо у вигляді ру

$$\underline{\hat{v}}(t) = \begin{bmatrix} v_1(t) \\ v_2(t) \end{bmatrix} = -R^{-1}B^T P y(t). \quad (4.36)$$

Підставивши матриці (4.31), (4.34) і (4.35) у вираз (4.36) одержимо шуканий закон *оптимального* керування змішувачем

$$\underline{\hat{v}}(t) = \begin{bmatrix} v_1(t) \\ v_2(t) \end{bmatrix} = -\frac{1}{\rho} \begin{bmatrix} 0,33 & 0 \\ 0 & 3 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 1 & -0,25 \\ 1 & 0,75 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} \\ p_{21} & p_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \end{bmatrix}.$$

або

$$\underline{\hat{v}}(t) = \begin{bmatrix} G_{11}y_1 & G_{12}y_2 \\ G_{21}y_1 & G_{22}y_2 \end{bmatrix}. \quad (4.37)$$

Таким чином

$$\begin{cases} \hat{v}_1 = G_{11}y_1 + G_{12}y_2 \\ \hat{v}_2 = G_{21}y_1 + G_{22}y_2 \end{cases} \quad (4.38)$$

де

$$G_{11} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{1}{0,33} \cdot (p_{11} - 0,25p_{21});$$

$$G_{12} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{1}{0,33} \cdot (p_{12} - 0,25p_{22});$$

$$G_{21} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{1}{3} \cdot (p_{21} + 0,75p_{11});$$

$$G_{22} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{1}{3} \cdot (p_{22} + 0,75p_{12});$$

У відповідності з законом оптимального керування (4.38) побудовано структурну схему системи автоматичного керування: регулювання змішувачем маси високої концентрації з обіговою водою (вираження 2) рис. 4.3.

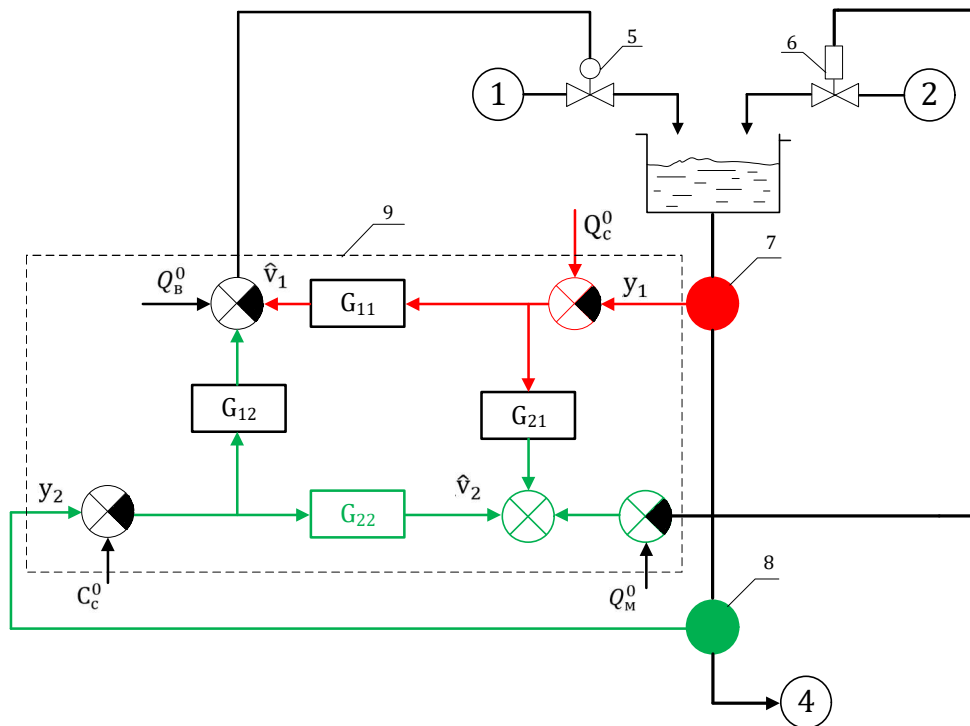


Рис. 4.3 Структурна схема системи автоматичного керування і регулювання змішувачем маси високої концентрації з обіговою водою (варіант 2) 1-трубопровід обігової води; 2- трубопровід маси високої концентрації; 3- змішувач; 4- трубопровід розбавленої маси; 5- 6- регульовальні пристрої; 7- датчик витрати суміші; 9- оптимальний багатовимірний регулятор.

Аналіз цієї структурної схеми свідчить, що між системою автоматичного регулювання витрати розбавленої маси і системою автоматичного регулювання концентрації суміші існує взаємозв'язок. З метою в'яснення цього взаємозв'язку проводимо моделювання цієї системи

4.1.5.4 Результати моделювання оптимальної системи регулювання змішувачем двох потоків речовин

Методами цифрового моделювання було виконано дослідження розробленої системи автоматичного регулювання змішувача маси високої концентрації (потік «) з обіговою водою (потік 1) обладнаного оптимальним регулятором (4.38)

Графіки перехідних процесів в оптимальній замкнутій системі регулювання в залежності від вагового коефіцієнта ρ ($\rho = \infty; 10; 1$ і $0,1$) і початкового вектора стану системи $\underline{x}(0) = Col(0,1; 0)$ показана на рис. 4.4.

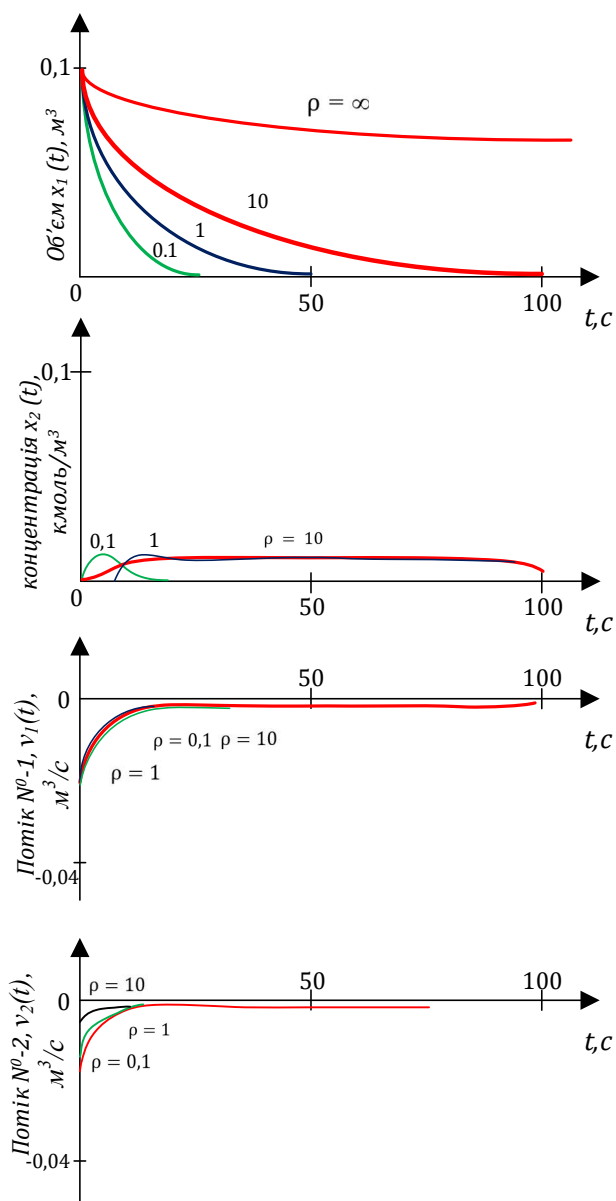


Рис.4.4 Графіки перехідних процесів в оптимальній системі регулювання змішувача в залежності від коефіцієнта ρ та початкового стану системи $\underline{x}(0) = Col(0,1; 0)$.

Графіки перехідних процесів в оптимальній замкнутій системі регулювання розглядуваної системи в залежності від вагового коефіцієнта ρ ($\rho = \infty; 10; 1$ і $0,1$); і початкового вектора стану системи $\underline{x}(0) = Col(0,1; 0)$ показано на рис. 4.5.

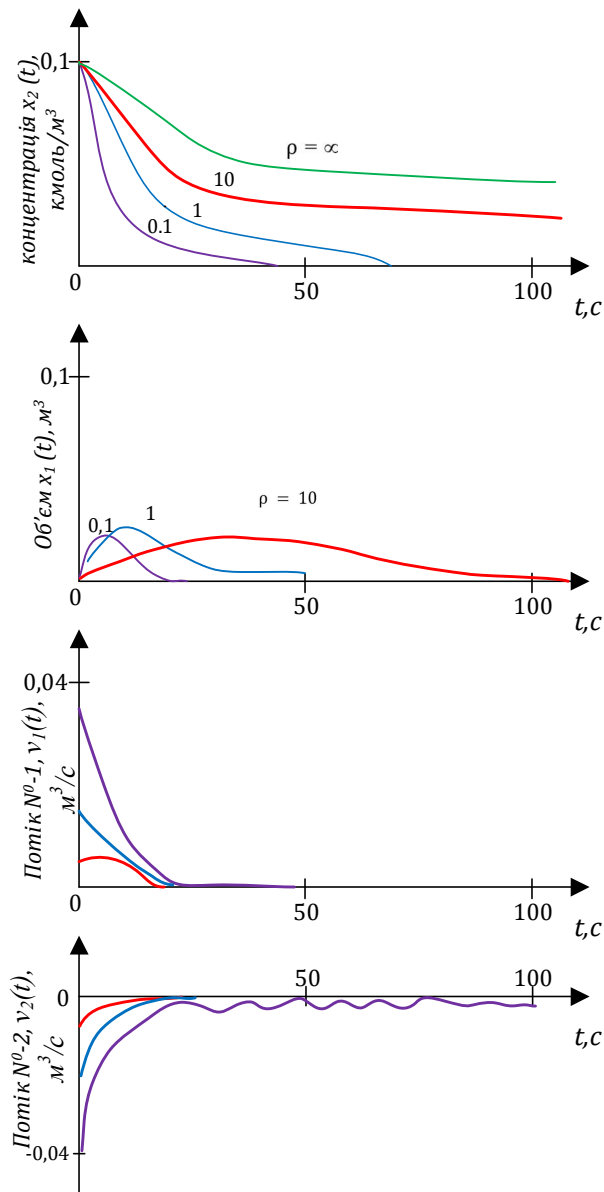


Рис.4.5 Графіки перехідних процесів в оптимальній системі регулювання змішувача в залежності від коефіцієнта ρ та початкового стану системи $\underline{x}(0) = Col(0,1; 0)$.

Аналіз наведених графіків свідчить, якщо $\rho = \infty$, то система регулювання витратою і концентрацією суміші двох речовин, що витікає із змішувача, стає розімкнутою. У такому випадку

$$G_{11} = G_{12} = G_{21} = G_{22} = 0.$$

Із зменшенням ρ від ∞ до 0.1 зростає швидкодія систем регулювання за рахунок збільшення амплітуди вхідної змінної.

Наведені графіки перехідних процесів свідчать, що у замкнутій системі існує відносно незначний вплив роботи системи автоматичного регулювання

(САР) витратою суміші на САР концентрацію суміші; тобто реакція на початкове збурення по об'єму змішувача ($x_1(0) = 0,1\text{м}^3$) слабо впливає на зміну концентрації суміші у ньому ($x_1(t) = 0,01$ кмоль/м³) і навпаки, реакція на початкове збурення по концентрації суміші ($x_2(0) = 0,1$ кмоль/м³) слабо впливає на зміну об'єму змішувача ($x_1(t) = 0,001$ м³).

Характеристики змішуваної системи у функції ρ наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Розподіл усталених полюсів оптимальної системи регулювання змішувачем у функції ρ

ρ	Оптимальні показники системи	
∞	-0,01	-0,02
10	-0,02952	-0,04523
1	-0,07517	-0,1379
0,1	-0,231	-0,4345

Як видно у всіх випадках полюси замкнутої системи знаходяться у лівій області комплексної площини. Тут не вказано матриці підсилення \bar{F} , знайдені для логічного значення ρ , однак виявлено, що вони не діагональні.

Системи із зворотнім зв'язком, розглянуті у цьому приладі, оптимальні у тому сенсі, що вони є найкращим компромісом між вимогами максимальної швидкодії і обчисленнями щодо амплітуди вихідної змінної. І насамкінець, ще раз відмітимо, що у замкнутій системі невольний вилив, тобто реакція на початкове збурення по концентрації суміші слабо впливає на обмін розбавленої маси, що знаходиться у змішувачі, і навпаки.

4.2 Напірний ящик з вакуумним простором.

4.2.1 Принципова схема системи подачі маси на сітку папероробної машини

Принципову схему системи подачі розбавленої маси на сітку папероробної машини обладнаної напірним ящиком з вакуумним простором, показано на рис. 4.6.

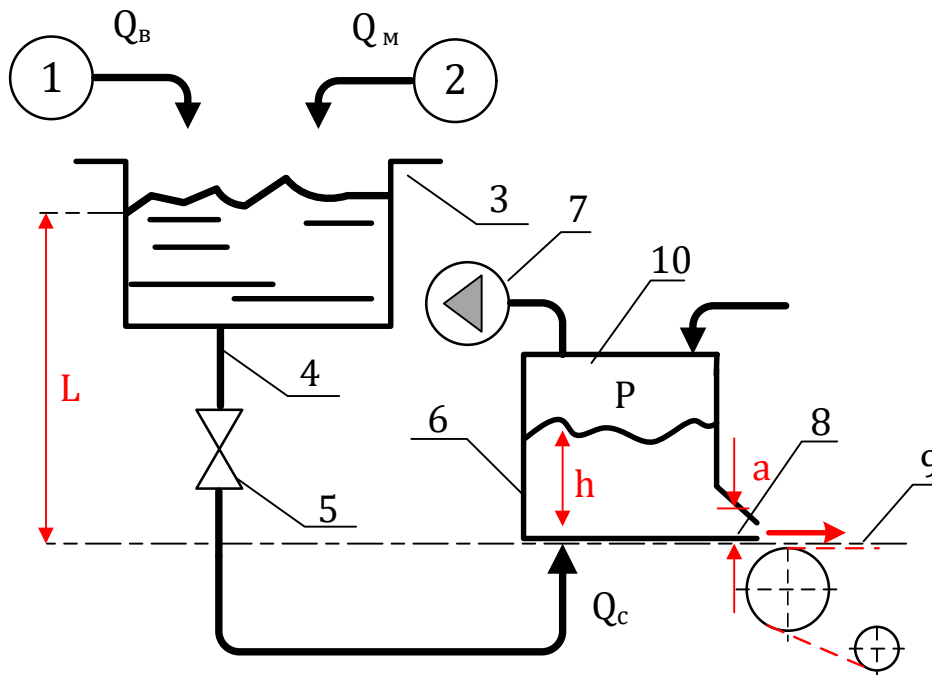


Рис. 4.6 – Принципова схема подачі маси на сітку машини з напірним ящиком з вакуумним простором: 1- трубопровід обігової води; 2- трубопровід маси високої концентрації; 3- змішувач; 4- трубопровід розбавленої маси; 5- регулювальний орган; 6- напускна камера; 7- вакуумний насос; 8- випускальна щілина; 9- сітка; 10- повітряна подушка

Маса високої концентрації по трубопроводу 2, а обігова вода по трубопроводу 1 подається до змішувача 3, розміщеного на висоті L , з площею поверхні маси S_2 . одержана розбавлена маса Q по трубопроводу 4 крізь регульований орган 5 надходить до напускної камери (кільце поверхні маси якої S_1 , у якій регулюється рівень маси h відповідною системою регулювання. Потрібний тиск (чи вакуум) P повітряної подушки створюється вакуум насосом чи компресором 7. Рівень маси у напускній камері і тиск повітряної подушки створюють сумарний напір маси у випускальній щілині

$$H = h + \frac{P}{\rho}, \quad (4.39)$$

де ρ – питома вага розбавленої маси.

S – площа випускальної щілини

4.2.2 Постановка задачі дослідження

Задача дослідження формується так: Якими мають бути закони керування розглядуваною системою подачі маси на сітку машини, які пов'язують зміну витрати розбавленої маси Q зі зміною тиску (вакууму) P повітряної подушки і

площею випускальної щілини S , щоб одержана швидкість витікання маси V_M крізь випускальну щілину була рівною її заданому значенню V_M^0 а рівень маси був би рівний його заданому значенню h_0 ?

