

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**  
**Інженерно-хімічний факультет**  
(повна назва інституту/факультету)

**Кафедра автоматизації хімічних виробництв**  
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ А.І.Жученко  
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології**  
(код і назва)

на тему: Автоматизація технологічного процесу виробництва паперу  
на тихохідній папероробній машині

Виконав: студент 2-го курсу, групи ЛА-371мп  
(шифр групи)

Копанєв Владислав Олександрович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник доцент, к.т.н. ст. наук. співроб. Піргач М.С.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2018 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 – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 151- Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ А.І.Жученко

(підпис) (ініціали, прізвище)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

Копанєв Владислав Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: Автоматизація технологічного процесу виробництва паперу на тихохідній папероробній машині \_\_\_\_\_

науковий керівник дисертації Піргач М.С., доцент, к.т.н. ст. наук. співроб. \_\_\_\_\_ ,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом дисертації \_\_\_\_\_

3. Об'єкт дослідження Тихохідна папероробна машина \_\_\_\_\_

4. Вихідні дані Продуктивність машини – 200кг/год; ширина полотна – 0.5м; максимальна швидкість – 100 м/хв; максимальна витрата маси із напірного ящика – 60м<sup>3</sup>/год; \_\_\_\_\_

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1. Виконати аналіз виробництва паперу на тихохідній машині та навести типові схеми автоматизації. 2. Розробити математичну модель тихохідної папероробної машини як об'єкта керування

масою 1м<sup>2</sup> паперового полотна. 3. Розробити схему автоматизації тихохідної папероробної машини \_\_\_\_\_

6. Орієнтовний перелік графічного ( ілюстративного )матеріалу \_\_\_\_\_

1. Схема автоматизації машини \_\_\_\_\_

2. Креслення загального виду машини \_\_\_\_\_

7. Орієнтовний перелік публікацій \_\_\_\_\_

8. Консультанти розділів дисертації\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз виробництва паперу на тихохідній папероробній машині	20.11.2018	
2	Аналіз розробок і впроваджених систем керування ТПРМ	24.11.2018	
3	Розробка математичної моделі тихохідної папероробної машини	28.11.2018	
4	Розробка і дослідження системи керування масою 1м <sup>2</sup>	01.12.2018	
5	Реалізація запропонованої системи автоматизації ТПРМ		

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

В.О.Копанєв  
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_  
(підпис)

М.С.Піргач  
(ініціали, прізвище)

\* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

## РЕФЕРАТ

Автоматизація технологічного процесу виробництва паперу на тихохідній папероробній машині

Атестаційна магістерська робота на присвоєння освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр».

Київ 2018, 99 сторінок, 38 рис, табл, 8 джерел, додатки.

Об'єкт розробки- система автоматизації виробництва паперу і зокрема система автоматичного керування мокрою частиною папероробної машини та система автоматичного керування абсолютно сухою масою  $1\text{м}^2$  паперового полотна.

Мета роботи- розробка і дослідження системи автоматичного керування мокрою частиною машини, а також розробка схеми автоматизації технологічного процесу виробництва паперу, реалізованої на базі аналогових і дискретних засобів автоматизації.

На підставі процесів, що протікають у мокрій частині машини, розроблено математичну модель мокрої частини машини як об'єкта керування абсолютно сухою масою  $1\text{м}^2$  полотна. Така модель описує поведінку мокрої частини машини по каналу керування і каналу збурення.

Математичну модель мокрої частини використано для розробки і дослідження оптимальної системи автоматичного керування з дискретними регуляторами.

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА, ВИРОБНИЦТВО ПАПЕРУ. МОДЕЛЬ МОКРОЇ ЧАСТИНИ МАШИНИ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ МОКРОЮ ЧАСТИНОЮ

## ABSTRACT

Automation technological process of production paper on a low speed machine

Diploma project of the degree design an appropriation qualifying level «Master».