4.2.3 Математична модель системи подачі маси на сітку

Математичну модель напірного ящика з вакуумним простором розроблено у розділі 2. Вона має такий вигляд:

$$\begin{cases} H = h + \frac{P}{\rho}; \\ L = H + K_1 Q_c^2; \\ H = \frac{1}{2g} K_2 Q_{щ}^2; \\ Q_c = Q_{щ} + S_1 \frac{dh}{dt}; \\ Q_{щ} = S V_M. \end{cases} \quad (4.40)$$

де H – сумарний напір маси; h – рівень маси; ρ – питома вага маси; V_M – швидкість маси крізь випускальну щілину; S – площа випускальної щілини; K_1 – коефіцієнт витрат на регульовальному органі подачі маси; K_2 – коефіцієнт витрат у випускальній щілині; S_1 – поверхня маси у напускній камері;

Якщо до математичної моделі цього напірного ящика додати модель змішувача маси високої концентрації з обіговою водою, то одержимо таку модель системи подачі маси на сітку:

$$\begin{cases} H = h + \frac{P}{\rho}; \\ L = H + K_1 Q_c^2; \\ H = \frac{1}{2g} K_2 Q_{щ}^2; \\ Q_c = Q_{щ} + S_1 \frac{dh}{dt}; \\ Q_{щ} = Q_M + Q_B; \\ \dot{Q} = Q_c + S_2(t) \frac{dh}{dt}. \end{cases} \quad (4.41)$$

де S_2 – площа поверхні маси у 1-й секції змішувача - $S_2 = Const$ в інтервалі зміни l від 10 до 30 мм (рис. 2.7); P – вакуум в напірному ящику.

4.2.4 Розробка законів керування системою подачі маси на сітку

Із системи рівнянь (3) маємо

					ДП ЛАП81.05.00.000 ПЗ	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

$$\begin{cases} \frac{dl}{dt} = \frac{1}{S_2} \left[Q - \sqrt{\frac{L-(h+P/\rho)}{K_1}} \right]; \\ \frac{dl}{dt} = \frac{1}{S_1} \left[\sqrt{\frac{L-(h+P/\rho)}{K_1}} - \sqrt{\frac{h-P/\rho}{K_2+1/(2S^2g)}} \right]; \\ U_M = \frac{1}{S} \sqrt{\frac{h-P/\rho}{K_2+1/(2S^2g)}}. \end{cases} \quad (4.42)$$

При цьому $h = h^0 \rightarrow \frac{dl}{dt} = 0 \forall t; U_M = U_c^0 \forall t$.

Розв'язок системи рівнянь (4.42) такий:

$$S^2 = \frac{1}{K_1+K_2} \left(\frac{L}{V_{M0}^2} - \frac{1}{2g} \right) \quad (4.43)$$

$$h_0 + \frac{p}{\rho} = \frac{1}{K_1+K_2} \left(K_1 \frac{1}{2g} V_{M0}^2 + K_2 L \right) \quad (4.44)$$

Таким чином маємо два закони керування системою подачі маси на сітку машини, які пов'язують зміну висоти L з площею випускальної щілини $S(t)$ та сумарним напором маси $h_0 + p/\rho$. Їх легко реалізувати, якщо можна виміряти висоту напору L . якщо його не можливо виміряти за допомогою відповідних засобів автоматизації, то її можна визначити на підставі вимірюваного значення витрати маси $Q(t)$ і розв'язати наступне диференціальне рівняння:

$$\frac{dl}{dt} = \frac{1}{S_2} \left[Q(t) - \sqrt{\frac{L-V_{M0}^2/2g}{K_1+K_2}} \right]. \quad (4.45)$$

4.2.5 Ілюстративний приклад

Розглянемо напірний ящик, який має такі технічні характеристики [25]

- Швидкість машини $V = 40$ м/х;
- Витрата маси крізь випускальну щілину $Q = 15$ м³/г;
- Висота випускальної щілини $a = 1.5$ см;
- Рівень маси у напірному ящику $h = 17$ см;
- Вакуум повітряної подушки $P = 14$ мБар;
- Коефіцієнт гідравлічних втрат $K_1 = 11\,610$ с²/м⁵.

У разі зміни витрати маси крізь випускальну щілину на 5 м³/г вихідні змінні напірного ящика змінювались так, як показано на рис. 4.7

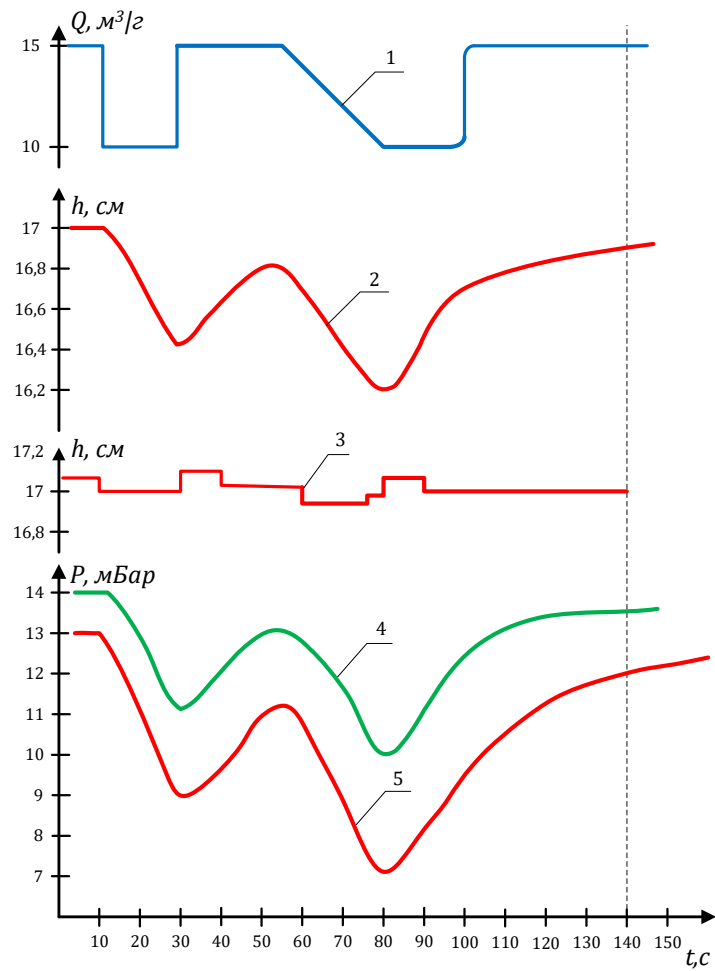


Рис. 4.7 – Перехідні процеси в системі подачі маси на сітку: 1- витрати маси; 2- рівень при вимиканні регулятора; 3- рівень при увімкненні регулятора; 4- тиск повітряної подушки; 5- висота щілини

4.3 Сушильна частина машини

Структурну схему системи автоматичного керування масою 1 м^2 і вологістю y_2 паперового полотна (система 2.2) показано на рис. 4.8

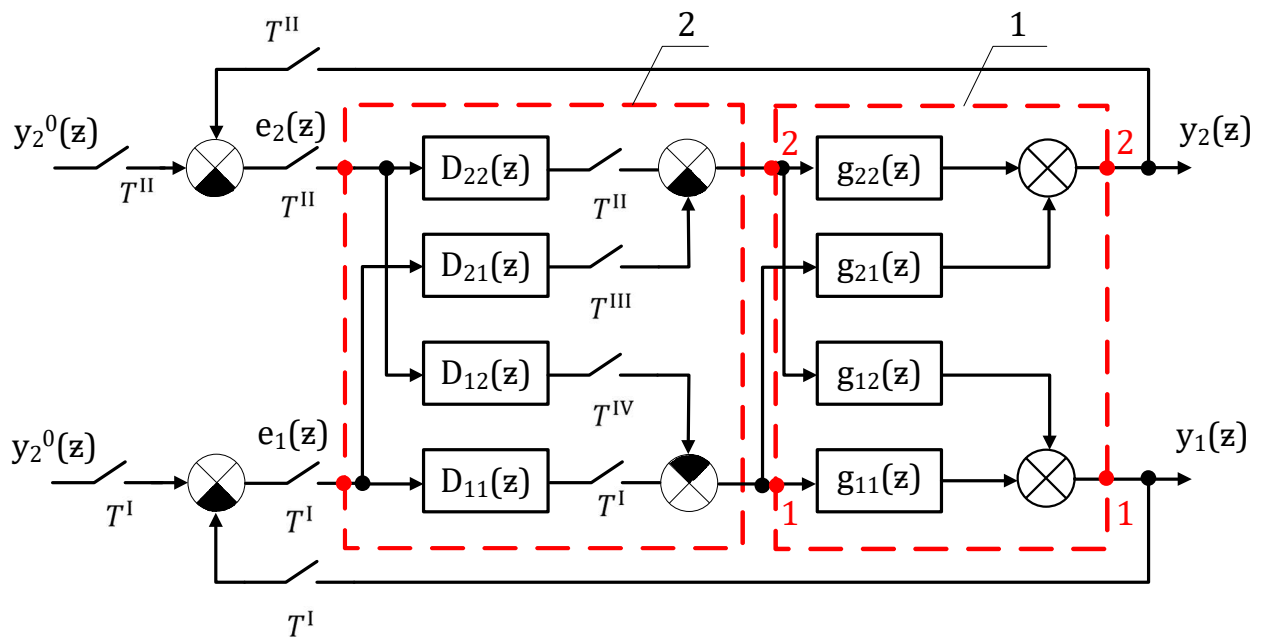


Рис.4.8-Структурна схема мікро-процесорної системи автоматичного керування масою 1 м^2 , вологістю паперового полотна (система 2×2) 1- об'єкт керування; 2- мікроЕОМ

Іноді під час керування такої системи не звертають уваги на наявність перехресних каналів (12 і 21) у цьому об'єкті керування, а приймають до розгляду такі прямі канали (11 і 22). У типовому випадку САК масою 1 м^2 і вологістю паперового полотна представляється у вигляді двох автономних мікропроцесорних систем (МП) САК: масою 1 м^2 і вологістю паперового полотна. Спроектвана таким чином САК розглядуваними зміними буде працювати незадовільно саме з огляду взаємовпливу вказаних автоматичних систем через перехресні канали 12 і 21. Справді зміна задавального діяння $y_i(t)$ в МП САК масою 1 м^2 паперового полотна призведе до зміни не тільки маси 1 м^2 паперу на накаті машини, але і до його вологості. Зміна задавального діяння y_2^0 в МП САК вологістю паперового полотна призведе до зміни обох змінних. Як наслідок взаємовпливу вказаних САК через перехресні канали збільшиться час відпрацювання задавальних і час придушення збурювальних діянь.

Ведення технологічного процесу виробництва паперу в оптимальному режимі вимагає створення ПСАК з незалежним керуванням як масою 1 м^2 , так і вологістю паперового полотна.

Поставлена мета досягається уведенням в ПАК цими параметрами полотна коригуючих пристроїв, які дозволяють розв'язати САК масою 1 м^2 і САК вологістю паперового полотна. У такому випадку зміна задавального діяння у САК масою 1 м^2 паперового полотна не буде впливати на роботу САК вологістю паперового полотна, а зміна задавального діяння у САК вологістю паперового полотна викличе зміну тільки цього технологічного параметра. У зв'язку з цим дуже важливо в процесі проектування такої ПСАК правильно визначити передавальні функції мікропроцесорних регуляторів (МПР) маси 1 м^2 і вологості паперового полотна та мікропроцесорних коректорів (МПК).

Нехай $g_{11}(z)$, $g_{21}(z)$, $g_{12}(z)$ і $g_{22}(z)$ - дискретні передавальні функції каналів 11, 12, 21 і 22 об'єкта керування, а $D_{11}(z)$, $D_{21}(z)$, $D_{12}(z)$ і $D_{22}(z)$ дискретні передавальні функції МПР маси 1 м^2 паперового полотна, МПР вологості паперового полотна, першого і другого МПК. Тоді поточні значення маси 1 м^2 паперового полотна $y_1(z)$ і вологості $y_2(z)$ цього полотна можна подати так:

$$y_1(z) = [g_{11}(z)D_{11}(z) + g_{12}(z)D_{21}(z)]e_1(z) + [g_{21}(z)D_{12}(z) + g_{12}(z)D_{22}(z)]e_2(z); \quad (4.46)$$

$$y_2(z) = [g_{21}(z)D_{12}(z) + g_{22}(z)D_{22}(z)]e_2(z) + [g_{21}(z)D_{11}(z) + g_{22}(z)D_{21}(z)]e_1(z). \quad (4.47)$$

Для того, щоб САК масою 1 м^2 паперового полотна не призводила вплив на САК вологістю паперового полотна і, навпаки, необхідно, щоб

$$g_{21}(z)D_{11}(z) + g_{22}(z)D_{21}(z) \cong 0; \quad (4.48)$$

$$g_{11}(z)D_{12}(z) + g_{12}(z)D_{22}(z) \cong 0. \quad (4.49)$$

Тоді вирази (4.46) і (4.47) приймають такий вигляд:

$$y_1(z) = [g_{11}(z)D_{11}(z) + g_{12}(z)D_{21}(z)]e_1(z); \quad (4.50)$$

$$y_2(z) = [g_{21}(z)D_{12}(z) + g_{22}(z)D_{22}(z)]e_2(z). \quad (4.51)$$

Дискретні передавальні функції каналів 11, 12, 22 і 21 подають:

$$g_{11}(z) = K_{11} \frac{1-a_{p11}}{1-a_{p11}z^{-1}} \cdot z^{-(K^I+1)}; \quad (4.52)$$

$$g_{22}(z) = K_{22} \frac{1-a_{p22}}{1-a_{p22}z^{-1}} \cdot z^{-(K^{II}+1)}; \quad (4.53)$$

$$g_{12}(z) = K_{12} \frac{1-a_{p12}}{1-a_{p12}z^{-1}} \cdot z^{-(K^{III}+1)}; \quad (4.54)$$

$$g_{21}(z) = K_{21} \frac{1-a_{p21}}{1-a_{p21}z^{-1}} \cdot z^{-(K^{IV}+1)}; \quad (4.55)$$

де

$$a_{p11} = \exp\left(-\frac{T^I}{T_{11}}\right);$$

$$a_{p22} = \exp\left(-\frac{T^{II}}{T_{22}}\right);$$

$$a_{p21} = \exp\left(-\frac{T^{IV}}{T_{21}}\right);$$

$$a_{p12} = \exp\left(-\frac{T^{III}}{T_{12}}\right);$$

$$K_{ij} (i = 1.2; j = 1.2)$$

$$\tau_{ij} (i = 1.2; j = 1.2)$$

$$T_{ij} (i = 1.2; j = 1.2)$$

відповідно, коефіцієнти підсилення, час запізнювання і сталі каналів 11, 22, 10 і 21; T^I і T^{II} – періоди дискретності САК масою 1 м² і вологості паперового полотна; T^{III} і T^{IV} – періоди дискретності видачі сигналів першим і другим МПК.

Нехай дискретні передавальні функції замкнених систем (першої САК – маси 1 м² паперового полотна) заданий у такому вигляді:

$$\Phi^I(z) = \frac{1-\acute{a}_3}{1-\acute{a}_3z^{-1}} \cdot z^{-(K^I+1)}; \quad (4.56)$$

$$\Phi^{II}(z) = \frac{1-\acute{a}_3}{1-\acute{a}_3z^{-1}} \cdot z^{-(K^{II}+1)}; \quad (4.57)$$

де

$$\acute{a}_3 = \exp\left(-\frac{\hat{T}}{\hat{T}_3}\right);$$

$$\check{a}_3 = \exp\left(-\frac{T}{T_3}\right);$$

T_3^I і T_3^{II} – відповідно, сталі часу замкнених першої і другої систем.

Оскільки

$$y_1(z) = \frac{\phi^I(z)}{1-\phi^I(z)} \cdot e_1(z); \quad (4.58)$$

$$y_2(z) = \frac{\phi^{II}(z)}{1-\phi^{II}(z)} \cdot e_2(z). \quad (4.59)$$

то підставивши у вирази (4.58) і (4.59) вирази (4.56) і (4.57) маємо:

$$y_1(z) = \frac{(1-\acute{a}_3)z^{-(K^I+1)}}{1-\acute{a}_3z^{-1}-(1-\acute{a}_3)z^{-(K^I+1)}} e_1(z); \quad (4.60)$$

$$y_2(z) = \frac{(1-\acute{a}_3)z^{-(K^{II}+1)}}{1-\acute{a}_3z^{-1}-(1-\acute{a}_3)z^{-(K^{II}+1)}} e_2(z). \quad (4.61)$$

Порівнюючи вирази (4.50) і (4.51) з виразами (4.60) і (4.61) маємо:

$$\begin{cases} g_{11}(z)D_{11}(z) + g_{12}(z)D_{21}(z) = A(z); \\ g_{21}(z)D_{12}(z) + g_{22}(z)D_{22}(z) = B(z), \end{cases} \quad (4.62)$$

де

$$A(z) = \frac{(1-\acute{a}_3)z^{-(K^I+1)}}{1-\acute{a}_3z^{-1}-(1-\acute{a}_3)z^{-(K^I+1)}}; \quad (4.63)$$

$$B(z) = \frac{(1-\acute{a}_3)z^{-(K^{II}+1)}}{1-\acute{a}_3z^{-1}-(1-\acute{a}_3)z^{-(K^{II}+1)}}. \quad (4.64)$$

У матричній формі система рівнянь (4.62) має такий вигляд:

$$\begin{bmatrix} g_{11}(z) & g_{12}(z) \\ g_{21}(z) & g_{22}(z) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_{11}(z) & D_{12}(z) \\ D_{21}(z) & D_{22}(z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A(z) & 0 \\ 0 & B(z) \end{bmatrix}. \quad (4.65)$$

Розв'яжемо матричне рівняння (4.65) відносно дискретних передавальних функцій МПР і МПК. Тоді:

$$\begin{bmatrix} g_{11}(z) & D_{12}(z) \\ g_{21}(z) & D_{22}(z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A(z) & 0 \\ 0 & B(z) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} g_{11}(z) & g_{12}(z) \\ g_{21}(z) & g_{22}(z) \end{bmatrix}. \quad (4.66)$$

Отже, дискретні передавальні функції МПР і МПК, у самому загальному вигляді визначаються так:

$$D_{11}(z) = \frac{g_{22}(z)}{D(z)} A(z); \quad (4.67)$$

$$D_{22}(z) = \frac{g_{11}(z)}{D(z)} B(z); \quad (4.68)$$

$$D_{21}(z) = -\frac{g_{21}(z)}{D(z)} A(z); \quad (4.69)$$

$$D_{12}(z) = -\frac{g_{12}(z)}{D(z)} B(z), \quad (4.70)$$

де $D(z) = g_{11}(z)g_{22}(z) - g_{12}(z)g_{21}(z)$.

Таким чином, для реалізації автономного керування масою 1 м^2 і вологістю паперового полотна потрібно реалізувати на мікро ЕВМ дискретні передавальні функції (4.67) - (4.70).

Розглянемо декілька випадків.

Випадок 1. Дискретна передавальна функція (4.54) дорівнює нулеві. Такий випадок виникає у разі керування абс. сухою масою 1 м^2 паперового полотна. Саме тому дискретні передавальні функції МПР і МПК визначаються так:

$$D_{11}(z) = \frac{A(z)}{g_{11}(z)}; \quad (4.71)$$

$$D_{22}(z) = \frac{B(z)}{g_{22}(z)}; \quad (4.72)$$

$$D_{21}(z) = -\frac{g_{21}(z)}{g_{22}(z)} D_{11}(z); \quad (4.73)$$

$$D_{12}(z) = 0. \quad (4.74)$$

Випадок 2. Дискретні передавальні функції (4.54) і (4.55) дорівнюють нулеві. Такий випадок викликає тоді, коли нехтують взаємовпливом САК масою 1 м^2 паперового полотна. У такому випадку дискретна передавальна функція МПР масою 1 м^2 паперового полотна:

$$D_1(z) = \frac{(1-\alpha_3)(1-a_{\rho 11}z^{-1})}{K_{11}(1-a_{\rho 11})[1-\alpha_3z^{-1}-(1-\alpha_3)z^{-(K^I+1)}]}. \quad (4.75)$$

Дискретна передавальна функція МПР вологості паперового полотна

$$D_2(z) = \frac{(1-\alpha_3)(1-a_{\rho 22}z^{-1})}{K_{22}(1-a_{\rho 22})[1-\alpha_3z^{-1}-(1-\alpha_3)z^{-(K^{II}+1)}]}. \quad (4.76)$$

Випадок 3. Нехай транспортні запізнювання і сталі часу клапанів 11 і 12 та 21 і 22 попарно рівні, тобто нехай:

$\tau_{11} = \tau_{21}; \tau_{22} = \tau_{12}; T_{11} = T_{21}; T_{22} = T_{12}$, а періоди дискретності $T^I = T^{II} = T^{III} = T^{IV} = T$.

тоді $a_{\rho_{11}} = a_{\rho_{12}} = a_{\rho_1}; a_{\rho_{22}} = a_{\rho_{21}} = a_{\rho_2}; K^I = K^{IV} = K_1$, а $K^{II} = K^{III} = K_2$.

Отже, дискретні передавальні функції об'єкта керування матимуть такий вигляд:

$$g_{11}(z) = K_{11} \frac{1-a_{\rho_1}}{1-a_{\rho_1}z^{-1}} z^{-(K_1+1)}; \quad (4.77)$$

$$g_{21}(z) = K_{21} \frac{1-a_{\rho_1}}{1-a_{\rho_1}z^{-1}} z^{-(K_1+1)}; \quad (4.78)$$

$$g_{12}(z) = K_{12} \frac{1-a_{\rho_2}}{1-a_{\rho_2}z^{-1}} z^{-(K_2+1)}; \quad (4.79)$$

$$g_{22}(z) = K_{22} \frac{1-a_{\rho_2}}{1-a_{\rho_2}z^{-1}} z^{-(K_2+1)}. \quad (4.80)$$

Підставивши вирази (4.63), (4.64), (4.77), - (4.80) у виразі (4.67) – (4.70) одержимо:

$$D_{11}(z) = \frac{K_{22}}{L} \cdot \frac{(1-\alpha_3)(1-a_{\rho_{11}}z^{-1})}{(1-a_{\rho_1})[1-\alpha_3z^{-1}-(1-\alpha_3)z^{-(K_1+1)}]}; \quad (4.81)$$

де $L = K_{11}K_{22} - K_{12}K_{21}$;

$$D_{11}(z) = \frac{K_{22}}{L} \cdot \frac{(1-\alpha_3)(1-a_{\rho_{22}}z^{-1})}{(1-a_{\rho_{22}})[1-\alpha_3z^{-1}-(1-\alpha_3)z^{-(K_2+1)}]}; \quad (4.82)$$

$$D_{12}(z) = -\frac{K_{12}}{L} \cdot \frac{(1-\alpha_3)(1-a_{\rho_{11}}z^{-1})z^{-(K_1-K_2)}}{(1-a_{\rho_2})[1-\alpha_3z^{-1}-(1-\alpha_3)z^{-(K_1-K_2)}]}; \quad (4.83)$$

$$D_{21}(z) = -\frac{K_{21}}{L} \cdot \frac{(1-\alpha_3)(1-a_{\rho_1}z^{-1})z^{-(K_2-K_1)}}{(1-a_{\rho_1})[1-\alpha_3z^{-1}-(1-\alpha_3)z^{-(K_2-K_1)}]}. \quad (4.84)$$

Перетворимо дискретні передавальні функції (4.81) – (4.84) з метою полегшення їх реалізації на мікро ЕВМ. Для цього помножимо і поділимо вираз (4.81) на K_{11} . Тоді дискретна передавальна функція МПР маси 1 м² паперового полотна:

$$D_{11}(z) = \frac{K_{11}K_{22}}{L} D_1(z), \quad (4.85)$$

де $D_1(z)$ – дискретна передавальна функція регулятора Даліна типу III (4.75).

Дискретна передавальна функція МПР вологості паперового полотна:

$$D_{22}(z) = \frac{K_{11}K_{22}}{L} D_2(z), \quad (4.86)$$

де $D_2(z)$ – дискретна передавальна функція регулятора Даліна типу III (4.76)

Помножимо та поділимо вираз (4.78) на $K_{11}(1 - a_{\rho_{11}})(1 - a_{\rho_{11}}z^{-1})$. Тоді дискретна передавальна функція першого МПК

$$D_{21}(z) = -\frac{K_{11}K_{21}}{L} \cdot \frac{(1-a_{\rho_1})(1-a_{\rho_2}z^{-1})}{(1-a_{\rho_2})(1-a_{\rho_1}z^{-1})} \cdot z^{-(K_1-K_2)} \cdot D_1(z). \quad (4.87)$$

Аналогічно визначається дискретна передавальна функція другого МПК:

$$D_{12}(z) = -\frac{K_{22}K_{12}}{L} \cdot \frac{(1-a_{\rho_2})(1-a_{\rho_1}z^{-1})}{(1-a_{\rho_1})(1-a_{\rho_2}z^{-1})} \cdot z^{-(K_2-K_1)} \cdot D_2(z). \quad (4.88)$$

5 Реалізація мікропроцесорної системи керування витратою маси високої концентрації

5.1 Постановка проблеми

Для вимірювання кількості затратної рідини в целюлозно-паперовому виробництві застосовують спеціальні прилади, які використовують магнітні, турбинні чи діафрагмові вимірювачі. Перші два види являють собою складні дороговартні прилади, останні не завжди забезпечують необхідну точність на всьому діапазоні вимірювань. Для цього вимірювача ґрунтується на використанні закону Бернуллі, який зв'язує перепад тиску ΔP з опором діафрагми потоку γ і швидкість потоку U [17]

$$\Delta P = z \frac{\gamma}{2g} U^2 \cdot 10^{-4} \quad (5.1)$$

де $g = 9.81 \text{ м/с}^2$ прискорення сили тяжіння.

Вимірюючи перепад тиску на діафрагмі і знаючи її опір потоку при фіксованому отворі, можна визначити швидкість потоку, а отже, його витрату. Для розширення діапазона вимірювань використовують набір вимірювальних діафрагм чи установку декількох діафрагм з різними діаметрами отворів. Однак найкращі результати отримують тоді, коли отвір вимірювального пристрою буде змінюватися відповідно зі зміною швидкості потоку вимірювання зі змінним отвором. В якості такого вимірювача застосовують регульовальний пристрій, характеристики якого відомі заздалегідь.

Позаяк опір потоку визначається без урахування координат і адіабатичних параметрів, то при регулюванні потоку вентильним пристроєм доцільно уведення коефіцієнта K_B , який описує проникливість клапана як функцію накопичення заслінки при сталому перепаді в 10 к Па. Цей коефіцієнт знаходиться із виразу:

$$Q_M = K_B \sqrt{\frac{\Delta P}{\gamma}} \quad (5.2)$$

де Q_M – витрата маси крізь клапан;

ΔP - перепад тиску на клапані;

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		90

γ - питома вага маси.

Значення коефіцієнта знаходиться при незначних перепадах тиску на клапані: 3-10 кПа. Якщо перепад тиску виходить за вказані межі, то необхідно виконувати відповідну корекцію значення K_B , оскільки характеристика потоків, що проходить крізь клапан під високим тиском, мають значні відмінності.

Відношення між діючим і номінальним значенням K_B називають ефективністю клапана. Якщо ефективність клапана дорівнює одиниці, то робоча точка буде знаходитися в області калібровки. Для невеликих перепадів тиску на клапані значення K_B є його функцією. Цю залежність показано на рис. 5.1.

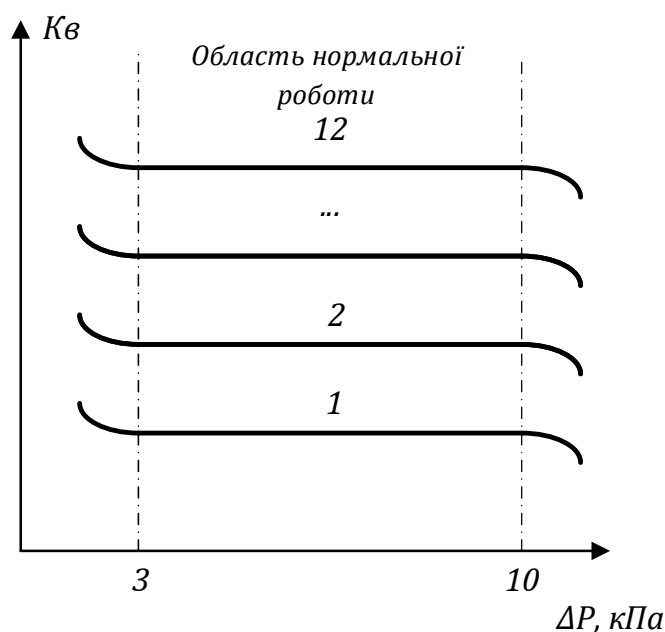


Рис. 5.1 – Залежність коефіцієнта проникності каналу як функції положення заслінки при перепаді тиску в 10 кПа.

У якості параметра використовується положення регулювання клапана

5.2 Розробка алгоритмічного забезпечення регулятора витрати маси високої концентрації.

З метою одержання точних результатів вимірювання потрібно враховувати цю залежність. Позитивно керувальне діяння як $\Delta\alpha$. Виконавчий пристрій перетворює цю величину положення клапана α . Витрата маси високої концентрації є функцією перепаду тиску ΔP і положення заслінки клапана α . Оцінка потоку знаходиться із виразу (5.2), якщо прийняти $\gamma = 1$ так

$$Q_M = K_B(\alpha)\sqrt{\Delta P}. \quad (5.3)$$

					ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ	Арк.
						91
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначимо лінійне співвідношення, яке пов'язує зміну потоку маси високої концентрації Q_M відносно його заданого значення $Q_M - Q_M^0$ з керувальним діленням $\Delta\alpha$. Допустивши, $\Delta\alpha$ малим, можна подати сигнал приросту витрати маси так:

$$Q_M - Q_M^0 = \left(\frac{\partial K_B}{\partial \alpha}\right)^0 \Delta\alpha \sqrt{\Delta P}. \quad (5.4)$$

Звідси випливає, що

$$\Delta\alpha = \frac{1}{\left(\frac{\partial K_B}{\partial \alpha}\right)^0} \left[\frac{Q_M^0}{\sqrt{\Delta P}} - K_B(\alpha) \right]. \quad (5.5)$$

Q_M Одержана формула не враховує випадкових змін ΔP . Використання її для корекції можливе тільки при малих відхиленнях, оскільки крива K_B , що має велику кривизну тут замінюється до точної. На практиці використовується більш простий вираз. Представимо

$$Q_M^0 = K_B(\alpha + \widehat{\Delta\alpha}) \sqrt{\Delta P}, \quad (5.6)$$

де ΔP як найкраща оцінка.

Із виразу (5.6) випливає, що

$$\Delta\alpha = K_B^{-1} \left[\frac{Q_M^0}{\sqrt{\Delta P}} \right] - \alpha. \quad (5.7)$$

Рівняння (5.7) дозволяє здійснити корекцію великих відхилень K_B . Якщо ΔP – величина стала, тобто $P = \text{const.}$ то узгодження відбувається після першого корегування діяння. Одержаний вираз (5.7) реалізується за допомогою наступного алгоритму:

Крок 1. Увести виміряні значення ΔP і α .

Крок 2. Розв'язати рівняння (5.7) для визначення $\widehat{\Delta\alpha}$.

Крок 3. Виконати відпрацювання керувального діяння $\Delta\alpha$ виконавчим механізмом.

Крок 4 . повернутися до кроку 1 і виконати алгоритм до досягнення стійкого стану $\widehat{\Delta\alpha} = 0$.

Функціональну схему реалізації алгоритму керування витратою маси високої концентрації наведено на рис. 5.2.

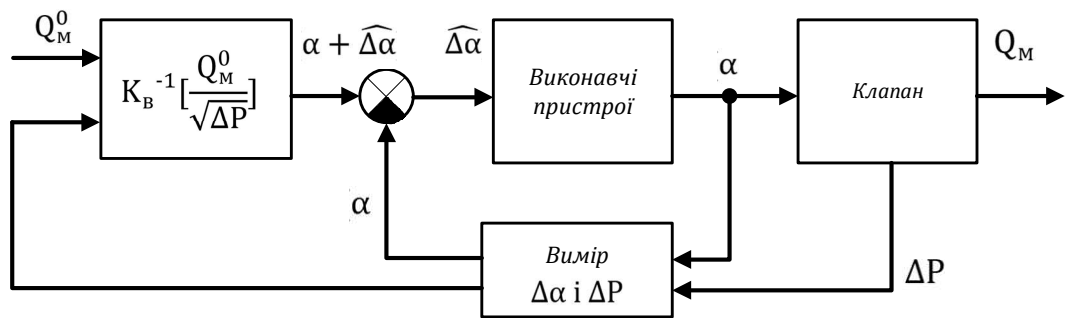


Рис. 5.2 – Функціональна схема реалізації алгоритму керування витратою маси високої концентрації

5.3 Технічне забезпечення системи автоматичного керування витратою маси високої концентрації

Технічну реалізацію системи автоматичного керування витратою маси високої концентрації (МВК) показано на рис. 5.3.