Kyiv 2018, 99 pages, 38 fig., 8 tables, 8 references, addition.

Productive formation - the system of automation of paper manufacturing and in particular an automatic control system of the wet end part of the paper-making machine and the system of automatic control of an absolute dry mass of 1 m<sup>2</sup> paper.

The purpose of the work - is the development and examination of the automatic control system of the wet end of the machine, and development of an automation system of the technological process of paper production, implemented and based on analog and discrete automation means.

Based on the processes occurring in the wet end of the machine, a mathematical model of the wet end part of the machine was developed as an object of control of an absolutely dry mass of 1 m<sup>2</sup> paper. Such a model describes the behavior of the wet part of the machine through the control channel and the channel of perturbation.

The mathematical model of the wet part is used for the development and examination of an optimal automatic control system with discrete regulators.

MASTER WORK, MANUFACTURING THE PAPER. MACHINE PARTS  
MODULE, CONTROL SYSTEM AND CONTROL SYSTEM OF WET END.

## ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.	стр.
ВСТУП.....	10
1. АНАЛІЗ ВИРОБНИЦТВА ПАПЕРУ НА УНІВЕРСАЛЬНІЙ ТИХОХІДНІЙ ПАПЕРОРІЗНІЙ МАШИНІ І ЇЇ АВТОМАТИЗАЦІЯ .....	11
1.1. Загальна схема виробництва паперу .....	11
1.2. Особливості роботи універсальної паперорізної машини .....	12
1.3. Автоматизація універсальних тихохідних паперорізних машин .....	14
1.3.1. Вимірювальні пристрої .....	14
1.3.2. Виконавчі пристрої .....	15
1.4. Традиційна автоматизована система керування технологічним процесом виробництва паперу .....	17
1.4.1. Керувальна обчислювальна машина .....	17
1.4.2. Аналогово-цифровий перетворювач .....	17
1.4.3. Цифро-аналоговий перетворювач.....	18
1.4.4. Принцип роботи централізованої АСКТП	
2. АНАЛІЗ РОЗРОБЛЕНИХ І ВПРОВАДЖЕНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ВУЗЬКОФОРМАТНИМИ ПАПЕРОРІЗНИМИ МАШИНАМИ .....	19
2.1. Характеристика паперорізної машини середньої потужності.....	19
2.2. Функції АСКТП .....	19
2.3. Програмне забезпечення АСКТП .....	22
2.4. Технічне забезпечення АСКТП .....	23
2.4.1. Комплекс технічних засобів .....	23
2.4.2. Керувальний обчислювальний комплекс.....	24
2.4.3. Техніко-економічні показання АСКТП.....	25
3. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПАПЕРОРІЗНОЇ МАШИНИ .....	28
3.1. Математичні моделі складових частин і елементів мокрої частини паперорізної машини.....	28

3.1.1. Статичні моделі .....	29
3.1.1.1. Рівняння матеріального балансу .....	29
3.1.1.2. Характеристики мокрої частини папероробної машини.....	32
3.1.1.3. Експериментальне дослідження і розрахунок статичних характеристик мокрої частини.....	39
3.1.2. Динамічні моделі.....	44
3.1.2.1. Розробка математичних моделей.....	44
3.1.2.2. Дослідження моделі мокрої частини як об'єкта керування витратою абс.сухої речовини.....	48
3.1.2.3. Дослідження стабільності моделі мокрої частини машини...	52
3.1.2.4. Спрощена математична модель мокрої частини машини.....	53
4. РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСКРЕТНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ МАСОЮ 1м <sup>2</sup> ПАПЕРОВОГО ПОЛОТНА.....	57
4.1. Принципова система каскадної дискретної системи автоматичного керування масою 1м <sup>2</sup> паперового полотна .....	57
4.2. Визначення передавальних функцій дискретних регуляторів витрати маси високої концентрації і обігової води .....	58
4.2.1. Припущення щодо властивостей об'єкта керування.....	58
4.2.2. Цифровий контур зворотного зв'язку в автоматичних системах витрати маси високої концентрації і обігової води.....	58
4.3. Визначення дискретної передавальної функції регулятора абс.сухої маси 1м <sup>2</sup> паперового полотна .....	60
4.3.1. Розробка структурної схеми керування абс.сухої масою 1м <sup>2</sup> паперового полотна.....	60
4.3.2. Чутливість дискретного регулятора абс.сухої маси 1м <sup>2</sup> паперового полотна до оцінок параметрів каналу керування і параметрів його налаштування.....	62