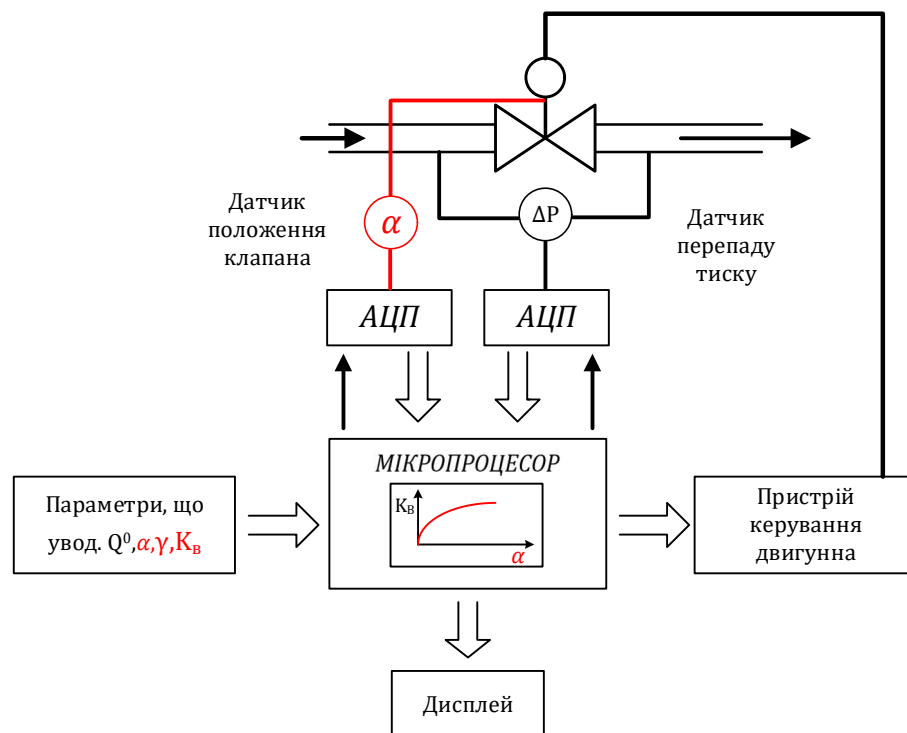


Рис. 5.3 – Технічна реалізація системи автоматичного керування витратою маси високої концентрації.

Система включає у себе вимірювальний комплекс-датчика приладу тиску і положення клапана; виконавчий пристрій – двигун, керований за допомогою тиристорного підсилювача; два АЦП, перетворюючих неперервні сигнали з виходів датчиків; мікропроцесор, формуючий керувальну послідовність; пульт

керування і дисплей; АЦП з подвійним інтегруванням, що володіє невисокою швидкістю.

Для 8-розрядного АЦП час перетворення $T_{пр}=0,5\text{мс}$, точність 0,2%. Оскільки АЦП безпосередньо керується мікропроцесором, то відпадає необхідність генераторі рахункових імпульсів. Замість нього може використовуватись тактовий генератор мікро-ЕВМ з частотою 1 МГц. По тій же причині відпадає необхідність у пристрої формування «тимчасових втрат», роль яких також виконує мікро ЕВМ.

Для вимірювання положення заслінки клапана використовується потенціометричний чи ємкісний датчик, пов'язаний з віссю заслінки клапана. Ємкісний датчик потребує великих апаратурних і обчислювальних витрат.

Вимірювання витрати маси високої концентрації базується на вимірюванні перепаду тиску на регульовальному клапані і здійснюється за допомогою диференціального манометра. У якості клапана забезпечується рівномірність потоку МВК обрано запірно-регульовальний орган з діаметром прохідного отвору 50 мм, який приводиться дію кривошипно-шатуним механізмом, пов'язаним через редуктор с асинхронним керованим електродвигуном. Керування електродвигуном здійснюється за допомогою тиристорного перетворювача. Тиристорний підсилювач дозволяє реверсувати обертання електродвигуна шляхом почергового відпирання симетричних тиристорів, встановлених у керувальній обмотці двигуна.

Центральний процесор являє собою 8-розрядний монолітний мікропроцесор, виконаний по МВП – технології на одному кристалі. Структурну схему процесора наведено на рис. 5.4.

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		94

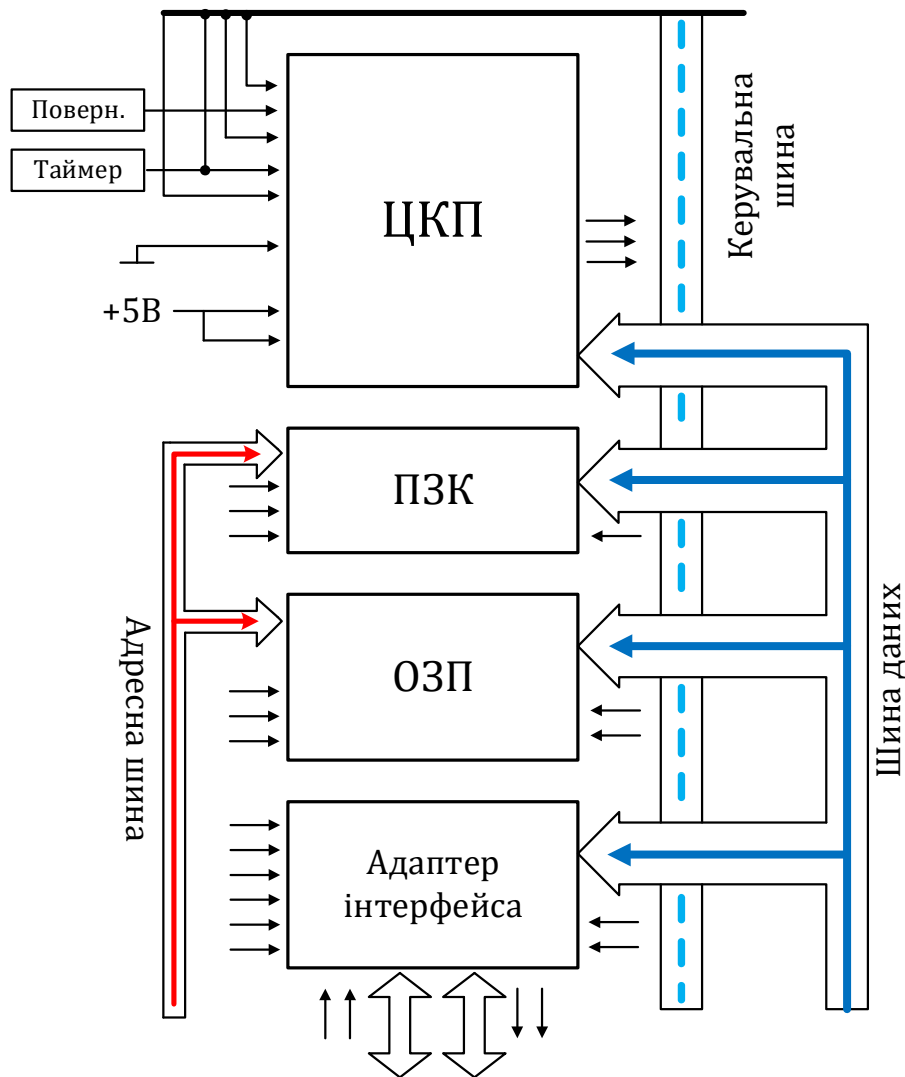


Рис. 5.4 – Структурна схема процесора.

Процесор складається із 8-розрядного АЛУ, двох 8-розрядних акумуляторів, 16-розрядного лічильника програм і 16-розрядного показника стека, індексного регістра признака результату, регістра команд зі схемою реєстрації команд і буферних пристроїв.

Комутація іншими пристроями здійснюється за допомогою адресної шини на 16 біт і 8 – бітовій шини даних. В якості керувальної мікро – ЕВМ використано Motorola 6800.

Буферні пристрої мають три стани для забезпечення різних способів доступу до пам'яті. Організація стека можлива у будь-якому місці і обмежується тільки об'ємом пам'яті. Індексний регістр використовується для зберігання даних чи 16-розрядного адреса пам'яті при адресації з індексним регістром.

Пам'ять мікро-ЕВМ складається із ЗП з довільною вибіркою ємністю 768 байт виконано по МОП-технології, що дозволяє довгий час зберігати інформацію (до декількох місяців) при використанні додаткових джерел. Цей ЗП використовується для запам'ятовування даних (кривої K_v і параметрів), а також запам'ятовування деяких екстрених програм, уведених через дисплеї; ППЗП ємністю 1Кбайт дозволяє у разі необхідності міняти програми, що використовуються.

Програма MIGBUG забезпечує зчитування даних, виведення результатів на пристрій відображення і корегування даних з пульта. Ця програма зберігається у ПЗП ємністю 1 Кбайт.

Комутація процесора і зовнішніх пристроїв (пульта, дисплеїв, АЦП і т. ін.) здійснюється за допомогою паралельного інтерфейсного перетворювача, що має два мультиплексних канали на 8 біт, один з яких використовується для звернення до пам'яті. В системі знаходиться два адаптера, призначені для комутації пульта: АЦП, ЦАП. Схему цифрової керуючої системи наведено на рис. 5.5.

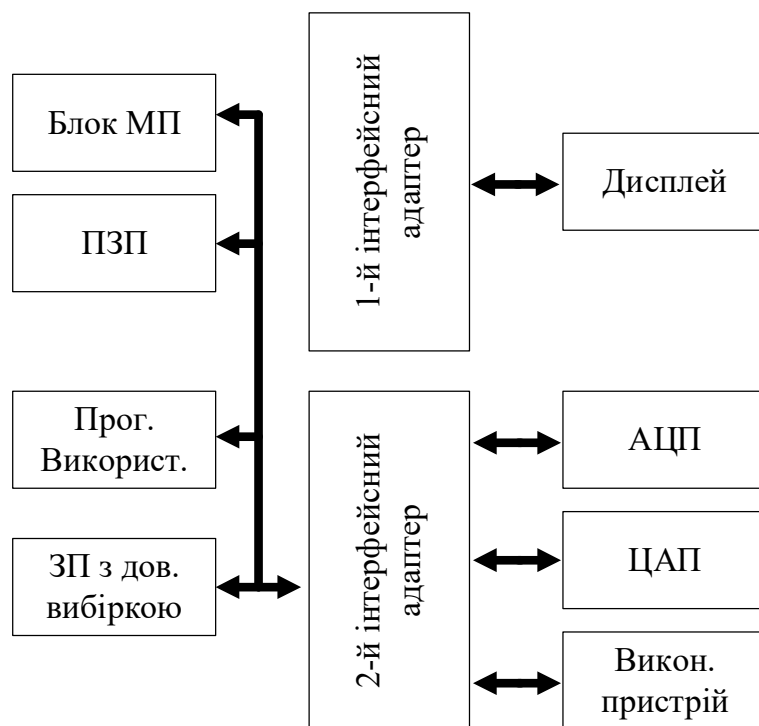


Рис. 5.5- Схема цифрової керувальної системи

Зазвичай для використання обчислювальних пристроїв у якості пульта керування використовується стандартні дисплеї або АЦПУ. Ці пристрої відрізняються великою універсальністю та широкими можливостями, які дозволяють використовувати їх під час розв'язання різноманітних за своїм характером задач. При розв'язанні однієї задачі з'являється можливість використання спеціалізованого пульта керування: так у якості такого пристрою може бути використаний персональний комп'ютер [26].

5.4 Програмне забезпечення системи автоматичного керування витратою маси високої концентрації

Набір команд мікропроцесора включає 72 команди: арифметичні, логічне оброблення і перевірка даних, переходів, оброблення переривання, маніпуляції з регістром признаку результату. Використовуються наступні способи адресації: безпосередня, пряма з індексуванням і відносна.

Для програмування алгоритму керування застосовується асемблер. Після увімкнення живлення перемикач запускає стартову програму. Вона завершує початкове встановлення системи, а потім передає керування програмі регулювання. Згодом з цією програмою передача керування здійснюється після проходження стартової програми. Робота розпочинається зі зчитування вимірюного приладу тиску. Після цього з використанням заданого значення витрати Q_M^0 обчислюється потрібне значення K_B :

$$K_B = \frac{Q_M^0}{\Delta P / \gamma} \quad (5.8)$$

Після цього визначається нове значення положення клапана. Це здійснюється таким чином. У таблиці K_B , що зберігається в ЗП, знаходяться такі значення $K_{BП}$ і $K_{BП+1}$, що $K_{BП} \leq K_B \leq K_{BП+1}$.

За допомогою лінійної апроксимації розраховується $\alpha + \widehat{\Delta\alpha}$.

$$\alpha + \widehat{\Delta\alpha} = \alpha_{П} \frac{K_B - K_{BП}}{K_{BП+1} - K_{BП}} (\alpha_{П+1} - \alpha_{П}), \quad (5.9)$$

де $K_{BП} = K_B(\alpha_{П})$.

Потім виконується зчитування дійсного положення клапана і за допомогою спеціальної програми обчислюється довжина та знак імпульсу

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		97

керування: таким чином останні два кроки керують модулятором ширини імпульсу, після чого виконується повернення до початку програми.

Заміна параметрів чи запуску сервісних програм (градування повного відкривання чи закривання клапана, перевірка параметрів) забезпечується програмою переривання. Вибір програми переривання здійснюється натисканням клавіші на панелі керування.

Програма перевірки і зміни параметрів працює наступним чином. На початку програми з пульта задається порядковий номер параметра, якщо вибраний номер параметра не відповідає цій умові, то мікропроцесор повертається у стан переривання, де він знаходиться в очікуванні нового набору програми. Спочатку на дисплеї висвічується порядковий номер параметра, а потім його значення до тих пір, до поки не з'явиться команда із однієї із клавіш:

- « = » - закінчення сервісної програми;
- « t » - перевірка наступного параметра;
- «-» -перевірка попереднього параметра;
- «x» - уведення нового параметра замість зображеного на табло.

У відповідності з новим набором програма відображує інше значення параметра, яке змінює попереднє.

Крива K_v зберігається у пам'яті мікро-ЕВМ. Вона отримується в результаті градування, що виконується з кроком $\alpha_{n+1} - \alpha_n$. Вигляд цієї кривої наведено на рис. 5.6.

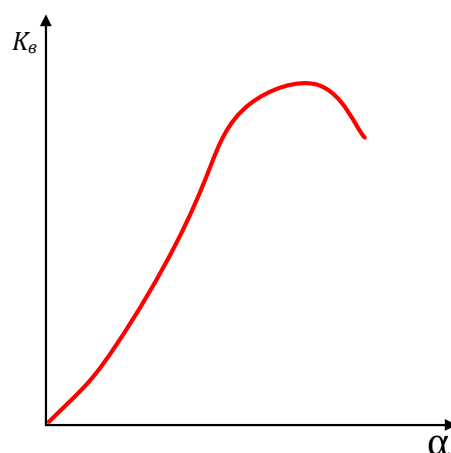


Рис. 5.6- Залежність коефіцієнта проникливості від положення заслінки клапана

Кожний тип клапанного пристрою має свою криву K_v . Позаяк ручне градування є процесом довготривалим та трудомістким, то в систему керування закладено спеціальну градувальну програму.

Програма керування положенням заслінки клапана обслуговує контур керування положенням. Здавальне значення може змінюватися від 0 до 25. За нульового значення клапан наведено закритий а при 25 – відкритий. Програма визначає похибку положення атож чого виконується корегування положенням клапана.

Під час роботи усіх перелічених програм можливе відображення будь якого із вибраних параметрів. Стан процесора і характер виконуваної програми сигналізується лампочками на передній панелі ЕВМ.

5.5 Витрати використання регулятора витрати маси високої концентрації

Мікропроцесорний регулятор витрати маси високої концентрації може працювати як автоматично, так і в замкнутому контурі керування скажімо, масою 1 м^2 паперового полотна, рис. 4.7

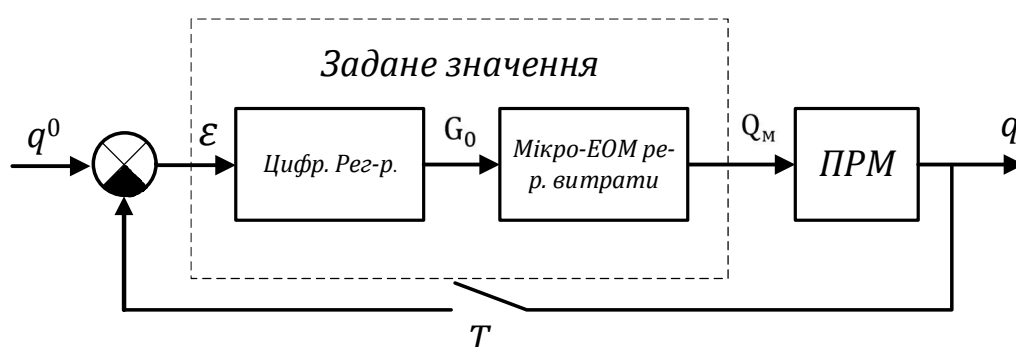


Рис. 5.7 – Система автоматичного керування масою 1 м^2 паперового полотна.