4.4. Реалізація дискретної системи керування абс.сухою масою 1м <sup>2</sup> паперового полотна .....	63
4.4.1. Розробка логічного рівняння введення в мікропроцесорну систему програми керування.....	63
4.4.2. Моделювання цифрової системи автоматичного регулювання абс.сухою масою 1м <sup>2</sup> паперового полотна.....	66
4.4.3. Дискретне керування концентрацією розбавленої маси.....	68
4.5. Дискретне каскадне керування абс.сухою масою 1м <sup>2</sup> паперового полотна .....	71
4.5.1. Розробка структурної схеми дискретної каскадної системи автоматичного керування абс.сухою масою 1м <sup>2</sup> папер. полотна.....	71
4.5.2. Визначення дискретних передавальних функцій регуляторів.....	72
4.5.3. Результати цифрового моделювання дискретної каскадної системи керування.....	73
4.5.4. Роз'єднання контурів дискретної системи керування.....	74
5. РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТИХОХІДНОЮ ПАПЕРОРІБНОЮ МАШИНОЮ .....	85
5.1. Описання технологічного процесу виробництва паперу на вузькоформатній папероробній машині малої потужності .....	85
5.2. Основні рішення щодо схеми автоматизації машини .....	86
5.2.1. Технологічний контроль .....	87
5.2.2. Автоматичне регулювання і керування.....	88
ВИСНОВОК.....	89
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	90
ДОДАТКИ:	
Додаток А. Перелік контрольно-вимірювальних приладів, регуляторів і апаратури керування.	



## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСК-автоматизована система керування

АЦП-аналого-цифровий перетворювач

ВМ-виконавчий механізм

ДСАК-дискретна система автоматичного керування

ДСАР-дискретна система автоматичного регулювання

НЯВТ-напірний ящик відкритого типу

ПЕП-пневмoeлектричний перетворювач

ПРМ-папероробна машина

РО-регуляторний орган

САК-система автоматичного керування

САР-система автоматичного регулювання

ТП-технологічний процес

ТОК-технологічний об'єкт керування

ЦАП-цифро-аналоговий перетворювач

ЦОМ-цифрова обчислювальна машина

ЦСАК-цифрова система автоматичного керування

ЦФ-цифровий фільтр

$y(t)$ -вихідна змінна системи

$u(t)$ -вхідна змінна системи

$f(t)$ -збурювальне діяння

$p$ -оператор Лапласа

$y(p)$  і  $U(p)$ - зображення за Лапласом вихідної і вхідної змінних

$g_{11}(p)$ -передавальна функція ТОК по каналу 11

$g_{12}(p)$ - передавальна функція ТОК по каналу 12

$g_{11}(Z)$ -дискретна передавальна функція ОК по каналу керування 11

$g_{12}(Z)$ - дискретна передавальна функція ОК по каналу збурення 12

$g_p(p)$ - передавальна функція регулятора

## ВСТУП

Одним із найбільш перспективних напрямків у сфері автоматизації технологічних процесів целюлозно-паперових виробництв є розробка автоматизованих систем керування, орієнтованих на використання мікропроцесорних засобів обчислювальної техніки. Невеликі габаритні розміри мікро ЕОМ дозволяють скомпонувати її в одному функціональному моноблоці, а відносно невелика вартість стає економічно вигідним створення автоматизованих систем керування навіть для вузькоформатних папероробних машин середньої і малої продуктивності.