Система керування масою 1 м^2 паперового полотна складається власне з папероробної машини (об'єкт керування), де керованою змінною системи є маса 1 м^2 паперового полотна q , вимірюваної на накаті. Керувати цим параметром можна шляхом витрати маси високої концентрації з обіговою водою. Регулятор витрати маси високої концентрації Q_m , що подається до змішувача маси високої концентрації з обіговою водою. Регулятор витрати маси високої концентрації реалізується на мікро-ЕВМ здавальне діяння G_m^0 якому подається від цифрового регулятора маси 1 м^2 паперового полотна.

6 Керування папероробною машиною за допомогою базового комплексу технічних засобів «Компас» 3.

6.1 Опис технологічного процесу виробництва паперу

Принципову схему технологічного процесу наведено на рис 6.1.

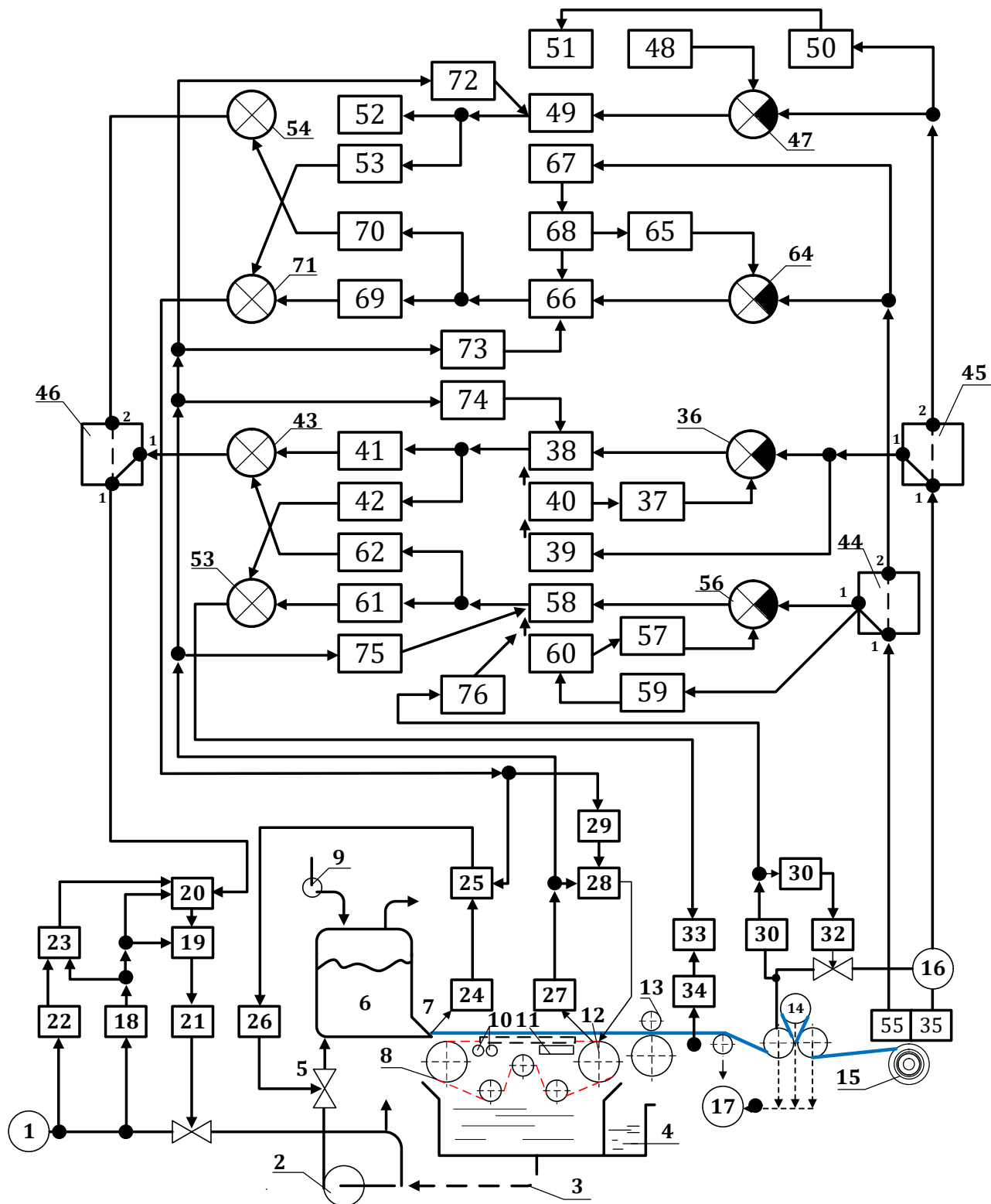


Рис.6.1 – Мікропроцесорна система керування папероробною машиною

ЗМН	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ

Маса високої концентрації по трубопроводу 1 подається до змішувального насоса 2, куди по трубопроводу 3 подається також обігова із збирача реєстрових вод 4. Маса низької концентрації по трубопроводу 5 подається до напірного ящика з повітряною подушкою 6, а вже з нього крізь випускальну щілину 7 витікає на сітку машини 8, де формується паперове полотно. Для створення відповідного сумарного напору маси у напірний ящик подається повітря від компресора 9. Під дією роботи реєстрових валиків 10 і відсмоктуючих ящиків 11, а також відсмоктуючої камери гауч-вала 12 іде зневоднення паперового полотна. Після цього полотно зневоднюється у пресовій 13 та сушильній 14 частинах папероробної машини, а потім поступає на накат 15. Для сушіння паперового полотна використовується пара, яка подається по головному паропроводу 16, конденсат відводиться по трубопроводу 17.

6.2 Побудова ієрархічної системи керування папероробною машиною

У відповідності з розробленою у розділі 1 тривірневої ієрархічної АСКТП виробництва паперу (рис. 1.4) у даній системі використовується три рівні.

На рівні стабілізації здійснюється стабілізація основних змінних за допомогою наступних САП: витрати абсолютно сухого волокна, що подається до змішувального насоса; сумарного напору маси; швидкості ПРМ й тиску пари у головному паропроводі САП витрати абсолютно сухого волокна складається із датчика витрати маси високої концентрації 18, регулятора витрати маси 19 з задатчиком 20, викривачного пристрою (ВП) 21, датчика концентрації маси 22 і компенсуючого пристрою по концентрації маси 23. До складу САП сумарного напору маси входить датчик сумарного напору 24. Регулятор сумарного напору 25 і ВП 26. САП швидкості ПРМ складається із датчика швидкості 27, регулятора швидкості 28 з задатчиком 29, керувальне діяння якого подається на привод гауч – вала 12. САП тиску пари у головному паропроводі складається із датчика тиску пари 30, регулятора тиску пари 31, ВП 32, задатчика 33 і компенсуючого пристрою збурювальних діянь від вологості паперового полотна

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		101

у мокрій частині машини 34. В якості дискретних регуляторів було обрано дискретний регулятор Даліна типу III. Передбачена можливість цифрового і супервізорного керування без перекомпановки програмного забезпечення (ПЗ). Як видно із наведеної схеми, в окремих САР передбачено компенсацію збурювальних діянь – концентрації маси і вологості паперового полотна у мокрій частині машини. Масштабування коефіцієнтів по концентрації маси адаптується на підставі результатів лабораторних аналізів. Якість керування сумарним напором маси може здійснюватися і за допомогою аналогової САР сумарним напором маси, однак задавальне діяння такі системі поступає від рівня координації.

На рівні координації здійснюється автономне керування масою 1 м^2 і вологістю паперового полотна за допомогою відповідних САК. САК масою 1 м кв. паперового полотна з дією на задатчик витрати маси високої концентрації. Перша із вказаних САП складається із датчика маси 1 м^2 паперового полотна 35, елемента порівняння 36 поточного значення маси 1 м^2 паперового полотна 37, регулятора маси 1 м^2 паперового полотна 38, блок 39 розрахунку середньоквадратичного відхилення (СКВ) маси 1 м^2 паперового полотна від її середнього значення, а також розрахунку авто-і взаємно кореляційної функції (АКФ і ВКФ), блока 40 розрахунку завдання регулятору маси 1 м^2 паперового полотна, компенсаторів взаємозв'язків 41 і 42, що забезпечують незмінність вологості паперового полотна під час придушення САР маси 1 м^2 паперового полотна збурювальних діянь і суматора 48. Для забезпечення роботи даної САР потрібно, щоб перемикачі режимів роботи 44, 45 і 48 були у положенні 1-1. У такому випадку керувальне діяння від регулятора маси 1 м кв паперового полотна 38 подається на задатчик регулятора витрати маси 20.

Друга із вказаних САР складається із датчика маси 1 м^2 паперового полотна 35 елемента порівняння 47 поточного значення маси 1 м^2 паперового полотна з його заданим значенням, що надходить від задатчика маси 1 м^2 паперового полотна 48, регулятора маси 1 м^2 паперового полотна 49, блока 50 розрахунку СКВ маси 1 м^2 полотна паперу від його середнього значення, а також

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		102

розрахунку АКФ і ВКФ, блока 51 розрахунку завдання регулятора маси 1м² паперового полотна, компенсаторів взаємозв'язків 52 і 53, які забезпечують незмінність вологості полотна паперу під час роботи САР тиску пари на САР маси 1м² паперового полотна і суматора 54. Для забезпечення роботи даної САР необхідно, щоб перемикачі режимів роботи 44, 45 і 46 були у положенні 1-2. Отже, керувальне діяння регулятора маси 1м² полотна паперу 49 подається на задатчик 20 витрата маси високої концентрації.

САК вологістю паперового полотна складається із двох САР: САР вологістю полотна паперу, яке діє на задатчик регулятора тиску пари і САР вологістю полотна паперу, яка діє на задатчик регулятора сумарного паперу маси і задатчик регулятора швидкості ПРМ.

Перша із вказаних автоматичних систем складається із датчика вологості паперового полотна 55, елемента порівняння 56 поточного значення вологості полотна з її заданим значенням, яке подається від задатчика вологості паперового полотна паперу 58, блока 59 розрахунку СКВ вологості полотна паперу від її середнього значення, а також розрахунку АКФ і ВКФ, блока 69 розрахунку завдання регулятора вологості паперового полотна, компенсаторів взаємозв'язків 61 і 62, які забезпечують незмінність маси 1 м кв паперового полотна під час придушень САР вологістю паперового полотна збурювальних діянь, суматора 63. Для забезпечення роботи даної САР необхідно перемикач режимів роботи 44, 45 і 46 встановлювати у положення 1-1. Тоді керувальне діяння регулятора вологості паперового полотна 58 подається на задатчик 33 регулятора тиску пари 31.

Друга із вказаних САП складається із датчика вологості паперового полотна 55, елемента порівняння 64, який порівнює поточне значення вологості паперу з її заданим значенням, яке подається від задатчика вологості паперового полотна 65, регулятора вологості паперового полотна 66, блока 67 розрахунку СКВ вологості полотна від її середнього значення, а так же розрахунку ЛКФ і ВКФ, блока 68 розрахунку завдання регулятора вологості паперового полотна, компенсаторів взаємозв'язків 69 і 70 які забезпечують незмінність маси 1 м кв

					<i>ДП ЛАП81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		103

паперового полотна і суматора 71. Для забезпечення роботи даної САР необхідно, щоб перемикачі режимів роботи 44 і 45 були у положенні 1-2. У такому випадку керувальне діяння від регулятора вологості паперового полотна 66 подається у задатчик 29 регулятора швидкості ПРМ 28 і у задатчик регулятора сумарного напору маси 25.

Наявність двох САК викликано наступними причинами. В нормальних експлуатаційних умовах роботи ПРМ, маси є ще запас по продуктивності ПРМ, працюють системи, які формують керувальні діяння на задатчик систем витрати маси високої концентрації і тиску пари у головному паропроводі. При досягненні ПРМ максимальної продуктивності по витраті пари, вказані автоматичні системи формують керувальні діяння, направлені на корегування завдань регуляторам витрати маси високої концентрації, сумарного напору маси та швидкості ПРМ.

Автономне керування масою 1 м^2 і вологістю паперового полотна дозволяє ліквідувати негативний вплив САР маси 1 м^2 паперового полотна на САР вологістю паперу, і навпаки а поєднанні з компенсацією такого збурювального діяння як коливання концентрації маси – значно підвищувати якість стабілізації даних змін.

На рівні оптимізації формується завдання САК масою 1 м^2 і вологістю паперового полотна на САК швидкості ПРМ. Оскільки характеристики клапанів керування можуть значно змінюватися у зв'язку зі зміною швидкості папероробної машини і тиску пари, то це призводить до зміщення системи керування з оптимально налаштованих параметрів, то з цією метою виконується адаптація параметрів системи керування. Для цього сигнал про зміну швидкості ПРМ від датчика швидкості ПРМ 27 надходить одночасно у блоки 72, 73, 74 і 75, які називають блоками адаптації параметрів моделей окремих частин ПРМ і регуляторів у разі зміни швидкості ПРМ. Окрім цього цей сигнал від датчика тиску пари 30 поступає у блок 76, який ще називають блоком адаптації параметрів моделі папероробної машини по вологості полотна паперу у разі зміни значення тиску пари.

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		104

Задане значення САК масою 1м^2 і вологістю паперового полотна визначається згідно з виразом [16]

$$x_K^0 = x_K + x^P - x^e - 2\sigma, \quad (6.1)$$

де x_K^0 - задане значення маси 1м^2 (вологості) паперового полотна у вибраній К-й точці по ширині паперового полотна; x^P - регламентна точка (нижня для маси 1м^2 полотна паперу і верхня для вологості полотна паперу); x^e - екстремальне значення по профілю паперового полотна (мінімальне значення маси 1м^2 паперового полотна і максимальне значення його вологості); σ - розрахункове середньоквадратичне відхилення маси 1м^2 (вологості) паперового полотна від їхніх середніх значень.

Реалізація значимості (6.1) здійснюється у блоках 39, 40, 50, 51, 59, 60, 67, 68. Для ідентифікації клапанів керування використовується спеціальна програма, яка ґрунтується на використанні кореляційних методів ідентифікації [19]. З цією метою на вхід каналів керування подається псевдовипадкова послідовність максимальної довжини і по результатам виміряного вхідного і вихідного сигналів цього клапану визначаються взаємні кореляційні функції (ВКФ) в блоках 39, 50, 59 і 67. За допомогою спеціальних методів оцінюються параметри моделей заданої, а отже, й відповідні оптимальні налаштування регуляторів.

Застосування мікропроцесорної системи керування папероробною машиною на базі комплексу технічних засобів «Компас-3» дозволяє мінімізувати середньо-квадратичне відхилення маси 1м^2 і вологості паперового полотна від їхніх значень і підтримувати їхні задані значення на оптимальному рівні. А це в свою чергу дозволяє зменшити кількість обривів паперового полотна за рахунок більш якісної стабілізації оптимального співвідношення швидкості витікання маси із напірного ящика до швидкості сітки. Все це призводить до економії волокнистої сировини, пари і електроенергії і як наслідок цього – підвищення продуктивності папероробної машини.

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		105

7 Охорона праці

У Законі України «Про охорону праці» визначено, що охорона праці – це система законодавчих актів соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і коштів, що забезпечують працездатність і безпеку збереження здоров'я людини в процесі праці.

Відповідно до теми дипломного проекту «Автоматизація виробництва паперу на універсальній тихохідній папероробній машині»

Оператор знаходиться в приміщенні, яке містить одне робоче місце та має розміри: загальна площа – 11 м² та об'єм – 32 м³, що відповідає нормам Державному нормативному акту про охорону праці (ДНАОП), НПАОП 0.00-7.15-18

Туалетний папір виробляють на ПрАТ «Київський картонно-паперовий комбінат» згідно з ДСТУ 8862:2019 і ТОВ «Папір» м. Малин, Житомирська обл.

На робочому місці оператора наявні наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

- повітря робочої зони;
- електробезпека;
- шум та вібрації;
- пожежна безпека та вибухозахист.