Папероробні машини, що працюють на підприємствах України, поділяються за шириною: до 1680 мм – 24 шт, 1680-2100-21, 2100-2520-20, 2520-3000-4, 3000-4200- 9 шт. широкоформатних машин (ширина полотна понад 5 м) на підприємствах України немає.

Швидкість машин також невисока -від 40-50 до 100-120 м/хв. Найшвидкісні папероробні машини Київського картонно-паперового комбінату марки Б-83, які виробляють санітарно-гігієнічний папір зі швидкістю до 900 м/хв, та папероробна машина Жидачівського КПК, яка виробляє друкарський папір зі швидкістю до 500 м/хв.

Як видно із наведеного аналізу на підприємствах України працюють вузькоформатні тихохідні папероробні машини, які ще недостатньо оснащені сучасними засобами автоматизації. В даній атестаційній магістерській роботі розглядаються питання автоматизації саме таких машин.

# 1. АНАЛІЗ ВИРОБНИЦТВА ПАПЕРУ НА УНІВЕРСАЛЬНІЙ ТИХОХІДНІЙ ПАПЕРОРІБНІЙ МАШИНІ І ЇЇ АВТОМАТИЗАЦІЯ

## 1.1. Загальна схема виробництва паперу

Загальну схему виробництва паперу показано на рис.1.1.

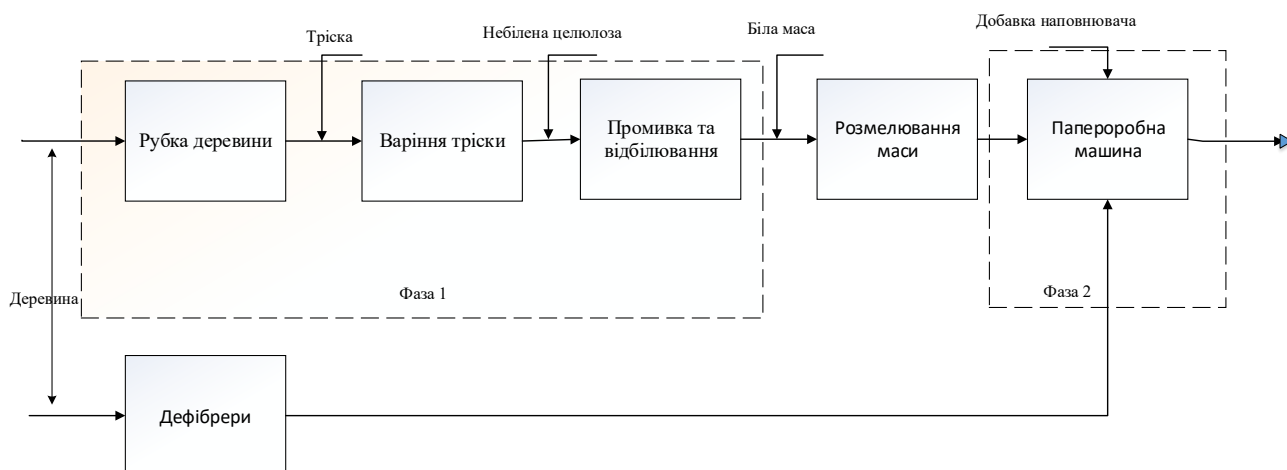


Рис. 1.1. Загальна схема виробництва паперу із деревини

Якщо в минулому папір виготовляли із ганчірок і соломи, то в наш час у якості сировини для цього виду продукції використовують тільки деревину. Переробка цього рослинного матеріалу спочатку в целюлозу, а потім в папір є дуже складним процесом.

Деревина із біржі деревини подається на рубальні машини які рубають її на тріску. Транспортерами тріска надходить у варильний цех у якому в котлах періодичної дії із неї в присутності хімічних реагентів виробляють целюлозу. Після промивання і відбілювання целюлози, відповідно у промивальному і відбілювальному цехах, целюлоза подається на розмелювання на конічних чи дискових млинах.