7.1. Повітря робочої зони

У виробництві використовується сировина й матеріали, які мають токсичні властивості.

Одним із видів сировини, яка використовується для приготування розчину мелаїно-формальдегідної смоли, є соляна кислота. Туман хлористого водню руйнує верхні дихальні шляхи, слизисті оболонки осей, викликає катар верхніх дихальних шляхів і помутніння роговиці очей. На шкірі виникають хімічні опіки, тому трубопровід соляної кислоти мусить мати розпізнавальне

					ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		106

фарбування-жовтогарячі кольори. Трубопровід піддають систематичному огляду й ремонту не рідше, ніж один раз на рік.

Іншим компонентом розчину є меламіно-формальдегідна смола № 76. При переробці смоли виділяється вільний формальдегід.

Формальдегід – це газ, який робить сильний токсичний вплив на центральну нервову систему; відноситься до протиплазматичних отрут; здатний викликати гострі й хронічні отруєння. Згідно з ГОСТ 12.1.005-88 «Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони» меламіно-формальдегідна смола відноситься до другого класу небезпеки (вибухонебезпечні речовини).

У разі справності технологічного устаткування й ведення технологічного процесу виробництва паперу відповідно до регламенту, виділення пари хлористого водню у повітря робочої зони не відбувається, а вміст у ньому вільного формальдегіду не перевищує 0,05 мг/м³.

Під час приготування розчину меламіно-формальдегідної смоли клеєвар перевіряє технічний стан і справність трубопроводів, дозатора, запірної арматури, запобіжного клапана, манометра. Для забезпечення безпеки працівника застосовуються наступні засоби індивідуального захисту:

- протигази марки А і БКФ;
- гумовий фартух;
- гумові рукавички;
- чоботи;
- захисті окуляри.

Крім цього, на робочому місці працівника знаходяться нейтралізатори соляної кислоти (12% розчин соди) та кран питної води.

Операції по доливанню й зливу соляної кислоти, дроблення смоли й злив розчину меламіно-формальдегідної смоли клеєвар виконує у захисних окулярах, фартуху й гумових рукавичках. У випадку виділення формальдегіду з реактора клеєвар застосовує протигази марки А.

Для надання тарному паперу потрібних кольорів готується барвна суспензія. До складу суспензії входить червоний залізо-окисний пігмент і

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		107

двоокис титану. Пил залізо-окисного пігменту проникає в організм людини через органи дихання, і накопичуючись при тривалому вдиханні, може викликати захворювання легенів ПДК – мг/м³.

Окис титану відносно малотоксичний. Накопичуючись у тканинах легенів може викликати доброякісні пневмокосиози ПДК – 10 мг/м³.

Вміст пилу червоного залізо-окисного пігменту й двоокису титану в повітрі виробничого приміщення не перевищує 0,6 мг/м³ і 0,9 мг/м³ відповідно. Згідно з ДСТУ ГОСТ 12.4.041:2006 залізо-окисний пігмент і двоокис титану відносяться до третього класу небезпеки (Помірно небезпечні речовини). Для недопущення скупчення пилу у виробничому приміщенні позмінно проводиться вологе прибирання. Для забезпечення безпеки робіт з приготування суспензії пігментів може застосовуватись протипиловий респіратор «ШБ-1» й «Пелюсток 200» і захисні окуляри 321040 згідно з ДСТУ EN 166:2017

Роботи оператора з виробництва паперу прирівнюються до легких фізичних робіт (категорія 1а). Згідно з ДСН 3.3.6.042-99 до категорії 1а належать роботи, що виконуються сидячи і не потребують фізичної напруги. Легкі фізичні роботи (категорія 1а) охоплюють види діяльності, при яких витрата енергії становить 105 - 140 Вт (90 - 120 ккал / год.).

Таблиця 1. Фактичні параметри мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Легка- 1 а	22-24	40-60	Не більше 0,1
Теплий	Легка- 1 а	23-25	40-60	Не більше 0,1

Відповідно до ДСН 3.3.6.042-99

7.2. Електробезпека

У залі папероробної машини й розмельно-підгрунтувальному відділі присутні наступні ознаки приміщень із підвищеною небезпекою (згідно ПУЕ)

- наявність у сушильній частині папероробної машини повітря з температурою (40-45)⁰С;
- наявність у мокрій частині папероробної машини стовідсоткової вологості повітря;
- наявність у виробничому процесі соляної кислоти.

На фабриці паперів застосовується мережа з ізольованою нейтраллю. Частота струму в електричній мережі фабрики становить 50 Гц, а напруга 380В.

Причинами враження електричним струмом можуть бути:

- технічні дефекти в електроустановках;
- старіння ізоляції;
- недостатнє навчання персоналу;
- порушення допуску до ремонту електроустаткування або електромереж;
- помилкове увімкнення електроустановок;
- коротке замикання;
- електрична дуга.

На фабриці паперів застосовуються наступні заходи щодо забезпечення електробезпеки:

а) у робочому режимі:

- блокування безпеки (механічні пристрої, защіпки, блок-контакти, електричне блокування), що застосовується на струмоведучих частинах устаткування;
- електричний розподіл мереж з високою й низькою напругою за допомогою роздільних трансформаторів;
- ізоляція струмоведучих частин устаткування (огороджувальні пристрої: суцільні та сітчасті; розташування струмоведучих частин на недосяжній висоті);

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		109

- захисні заходи (основні: діелектричні рукавички, калоші, інструменти з ізолюваними ручками; додаткові: ізолюючі килимки, підставки). Захисні засоби перебувають під час роботи в робітника або на його робочому місці.

б) в аварійному режимі:

- захисне заземлення за схемою: мережа з Ізолюваною нейтралю.

До обслуговування електрообладнання допускаються особи, що склали кваліфікаційній комісії іспит з ПУЕ електроустановок будь-якого типу, а також пройшли відповідний інструктаж на робочому місці.

Під час роботи лінії забороняється виконувати ремонт, накладку та змащування частин, що рухаються, доторкатись до гарячих та рухомих частин, працювати при відкритих щитках та огороженнях.

В випадку якої-небудь небезпеки або поміченої несправності необхідно негайно зупинити установку натисканням аварійної кнопки «СТОП» та повідомити про це майстра.

В аварійному режимі використовується пристрій занулення і захисне автоматичне відключення, відповідно до ДСТУ 7237:2011.

7.3. Шум та вібрації

Джерелами шуму є трубопроводи подачі паперової маси, пари і води на машину; сушильна і ветиляційна частини машини і особливо вакуумні насоси.

Рівень шуму від систем кондиціонування та насосів становить $L=90-100$ дБА.

Наближено дію шуму різних рівнів можна охарактеризувати наступним чином. Шум до 50 дБА зазвичай не чинить шкідливого впливу на людину в процесі її трудової діяльності. Шум у 50-60 дБА може мати психологічний вплив, що виявляється у погіршенні розумової діяльності, послабленні уваги, швидкості реакції, утрудненні роботи з масивами інформації тощо. При рівні шуму 65-90 дБА можливий його фізіологічний вплив: пульс пришвидшується, тиск крові зростає, судини звужуються, що погіршує постачання органів кров'ю. дія шуму з рівнем 90 дБА і вище може призвести до функціональних

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		110

порушень в органах та системах організму людини: знижується слухова чутливість, погіршується діяльність шлунку та кишківника, з'являється відчуття нудоти, головний біль, шум у вухах. При рівні шуму 120 дБА та вище здійснюється механічний вплив на орган слуху, що виявляється у порушенні зв'язків між окремими ділянками внутрішнього вуха; можливий навіть розрив барабанної перетинки. Такі високі рівні шуму впливають не лише на органи слуху, а й на весь організм. Звукові хвилі, проникають крізь шкіру, спричинюють механічні коливання тканини організму, внаслідок чого відбувається руйнування нервових клітин, розриви дрібних судин тощо.

Знизити шум електричних машин можна:

- усуненням невірноваженості ротора, регулюванням підшипникових вузлів і щиткових контактів (для зменшення механічного шуму і вібрацій);

- акустичною оптимізацією вентиляторів охолодження (наприклад, збільшенням зазорів, зменшенням діаметра гвинта й колової швидкості), зменшенням витрат охолоджуваного повітря і, нарешті, вирішенням проблеми охолодження без використання вентиляторів, завдяки чому знижується аеродинамічний шум;

- усуненням асиметрій у магнітопроводах і обмотках, ослабленням інтенсивності перемінних радіальних магнітних сил низького порядку (для зменшення магнітного шуму і вібрацій).

Фактичний рівень 55 дБА відповідно до ДСН 3.3.6.037-99.

У випадку неможливості забезпечення колективного захисту робітників від впливу розглянутих факторів наведеними методами застосовуються засоби індивідуального захисту.

Засобами індивідуального захисту від шуму є протишумні шоломи, навушники і вкладиші. В умовах паперового виробництва рекомендовані наступні типи засобів індивідуального захисту:

- протишумні шоломи ШШЗ-65, ШШЛ-65, шолом – каска ВЦННІОТ-2М;

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		111

- протишумні навушники ВЦНПІОТ-2;
- протишумні вкладиші ФПОШ «Беруши».

Застосування вкладишів допустимо при рівнях звуку не вище 100 дБА, навушників – 110 дБА, шоломів – 120 дБА.

При рівнях шуму вище 120 дБА, коли потрібен тотальний захист тіла людини, рекомендується одягати, крім шоломів, шумозахисний комбінезон, пояс і черевики.

7.4. Пожежна безпека та вибухозахист

Серед речовин і матеріалів, які застосовуються у технологічному процесі виробництва паперу найнебезпечнішим, з погляду пожежної небезпеки, є меламіно - формальдегідна смола і каніфоль.

Меламіно-формальдегідна смола сама по собі важкогорюча речовина, але при її переробці виділяється вільний формальдегід – горючий вибухонебезпечний газ. Вільний формальдегід має нижню межу запалення по об'єму – 7%; верхня межа запалення по об'єму-13%; нижня межа вибуху в суміші за повітрям – 85 г/м³. При нормальному веденні технологічного процесу відповідно до норм технологічного регламенту, вміст вільного формальдегіду в повітрі робочої зони не перевищує 0,01% по об'єму.

Каніфоль схильна до теплового й енергетичного загоряння; має нижню межу займистості – 12,6 г/м³. При дотриманні норм технологічного регламенту вміст каніфолі в повітрі робочої зони не перевищує 2 г/м³.

Крім того у процесі виробництва паперу утворюється велика кількість паперового пилу. Паперовий пил горюча, порошкоподібна речовина, має нижню межу вибуховості в суміші з повітрям 30,2г/м³. Вміст пилу в повітрі робочої зони не перевищує 6г/м³.

Відповідно до класифікації виробництв по ДСТУ Б В.1.1-36:2016, зала папероробної машини відноситься до категорії В.

Причиною пожеж може бути:

- струми перевантаження;

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		112

- великі перехідні опори;
- коротке замикання в електромережі;
- відкритий вогонь;
- зварювальні роботи.

З метою забезпечення пожежної безпеки на фабриці паперів застосовуються наступні заходи:

- кожна зміну пиლოსосом проводиться видалення паперового пилю;
- створюються спеціальні місця для паління; паління поза спеціально відведеними місцями заборонено;

- у залі папероробної машини й розмельно - підготувального відділу мають бути в достатній кількості засоби пожежогасіння (вогнегасники, багри, гаки, лопати, пісок);

- проводиться контроль і регулювання температури в реакторі з розчином маламіно-формальдегідної смоли з метою недопущення нагрівання його до температури вище 40⁰;

- проводиться контроль і сигналізація перевищення вмісту формальдегіду у повітрі робочої зони за допомогою промислового газоаналізатора;

- передбачено автоматичну систему пожежогасіння, яка містить у собі наступне:

- а) запуск пожежних насосів;
- б) передачу сигналу про пожежне депо паперової фабрики;
- в) відключення системи вентиляції папероробної машини;
- передбачено сигналізацію, яка містить у собі:

- а) сповісники комбіновані;
- б) приймальну станцію «СДПУ»

Шляхи евакуації згідно з СНІП 2.09.02-95 рис. 7.1

- два запасних виходи;
- максимальна відстань до виходу – 50 м;
- ширина дверей – 1 м;

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		113

- ширина коридорів – 1,6 м.

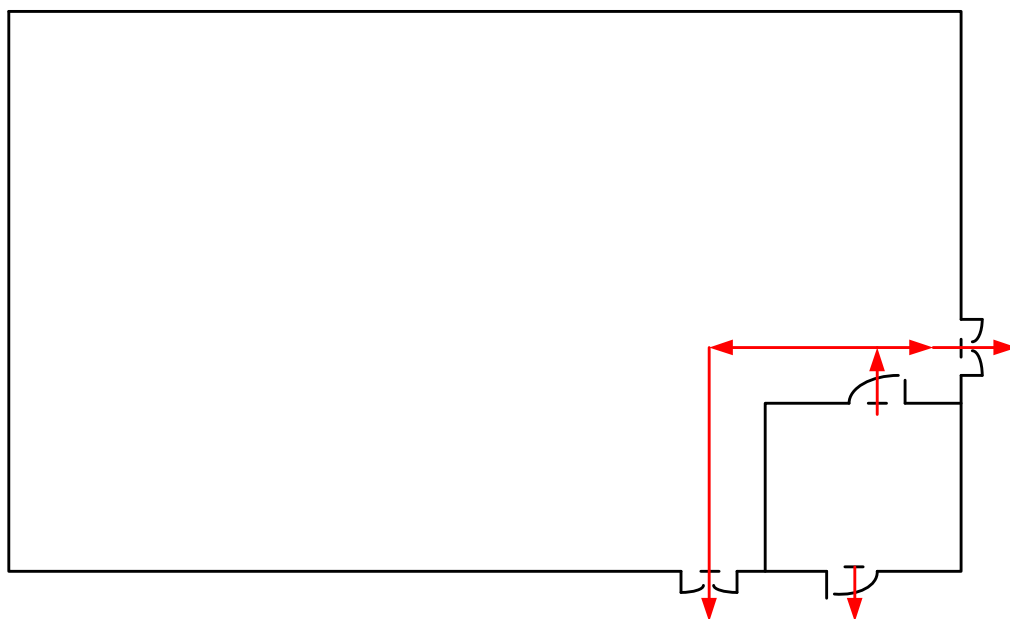


Рис. 7.1 План евакуації з операторської

Пожежні сповісвачі полум'я (ИП, ИП-П, ИП-ПБ) дозволяють швидко виявити джерело відкритого полум'я. Чутливий фотоелемент сповісника реєструє випромінювання полум'я в ультрафіолетовій чи інфрачервоній частинах спектра. Комбіновані сповісники ИПК-1, ИПК-2, ИПК-3 контролюють відразу два чинники, що супроводжують пожежу: дим та температуру.

Пожежні сповісники характеризуються: порогом спрацювання – найменшим значенням параметра, на який вони реагують; інерційністю – часом від початку дії чинника, що контролюється, до моменту спрацювання; завищеною площею - площею підлоги, яку контролює один сповісник.

Висновки

Ефективність використання технологічного обладнання у целюлозно-паперовому виробництві і забезпечення надійності його роботи у значній степені залежить від апаратури керування і регулювання технологічними процесами цього виробництва.

Досягнення вітчизняної електроніки дозволить створювати для целюлозно-паперового виробництва нове покоління апаратури керування, регулювання захисту та діагностики на базі використання мікропроцесорів та мікро ЕВМ. Обладнання у багато у багатofункціональні комплекси засобів контролю і керування ця апаратура може уписуватися в автоматизовану систему керування технологічними процесами (АСК ТП), наприклад, виробництва паперу, целюлози і т.ін.

Мікропроцесорна техніка збільшує точність апаратури, дозволяє стабілізувати її характеристики, і значно розширити функції, які вона має виконувати.

Використання мікропроцесорної техніки для керування папероробною машиною, дозволяє спростити і задачу підвищення надійності всієї багаторівневої ієрархічної системи керування цим складним об'єктом керування за рахунок такої організації взаємодії пристроїв різних рівнів ієрархії, коли, скажімо, вихід із строю керувальної обчислювальної техніки більш високого рівня не призводить до неправильної роботи пов'язаною з нею пристроїв, розміщених на нижчих рівнях. Це означає, що кожна підсистема (підсистема керування системою подачі маси на сітку машини, підсистема керування сушильною частиною машини і т.ін.) повинна працювати автономно, а епізодично контролювати, що надходять від рівня координації та рівня оптимізації лише керувати алгоритми їхнього функціонування.

Сучасні мікро ЕВМ дозволяють організувати всебічний і безперервний контроль роботи як самого процесора, так і з'єднаних з ним блоків і пристроїв, а також захист від невірних дій апаратури та оператора – технолога.