З метою здешевлення сировини частина деревини подається у деревномасний завод, де на дефібрерах виробляють деревну масу. Ця маса разом з відбіленою 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 рисунку 1.2

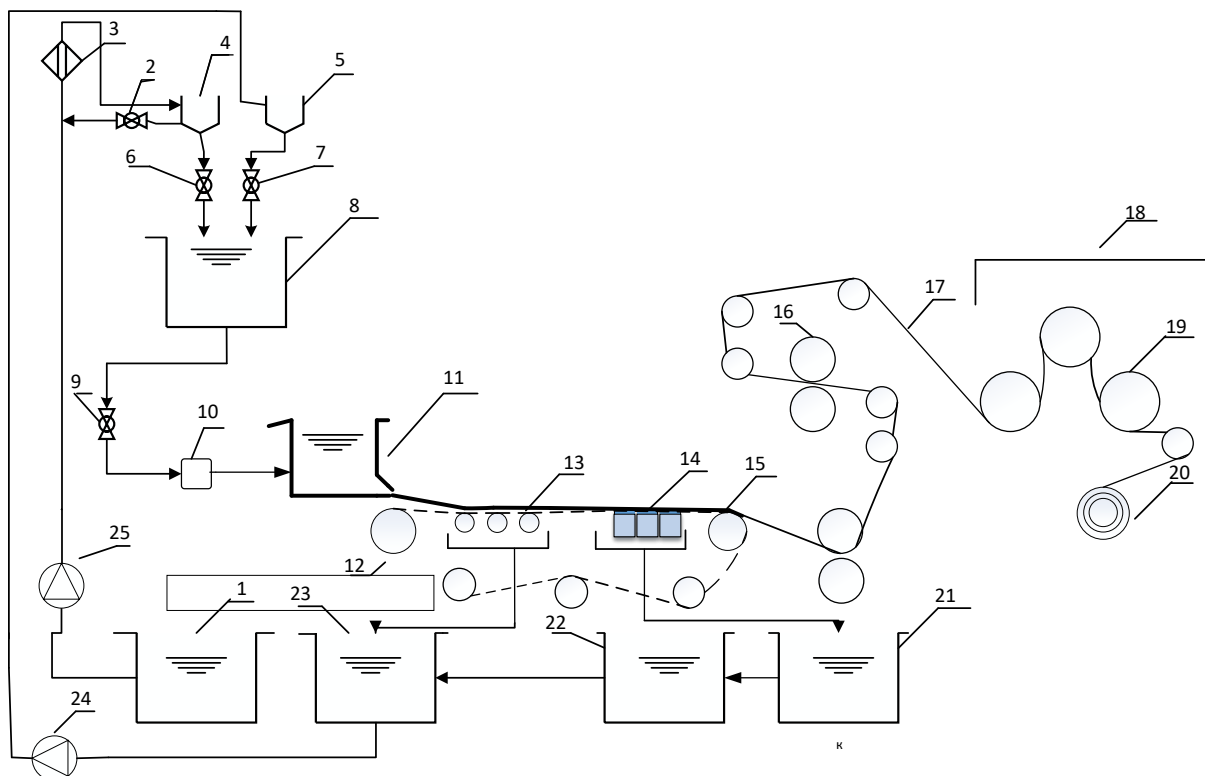


Рис.1.2. Технологічна схема типової універсальної тихохідної папероробної машини:

1- машинний басейн; 2- регулювальний орган подачі вторинних відходів; 3- датчик 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; 12- сітка; 13- реєстрові валики; 14-відсмоктуючі ящики; 15- гауч-вал; 16- пресова частина; 17- мокре паперове полотно; 18- сушильна частина машини; 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 високої концентрації (МВК)30...40г/л зберігається у машинному басейні 1. Потім вона насосом подається власне на папероробну машину. На своєму шляху вона розбавляється обіговою водою до концентрації 20-30 г/л і крізь очищувачі маси високої концентрації 4 вона подається в змішувач МВК з ОВ 8, яка у свою чергу проходить очищувачі обігової води 5. Цей змішувач (бак постійного напору) потрібний для отримання сталого напору маси на регулювальний орган подачі розбавленої маси 9 у напірний ящик 11. Таким чином, кінцева концентрація розбавленої маси у змішувачі МВК з ОВ складає 2-8 г/л.

Напірний ящик розподіляє масу рівним потоком і подає на сітку 12. Швидкість сітки і потоку маси, що витікає із напірного ящика, рівні між собою. Напірний ящик може бути відкритого чи закритого типу з вакуумним простором над поверхнею маси у напірного ящику з метою забезпечення найбільшого рівня маси, який потрібний для підтримки необхідної швидкості потоку маси крізь випускальну щілину напірного ящика.

Після того, як розбавлена маса попала на сітку, на ній починається основне зневоднення цієї маси за допомогою різноманітних пристроїв (регістрових валиків 13, відсмоктуючих ящиків 14 та гауч-вала 15). В обіговій воді знаходиться досить багато волокна і тому задача зневоднення маси полягає у затримуванні волокна на сітці. В дійсності концентрація обігової води змінюється від 0,2 до 2г/л в залежності від складу паперу, який виробляється на цій машині. Відібрана обігова вода у першій частині машини подається в резервуар регістрової води 23. Вода, яка відібрана відсмоктуючими ящиками 14, подається у проміжний резервуар сосунної води 21, що має сталий рівень, потрібний для підтримування стовпа відсмоктуючої води. Ця вода надходить у буферний резервуар 22, який має з'єднуватися з резервуаром 23. Цю воду використовують тому, що в ній знаходиться багато волокна.

На кінці сітки машини формується паперове полотно, яке має сухість 20%. Воно повністю зберігає суху частину до накату. Із цього можна зробити висновок, що вся маса абс.сухої речовини по відношенню до маси 1м<sup>2</sup> паперового полотна відома, якщо не враховувати на зміну розмірів полотна, яке може виникнути в пресовій та сушильній частинах машини.

Після мокрої частини машини паперове полотно подається за допомогою шерстяних сукон у пресову частину машини, яка і доводить сухість полотна до 40%.

З метою видалення води із паперового полотна від 50 до 90% необхідно висушити полотно. Сушіння паперового полотна виконується на сушильних циліндрах 19 у які подаються пара і за допомогою циркулюючого теплого повітря, що дозволяє швидко відвести воду шляхом її випаровування. Сушильна частина машини складається із двох секцій. Подача пари в ці дві секції виконуються незалежно одна від одної, тобто паралельно. Витрата теплого повітря регулюється вентиляторами, а температура за допомогою пари.

Папероробна машина приводиться в рух за допомогою головного вала, який з'єднаний з електричним двигуном. Окремі секції машини регулюються від головного вала за допомогою регулятора швидкості. Це дозволяє керувати співвідношенням швидкостей, що встановлюється між ними згідно з технологічним регламентом. Вказане керування дуже важливе, оскільки з одного боку, паперове полотно витягується при заданому натягу, викликаного роботою пресів, а з іншого боку, полотно дещо скорочується під дією цього сушіння. Рівнодіюча цих двох дій і дає загальне видовження полотна від 5% до 10% в машинному напрямку. Називається відносне видовження полотна між двома секціями натягом.

### 1.3. Автоматизація універсальних тихохідних папероробних машин

#### 1.3.1. Вимірювальні пристрої

##### 1.3.1.1. Вимірювання витрати

Вимірювання витрати речовин виконується за допомогою електромагнітних витратомірів. зокрема, це стосується витрати маси високої концентрації(МВК) і обігової води(ОВ), які подаються до змішувача МВК з ОВ. Вихідний сигнал витратоміра знаходиться в межах від 4 до 20мА і є лінійним. Обробка таких сигналів здійснюється в мікропроцесорній системі шляхом їх усереднення і відповідного масштабування.