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		115

Суттєвою особливістю розробки комплектів засобів контролю і керування на базі мікро ЕВМ є те, що основні затрати праці надають не на апаратне, а на програмне забезпечення, яке повинно будуватися по модульному принципу.

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		116

Перелік посилань

1. А. С. №360426 СССР, М. К. D21f1/02. Напорный ящик закрытого типа/ А. С. Шамсон и Н. С. Пиргач (СССР).- заявл. 28.10.1971. Оpubл. 28.11.1972. Бюллетень № 36
2. А.С. № 494482 СССР, М.К. D21f1/02. Система автоматического управления напорным ящиком закрытого типа (Н.С. Пиргач (СССР) – заявл. 21.05.1974. Оpubл. 05.12.1976. Бюллетень № 45.
3. А.С. № 573523 СССР, М. К. D21 F1/02/ Система автоматического управления напорным ящиком закрытого типа /Н.С. Пиргач (СССР). – заявл. 12.09.1975. Оpubл. 25.09.1977. Бюлетень № 35
4. А.С. № 706478 СССР, М. К. D21 F1/02. Система автоматического управления напорным ящиком с переменным объемом воздушной подушки Н. С. Пирсач (СССР). – заявка 03.10.1975. Оpubл. 30.12.1979. Бюлетень № 48
5. Эйдлин И.Я. бумагоделатексные и отдельные машины. 3-е изд., перераб. И доп. – М.: Лесн. Промышленность. – 1970-624с. – Библиогр. : 235-300 пр. ISBAN 5-7762-9025-7
6. Жученко А. І. Математичні моделі цифрових систем керування (Текст): навч. Посіб. А.І. Жученко К. : ІЗМН, 1997-240 с. – Библиогр.: С. 235 – 300 пр. ISBAN 5-7762-9025-7
7. Жученко А. І. Автоматичне керування напірними ящиками паперо – і картокоробних машин (текст): монографія / А. І. Журенко, М. С. Піргач, М. З. Кваско К.: Бізнес Медіа Консалтинг, 2014. Бібліогр.: С. 215-200пр. ISBAN 978-966-2425-5.
8. Жученко А. І. Аналітичне конструювання дискретних регуляторів (текст): монографія / А. І. Жученко, Л. Р. Ладієва, М. С. Пірсач – К. : Афар Медіа Груп, 2014 268с. Бібліогр.: С. 262-200 ар. ISBAN 978-617-646-275.
9. Иванов С. Н. Технология бумаги. М. : Лесн. Пром-сть. – 1970 – 412 с.
10. Квакернак Х., Сиваш Р. Линейные оптимальные системы управления. – М. : «Мир», 1977. – 560 с. Библиогр.: с. 628-637.

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		117

11. Пиргач Н. С. Структурный анализ автоматических систем управления процессом напуска массы / Бумажная промышленность, 1973 № 3 С. 13-15

12. Пиргач Нс. Напускная камера напорного ящика открытого типа как объект управления : Сб. науч. Тр.-К.: Укрнииб.-М.: Лесн. пром – сть – 1968. – Вып. 11 С. 114-133.

13. Пиргач Н. С. Математическая модель системы напуска массы тихоходной бумагоделательной машины: Сб.науч. тр. Укрнииб. – М.: Лесн. Пром-сть – 1975. Вып. 18- с. 205-213.

14. Пиргач Н. С. Автоматизация напорных ящиков бумага и картоноделательных машин. – М. : ВНИПИЭИ леспром, 1978-24 с.

15. Пиргач Н. С., Казаник П. А. Бумагоделательная машина как объект управления массой 1 м^2 и влажностью бумажного полотна //Экспресс-информ Целлюлоза, бумага и картон. – М.: ВНИПИЭИ леспром, 1979-Вып. 13 – С. 7-9.

16. Пергач Н. С., Скоцилас И.П. Микропроцесоры в картонно-бумажном производстве. – М.: ВНИПИЭК леспром, 1986-44 с.

17. Пузырев В. А. Управление технологическими процессами производства микрорелектронных приборов. – М. : Радио и связь, 1984, - 160 с. (Б-ка технолога радиоэлектронной аппаратуры).

18. Рей У. Методы управления технологическими процесами. М. : «Мир» 1983 – 368 с. Библиогр.: С 36%-9500 экз.

19. Справочник по автоматизации целлюлозно-бумажных предрприятий / Э. В. Цешковсий, Н. С. Пиргач, Г. Д. Ерашкин и др. – 3-е изд. Перераб. И доп. - М.: Леспром, 1989-362 с. Библиогр.: С. 33;С.73; С.118; С. 197-198; С. 303-304; С. 258. 2800экз.

20. Сергієнко В.В. Обладнання целюлозно – паперових підприємств України // Лісовий журнал, 1991, № 2 – С. 24-25.

21. Фесенко Е. П., Ладыжемский М. М. Специальные средства измерений для бумагоделательных машин. – М.: Леспром, 1984-284с. Библиогр.:с. 180-182-1800экз.

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		118

22. Шкарин С. А. Технология Производства бумаги для печати – М. : Леспром, 1966-286 с.

23. Шкарин С. А., Переликина А. И. Производство газетной бумаги на быстроходных машинах. – М.: Леспром, 1964-173 с.- Библиогр.: с. 135-137-1000 экз.

24. Шамсон А.С. Пиргач Автоматизация напорных ящиков быстроходных бумагоделательных машин. М. : Леспром, 1965-104 с.

25. Lebeav B. Commande par calculateur numerique d'une unite pilote de fabrication de papier – These Docteuringenieur – Grenoble 1971-p253.

26. Kortela V. LabrenilleA., Gourdin A. Microprocessor based flow controller – Helsinki University of technology. Control Engineering Laboratory, 1977,№11,p.60.

					<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	Арк.
<i>ЭМН</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпис</i>	<i>Дата</i>		119

Додаток А. КОМП'ЮТЕРНИЙ РОЗРАХУНОК ДИНАМІКИ СИСТЕМ З ЛІНІЙНИМИ АНАЛОГОВИМИ РЕГУЛЯТОРАМИ

Для визначення оптимального налаштування системи керування за різними критеріями якості бажано мати можливість безпосередньої оцінки якості за перехідною характеристикою системи, яка може бути представлена у вигляді масиву M_y її ординат або у формі графіка.

Розглянемо алгоритм формування цього масиву.

Масив M_y будемо відносити до типу *CoefL*, де

type CoefL=array[-1.601] of real;

Інформація про ординати h_s ($0 \leq s \leq L$) перехідної характеристики системи в цьому масиві виглядає так:

-1	0	1	2	3		L	L+1
L	h_0	h_1	h_2	h_3	...	h_L	Dt

Нехай маємо систему автоматичного керування [1], структурну схему яко представлено на рис. 1:

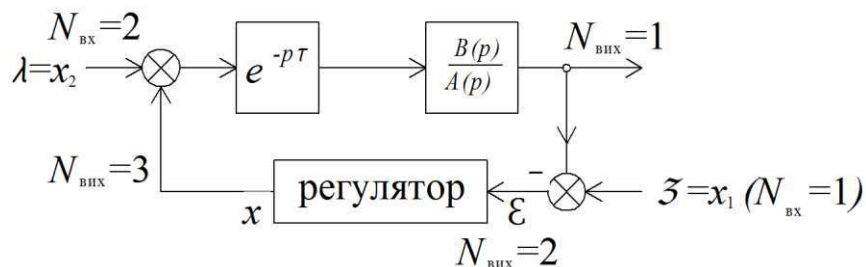


Рис. 1. Схема системи автоматичного керування з аналоговим регулятором

Отже, маємо два можливих входи (одночасно реалізується один з них), а саме: x_1 ($N_{вх} = 1$) - завдання регулятору або x_2 ($N_{вх} = 2$) - зовнішнє збурення, що постує паралельно регулювальному впливу x (наприклад, з боку регулювального органна).

Характер вхідного сигналу задається підпрограмою-функцією $X_{вх}$.

Як вихід системи можна розглядати або вихід об'єкта (регульовану величину) y ($N_{вих} = 1$), або сигнал розузгодження ε ($N_{вих} = 2$), або регульовальний вплив x ($N_{вих} = 3$).

Початкові умови вважаємо нульовими. За метод інтегрування приймаємо метод Ейлера, систему заміщення використовуємо першу модифіковану [2, 3]:

$$\begin{cases} \bar{y} = y_{z+1} + b_{n-z} - a_{n-z}y, 1 \leq z \leq n \\ y_{z+1} = 0, \\ y = (y_1 + b_n x) / a_n \end{cases}$$

Крок числового інтегрування за методом Ейлера для цієї системи заміщення виглядає так

$$\begin{cases} \bar{y} = y_{z+1} + b_{n-z} - a_{n-z}y, 1 \leq z \leq n \\ y_{z+1} = 0, \\ y = (y_1 + b_n x) / a_n \end{cases}$$

де $y_{z,v} = y_z|_{t=v \cdot T}$ – параметр стану системи заміщення за $t = v \cdot T$; $x_v = x|_{t=v \cdot T}$ – вхідний сигнал (v , T – номер і величина кроку).

Регулятор реалізує один із лінійних аналогових законів регулювання, що визначається значенням типізованої константи Nzr : integer, а саме:

$$x = \begin{cases} k_p \varepsilon, & \text{при } Nzr = 1 \text{ (П-регулятор)}, \\ k_p \int_0^t \varepsilon dt, & \text{при } Nzr = 2 \text{ (І-регулятор)}, \\ k_p (\varepsilon + T_d \varepsilon'), & \text{при } Nzr = 3 \text{ (ПД-регулятор)}, \\ k_p \left(\varepsilon + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon dt \right), & \text{при } Nzr = 4 \text{ (ПІ-регулятор)}, \\ k_p \left(\varepsilon + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon dt + T_d \varepsilon' \right), & \text{при } Nzr = 5 \text{ (ПІД-регулятор)}. \end{cases}$$

Об'єкт характеризується передавальною функцією

$$W_{об}(p) = \frac{B(p)}{A(p)} e^{-p\tau}$$

На схемі системи автоматичного керування (рис. 1) множник $e^{-p\tau}$ виділено окремим блоком.

									Арк.
									121
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ				

```

My[-1]:=L; Dt:=D/L; v0:=Dt/ks; My[L+1]:=Dt;
t:=0; n:=round(A[-1]); Y[-1]:=n; My[0]:=0;
for s:=0 to n do Y[s]:=0;
zt:=round(Tau/v0);
for s:=0 to zt do Mz[s]:=0;
Eps:=0; x:=0; Integr:=0;
for z:=1 to L do
  begin
    for s:=1 to ks do
      begin
        Epsp:=Eps; x1:=0; x2:=0;
        case Ninp of
          1: x1:=Xinp(t);
          2: x2:=Xinp(t)
        end;
        Eps:=x1-Y[0]; Integr:=Integr+Eps*v0;
        case Nzr of
          1: x:=kr*Eps;
          2: x:=kr*Integr;
          3: x:=kr*(Eps+Td*(Eps-Epsp)/v0);
          4: x:=kr*(Eps+Integr/Ti);
          5: x:=kr*(Eps+Integr/Ti+Td*(Eps-Epsp)/v0)
        end;
        q:=Mz[zt];
        for v:=zt downto 1 do
          Mz[v]:=Mz[v-1];
          Mz[0]:=x+x2; t:=t+v0;
          EilWpm(B,A,q,Mz[zt],v0,Y)
        end;
        case Nout of
          1: My[z]:=Y[0];
          2: My[z]:=Eps;
          3: My[z]:=x
        end
      end
    end
  end
end;

```

Додаток Б. Перелік контрольно-вимірювальних приладів, регуляторів і апаратури керування

Позиція на схемі	Назва параметра, середов. Місце відбору інформації	Граничне значення параметру	Місце установки	Назва і характеристика приладу	Тип моделі	К-сть	Завод виробник
1	2	3	4	5	6	7	8
1В	Регулювання і сигналізація верхнього і нижнього рівнів у машинному басейні	$H_{ном} = 3700\text{мм};$ $H_{найб} = 4000\text{мм};$ $H_{найм} = 3400\text{мм}$	Щит керування	Прилад контролю пневматичний показу вальний зі станцією керування. Шкала: 0...100%, рівномірна	ФК007 1	1	АТ«Тизприбор», м.Москва
1Г	Регулювання і сигналізація верхнього і нижнього рівнів у машинному басейні		В щиті керування	Пристрій регулювальний пневматичний пропорційно-інтегральний. Клапан прямий. Під'єднання місцеве	ФР009 1	1	АТ«Тизприбор», м.Москва
1Е	Регулювання і сигналізація верхнього і нижнього рівнів у машинному басейні		В щиті керування	Перетворювач пневмоелектричний дискретний	ППЄД-3М	1	АТ«Завод Старорусприбор», м.Стара Руса
1Б	Регулювання і сигналізація верхнього і нижнього рівнів у машинному басейні		Місцевий	Перетворювач вимірювальний гідростатичного тиску пневматичний. Діапазон вимірювання 0...4000кгс/м ²	ІЗДГ11-746-0116-150-1,К1/2"	1	ВО«Теплоприбор», м. Рязань

Зм	Адк.	№ докum.	Підпис	Дата

ДП ЛАп81.05.00.001 ПЗ

Адк

120

1	2	3	4	5	6	7	8
1Д	Регулювання і сигналізація верхнього і нижнього рівнів у машинному басейні		Місцевий	Пристрій заслінковий регулювальний з пневмоприводом і опозиціонером Ду 150	L12A1 50-BC 9/20	1	РАУМА-РЕПУЛА м.Москва
2В	Регулювання і сигналізація верхнього і нижнього рівнів у переливному відсіку машинного басейна	$H_{\text{ном}} = 3500\text{мм};$ $H_{\text{найб}} = 3700\text{мм};$ $H_{\text{найм}} = 3200\text{мм}$	Щит керування	Прилад контролю пневматичний показувальний зі станцією керування. Шкала: 0...100%, рівномірна	ФК007 1	1	АТ «Тизприбор» м.Москва
2Г	Регулювання і сигналізація верхнього і нижнього рівнів у переливному відсіку машинного басейна		В щиті керування	Пристрій регулювальний пневматичний пропорційно-інтегральний. Клапан прямиий. Під'єднання місцеве	ФР009 1	1	АТ «Тизприбор» м.Москва
2Е	Регулювання і сигналізація верхнього і нижнього рівнів у переливному відсіку машинного басейна		В щиті керування	Перетворювач пневмоелектричний дискретний	ППЄД-3М	1	АТ «Завод Староруприбор» м.Стара Русв

Зм	Адк.	№ док.м.	Підпис	Дата

ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ

Адк

121

1	2	3	4	5	6	7	8
2Б	Регулювання і сигналізація верхнього і нижнього рівнів у переливному відсіку машинного басейна		Місцевий	Перетворювач вимірювальний гідростатичного тиску пневматичний. Діапазон вимірювання 0...4000кгс/м ²	ІЗДГ11-746-0116-150-1,К 1/2"	1	ВО«Теплоприбор», м. Рязань
2Д	Регулювання і сигналізація верхнього і нижнього рівнів у переливному відсіку машинного басейна		Місцевий	Пристрій заслінковий регулювальний з пневмоприводом опозиціонером Ду 150	L12A1 50-BC 9/20	1	РАУМА РЕПУ ЛА, м.Москва
3В	Регулювання і сигналізація верхнього і нижнього рівнів у басейні целюлози	$H_{\text{ном}} = 3500\text{мм};$ $H_{\text{найб}} = 3500\text{мм};$ $H_{\text{найм}} = 3200\text{мм}$	Щит керування	Прилад контролю пневматичний показу вальний зі станцією керування. Шкала: 0...100%, рівномірна	ФК007 1	1	АТ «Тизприбор», м.Москва
3Г	Регулювання і сигналізація верхнього і нижнього рівнів у басейні целюлози		В щиті керування	Пристрій регулювальний пневматичний пропорційно-інтегральний. Клапан прямиий. Під'єднання місцеве.	ФР009 1	1	АТ «Тизприбор», м.Москва

Зм	Адк.	№ док.м.	Підпис	Дата

ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ

Адк

122

1	2	3	4	5	6	7	8
3Е	Регулювання і сигналізація верхнього і нижнього рівнів у басейні целюлози		В щиті керування	Перетворювач пневмоелектричний дискретний	ППЄД-3М	1	АТ «Завод Старорусприбор», м. Стара Руса
3Б	Регулювання і сигналізація верхнього і нижнього рівнів у басейні целюлози		Місцевий	Перетворювач вимірювальний гідростатичного тиску пневматичний. Діапазон вимірювання 0...2000 кгс/м ²	ІЗДГ11-746-0116-150-1, К 1/2"	1	ВО «Теплоприбор», м.Рязань
3Д	Регулювання і сигналізація верхнього і нижнього рівнів у басейні целюлози		Місцевий	Пристрій заслінковий регулювальний з пневмоприводом і опозиціонером Ду 200	L12A1 50 BC 9/20	1	РАУМА-РЕПУЛА, м.Москва
4В	Регулювання і сигналізація верхнього і нижнього рівнів у збирачі обігової води	$H_{ном} = 3700\text{мм};$ $H_{найб} = 4000\text{мм};$ $H_{нацм} = 3400\text{мм}$	Щит керування	Прилад контролю пневматичний показу вальний зі станцією керування. Шкала: 0...100% рівномірна	ФК007 1	1	АТ «Тизприбор», м.Москва
4Г	Регулювання і сигналізація верхнього і нижнього рівнів у збирачі обігової води		В щиті керування	Пристрій регулювальний пневматичний пропорційно-інтегральний. Клапан прямий. Під'єднання місцеве	ФР009 1	1	АТ «Тизприбор», м.Москва

Зм	Адк.	№ докum.	Підпис	Дата

ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ

Адк

123

1	2	3	4	5	6	7	8
4Е	Регулювання і сигналізація верхнього і нижнього рівнів у збирачі обігової води		В щиті керування	Перетворювач пневмоелектричний дискретний	ППЄД-3М	1	АТ «Завод Старорусприбор», м.Стара Русв
4Б	Регулювання і сигналізація верхнього і нижнього рівнів у збирачі обігової води		Місцевий	Перетворювач вимірювальний гідростатичного тиску пневматичний. Діапазон вимірювання 0...4000 кгс/м ²	ІЗДГ-11347-0116-150-1, К 1/2"	1	ВО «Теплоприбор», м.Рязань
4Д	Регулювання і сигналізація верхнього і нижнього рівнів у збирачі обігової води		Місцевий	Клапан регулювальний з пневмоприводом і опозиціонером Ду 40	252 36 см ³	1	ПО «Київпромарматура», м.Київ
5В	Регулювання і сигналізація верхнього і нижнього рівнів у напірному ящику	$H_{ном} = 485\text{мм};$ $H_{нацб} = 500\text{мм};$ $H_{нацм} = 450\text{мм}$	Щит керування	Прилад контролю пневматичний показу вальний зі станцією керування. Шкала: 0...100%, рівномірна	ФК007 1	1	АТ «Тизприбор», м.Москва
5Г	Регулювання і сигналізація верхнього і нижнього рівнів у напірному ящику		В щиті керування	Пристрій регулювальний пневматичний пропорційно-інтегральний. Клапан прямий. Під'єднання місцеве	ФР009 1	1	АТ «Тизприбор», м.Москва

Зм	Адк.	№ док.м.	Підпис	Дата

ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ

Адк
124

1	2	3	4	5	6	7	8
5Е	Регулювання і сигналізація верхнього і нижнього рівнів у напірному ящику		В щиті керування	Перетворювач пневмоелектричний дискретний	ППЄД-3м	1	АТ «Старорусприбор», м.Стара Руса
5Б	Регулювання і сигналізація верхнього і нижнього рівнів у напірному ящику		Місцевий	Перетворювач вимірювальний гідростатичного тиску пневматичний. Діапазон вимірювання: 0...1,0 кгс/м ²	ІЗДГ11-746-0116-150-1, К1/2"	1	ВО «Теплоприбор», м.Рязань
5Д	Регулювання і сигналізація верхнього і нижнього рівнів у напірному ящику		Місцевий	Пристрій заслінковий регулювальний з пневмоприводом і опозиціонером Ду 125	L12A1 25 BC12/2 5	1	РАУМА-РЕПУЛА, м.Москва
6Б	Регулювання рівня у водовідділювачі	400 мм	Місцевий	Перетворювач вимірювальний різниці тиску пневматичний. Діапазон вимірювання: 0...500 кгс/м ²	13ДД1 1-736-722-001-0116-1;	1	ВО «Теплоконтроль», м.Рязань
6В	Регулювання рівня у водовідділювачі		Місцевий	Манометр показувальний	МОШ 1-100x1,6	1	
6Д	Регулювання рівня у водовідділювачі		Місцевий	Клапан регулювальний з пневмоприводом і опозиціонером Ду 25	25 _ч 30 _{нж} 2М	1	ПО «Київпромарматура», м.Київ

Зм	Адк.	№ док.м.	Підпис	Дата

ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ

Арк

125

1	2	3	4	5	6	7	8
7В	Регулювання витрати маси високої концентрації, що подається до змішувального баку	4 м ³ /г	Щит керування	Прилад контролю пневматичний показу вальний зі станцією керування. Шкала: 0...100% рівномірна	ФК007 1	1	АТ «Тизприбор», м.Москва
7Г	Регулювання витрати маси високої концентрації, що подається до змішувального баку		В щиті керування	Пристрій регулювальний пневматичний пропорційно-інтегральний. Клапан прямий. Під'єднання місцеве	ФР009 1	1	АТ «Тизприбор», м.Москва
7Е	Регулювання витрати маси високої концентрації, що подається до змішувального баку		В щиті керування	Електропнемоперетворювач ТУ 25-02.11.2066-77	ЭПП	1	НВО «Мікротем», м.Сіверськодонецьк
7А	Регулювання витрати маси високої концентрації, що подається до змішувального баку		Місцевий	Витратомір електромагнітний у комплекті: вимірювальний пристрій. Напруга 220В. перетворювач витрати Ду 50. Покриття – поліуретановий каучук	ИР-61	1	ВО «Электроприбор», м.Чебоксари
7Д	Регулювання витрати маси високої концентрації, що подається до змішувального баку		Місцевий	Пристрій заслінковий регулювальний з пневмоприводом і опозиціонером Ду 50	L12A5 0-BC 9/20	1	РАУМА-РЕПУЛА, м.Москва

Зм	Адк.	№ док.	Підпис	Дата

ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ

Адк

126

1	2	3	4	5	6	7	8
8В	Регулювання витрати обігової води, що подається до змішувального баку	19м ³ /г	Щит керування	Прилад контролю пневматичний показу вальний зі станцією керування. Шкала: 0...100% рівномірна	ФК007 1	1	АТ «Тизприбор», м.Москва
8Г	Регулювання витрати обігової води, що подається до змішувального баку		В щиті керування	Пристрій регулювальний пневматичний пропорційно-інтегральний. Клапан прямиий.Під'єднання місцеве	ФР009 1	1	АТ «Тизприбор», м.Москва
8Е	Регулювання витрати обігової води, що подається до змішувального баку		В щиті керування	Електропнеумоперетворювач ГУ 25-02.11.2066-77	ЭПП	1	НВО «Мікротем», Сіверськодоонець БКМ.
8А	Регулювання витрати обігової води, що подається до змішувального баку		Місцевий	Витратомір електромагнітний у комплекті: вимірювальний пристрій. Діапазон вимірювання: 0...25м ³ /г; Напруга 220В. Перетворювач витрати Ду 50. Покриття – поліуретановий каучук	ИР-61	1	ВО «Электроприбор», м.Чебоксари
8Д	Регулювання витрати обігової води, що подається до змішувального баку		Місцевий	Клапан регулювальний з пневмоприводом і опозиціонером Ду 50	25ч 36ЭМЗ	1	ПО«Киевпрома рматура», м.Київ

Зм	Адк.	№ док.им.	Підпис	Дата

ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ

Адк

127

1	2	3	4	5	6	7	8
9В	Регулювання концентрації маси в машинному басейні	2,5%	Щит керування	Прилад контролю пневматичний показу вальний зі станцією керування. Шкала: 0...100%, рівномірна	ФК007 1	1	АТ «Тизприбор», м.Москва
9Г	Регулювання концентрації маси в машинному басейні		В щиті керування	Пристрій регулювальний пневматичний пропорційно-інтегральний. Клапан прямий. Під'єднання місцеве	ФР009 1	1	АТ «Тизприбор», м.Москва
9Е	Регулювання концентрації маси в машинному басейні		В щиті керування	Клапан електропневматичний. Напруга 220В	ПЭПК-08	1	НВО «Мікротем», м.Сіверськодонецьк
9Б	Регулювання концентрації маси в машинному басейні		Місцевий	Датчик концентрації маси пневматичний. Діапазон вимірювання: 1,5...3%	ДКБП-70А	1	Петрозавод.маш будів.завод, м.Петрозаводськ
9РД	Регулювання концентрації маси в машинному басейні		Місцевий	Редуктор тиску з фільтром $P_{вих} = 0,2...3,5 \text{ кгс/см}^2$	РД8-Л-3-1	1	ПО «Києвпромарматура», м.Київ
9Д	Регулювання концентрації маси в машинному басейні		Місцевий	Клапан регулювальний з пневмоприводом і опозиціонером Ду 65	25ч 36ЭМЗ	1	ПО «Києвпромарматура», м.Київ

Зм	Адк.	№ док.м.	Підпис	Дата

ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ

Адк

128

1	2	3	4	5	6	7	8
10В	Регулювання концентрації маси в переливному відсіці машинного басейну	2,5%	Щит керування	Прилад контролю пневматичний показу вальний зі станцією керування. Шкала: 0...100%, рівномірна	ФК007 1	1	АТ «Тизприбор», м.Москва
10Г	Регулювання концентрації маси в переливному відсіці машинного басейну		В щиті керування	Пристрій регулювальний пневматичний пропорціонально-інтегральний. Клапан прямиий. Під'єднання місцеве	Фр 0091	1	АТ «Тизприбор», м.Москва
10Е	Регулювання концентрації маси в переливному відсіці машинного басейну		В щиті керування	Клапан електропневматичний. Напруга 220В	П- ЭПК08	1	НВО «Мікротем» М.Сіверськодон ецьк
10Б	Регулювання концентрації маси в переливному відсіці машинного басейну		Місцевий	Датчик концентрації маси пневматичний. Діапазон вимірювання: 1,5...3%	ДКБП- 70А	1	Петрозавод. маш.будів.завод м.Петрозаводсь к
10РД	Регулювання концентрації маси в переливному відсіці машинного басейну		Місцевий	Редуктор тиску з фільтром $P_{вих} = 0,2...3,5 \text{ кгс/см}^2$	РД8 3-1	1	ПО «Києвпромарма тура», м.Київ
10Д	Регулювання концентрації маси в переливному відсіці машинного басейну		Місцевий	Клапан регулювальний з пневмоприводом і опозиціонером Ду 65	25ч 36ЭМ 3	1	ПО «Києвпромарма тура» м.Київ

Зм	Адк.	№ докum.	Підпис	Дата

ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ

Адк

129

1	2	3	4	5	6	7	8
11В	Регулювання тиску пари до лоцильного циліндра	0,5 МПа (5 кгс/см ²)	Щит керування	Прилад контролю пневматичний показу вальний зі станцією керування. Шкала: 0...100%, рівномірна	ФК 0071	1	АТ «Тизприбор», м.Москва
11Г	Регулювання тиску пари до лоцильного циліндра		В щиті керування	Пристрій регулювальний пневматичний пропорціонально-інтегральний. Клапан зворотний. Під'єднання місцеве	ФР 0091	1	АТ «Тизприбор», м.Москва
11Б	Регулювання тиску пари до лоцильного циліндра		Місцевий	Перетворювач вимірювальний надлишкового тиску пневматичний. Діапазон вимірювання: 0...3 кгс/см ²	13ДИ 13-074- 0116-1	1	ВО «Теплоприбор», м.Рязань
11Д	Регулювання тиску пари до лоцильного циліндра		Місцевий	Клапан регулювальний з пневмоприводом і опозиціонером Ду 80	25ч 32НЖ	1	ПО «Киевпромарма тура», м.Київ
12В	Вимірювання витрати пари на сушильну частину	1885 кг/г	Щит керування	Прилад контролю пневматичний інтегрувальний. Шкала: 0...3 т/г	ПИК-1	1	ВО «Электроприбор », м.Чебоксари
12А	Вимірювання витрати пари на сушильну частину		Місцевий	Діафрагма камерна з конденсаційними горшками	ДК16- 200-1- а/г-5	1	ВАТ «Промприлад», м.Івано- Франківськ

Зм	Адк.	№ док.им.	Підпис	Дата

ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ

Адк

130

1	2	3	4	5	6	7	8
12Б	Вимірювання витрати пари на сушильну частину	191 ⁰ С	Місцевий	Перетворювач вимірювальний різниці тиску пневматичний	13ДД1 1-736-722-001-0116-1	1	ВО «Теплоприбор», м.Рязань
13В	Вимірювання і реєстрування тиску і температури пари	0,5 МПа (5 кгс/см ²) 115,11 ⁰ С	Щит керування	Прилад контролю пневматичний реєструвальний. Діапазон вимірювання: 0...1000%, рівномірна Напруга 220В	ФК007 1	1	АТ «Тизприбор», м.Москва
13Б	Вимірювання тиску пари	0,5 МПа (5 кгс/см ²)	Місцевий	Перетворювач вимірювальний пневматичний. Діапазон вимірювання: 0...1 кгс/см ²	13 ДИ-13-075-0116-1	1	ВО «Теплоприбор», м.Рязань
14Б	Вимірювання температури пари	115,11 ⁰ С	Місцевий	Перетворювач вимірювальний температури пневматичний. Діапазон вимірювання: 0...200 ⁰ С Довжина дистанційного зв'язку 4м. Довжина занурення термобалона 200мм	13 ТД 73	1	ВО «Электроприбор», м.Чебоксари

Зм	Адк.	№ док.	Підпис	Дата

ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ

Адк

131

1	2	3	4	5	6	7	8
15А	Вимірювання витрати розбавленої маси, що подається до напірного ящика	23 м ³ /г	Місцевий	Витратомір електромагнітний комплекті: -Вимірювальний пристрій -Межі вимірювання: 0-30 м ³ /г. Напруга 220В. Перетворювач витрати Ду 209 Покриття-поліуретановий каучук	ИР-51	1	ВО «Электроприбор», м.Чебоксари
16Б	Вимірюв.концентр. розбавленої маси, що подається до напірного ящика	0,5%	Місцевий	Датчик концентрації пневматичний. Діапазон вимірювання: 0...1%	ДКБП-70А	1	Петрозавод.маш.буд завод, м Петрозаводськ.
17Б	Вимірюв. швидкості сітки	250 м/хв	Місцевий	Імпульсний тахометр	ИСЦ-2	1	ХПІ м.Харків
18Б	Вимірюв. маси 1м ² паперового полотна	32 г/м ²	Місцевий	Датчик маси 1м ² - Абсорбційний (БАД) паперового полотна. Діапазон вимірювання: 0...40 г/м ²	БАД	1	
МП1, МП2, МП3, МП4, МП5, МП6	Витрата		Місцевий	Пускач магнітний нереверсив. з теплов. Реле ГРН-8	ПМЕ-222	6	ВО «Электроприбор», м.Чебоксари

Зм	Адк.	№ док.м.	Підпис	Дата

ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ

Адк

132

1	2	3	4	5	6	7	8
SB1, SB3, SB5, SB7, SB9, SB1	Витрата		Щит керування	Кнопка керування зелена «ПУСК»	XB2-BA31	6	ВО «Электроприбор», м.Чебоксари
SB2, SB4, SBG, SB8, SB10, SB12	Витрата		Щит керування	Кнопка керування червона «СТОП»	XB2-BA31	6	ВО «Электроприбор», м.Чебоксари
KB1, KB2, KB3, KB4, KB5, KB6	Витрата		Місцевий	Кнопка запобіж.відключення	КУ 121-2		ВО «Электроприбор», м.Чебоксари
HL1, HL3, HL5, HL7, HL5, HL11	Витрата		Щит керування	Лампа сигнал.сСвітлодіодна із зеленим індикатором	ЛС-47-1	6	«ІЕК» Україна» м.Київ

Зм	Адк.	№ док.м.	Підпис	Дата

ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ

Адк

133

1	2	3	4	5	6	7	8
HL2, HL4, HL6, HL8, HL10, HL12	Витрата		Щит керування	Лампа сигнал.світлодіодна із червоним індикатором	ЛМ-47- 1	6	«ІЕК» Україна» м.Київ

<i>Зм</i>	<i>Адк.</i>	<i>№ док.м.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>

ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ

Додаток В. Відомість дипломного проекту

<i>Зм</i>	<i>Адж.</i>	<i>№ док.м.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>ДП ЛАп81.05.00.000 ПЗ</i>	<i>Адж</i>