#### 1.3.1.2. Вимірювання концентрації маси

Концентрація розбавленої маси, яка витікає із змішувача МВК з ОВ і подається у напірний ящик, вимірюється за допомогою датчика маси низької концентрації, що працює на відбиванні поляризованого світла целюлозними волокнами. Детектирувальним органом слугує фотоелектрична комірка. Одержаний після підсилення датчиком сигнал знаходиться в межах 0-50мВ. Характеристика датчика нелінійна, а тому мікропроцесорна система виконує лінералізацію цієї статичної характеристики. Оскільки датчик дуже чутливий до складу і кольору маси, то необхідно мати декілька градуювальних шкал.

#### 1.3.1.3. Вимірювання маси $1\text{м}^2$ і вологості паперового полотна

Вимірювання маси і вологості паперового полотна виконується за допомогою комбінованого приладу, наприклад, Мюллер-Барбері. Датчик цього приладу виконує вимірювання загальної маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна шляхом вимірювання інтенсивності радіоактивного випромінювання, яке проходить крізь паперове полотно. Вимірювання вологості паперового полотна виконується шляхом вимірювання діелектричної сталої конденсатора крізь пластини якого проходить полотно. Виходячи із вимірювання маси  $1\text{м}^2$  полотна і його вологості мікропроцесорна система визначає суху масу  $1\text{м}^2$  паперового полотна.

#### 1.3.1.4. Вимірювання тиску і рівня маси у напірному ящику

Якщо на папероробній машині використовується напірний ящик відкритого типу, то в ньому вимірюється тільки рівень маси у напускній камері. Якщо використовується напірний ящик з вакуумним простором, то в ньому потрібно вимірювати рівень маси у напускній камері і вакуум у вакуумному просторі над поверхнею маси. Ці два вимірювання здійснюється за допомогою датчиків тиску, які мають вихідний сигнал 0-50мВ пропорційний вимірювальному тиску.

#### 1.3.1.5. Вимірювання тиску пари

Вимірювання тиску пари в сушильній частині папероробної машини виконується за допомогою загальнопромислових засобів автоматизації.

### 1.3.2. Виконавчі пристрої

#### 1.3.2.1. Пневматичні виконавчі механізми

Головними виконавчими механізмами на тихохідній універсальній папероробній машині, є чотири пневматичних механізми, які з'єднані з регулювальними органами, які змінюють витрату маси високої концентрації, обігової води, пари перед сушильною частиною машини і пари за нею. Електропневматичний перетворювач дозволяє перетворювати сигнал 4-20мА в сигнал 0.2-1 бар.

#### 1.3.2.2. Крокові двигуни

Випускальна щілина напірного ящика універсальної тихохідної папероробної машини, як правило, керується двома кроковими двигунами. Керуванням цими двигунами здійснюються мікропроцесорною системою через проміжний пристрій цифрового імпульсного модуля. Число імпульсів дорівнює цифрованому значенні числа, а частота повинна узгоджуватися зі смугою



пропускання вивідного пристрою. Для цього пристрою використовується частота 200 Гц.

Асинхронний електричний двигун приводить у рух змішувальний насос, який подає розбавлену масу в напірний ящик.

#### 1.4. Традиційна автоматизована система керування технологічним процесом виробництва паперу

##### 1.4.1. Керувальна обчислювальна машина

На тихохідних папероробних машинах малої і середньої продуктивності як правило, використовують одну централізовану автоматизовану систему керування технологічним процесом (АСКТП). Вона має одну керувальну обчислювальну машину (КОМ), яка працює у реальному масштабі часу. Робота цієї машини у реальному масштабі часу, змушує вводити в систему пріоритетні переривання. Як приклад, наведемо характеристику КОМ типу МАТ О1, яка використовується для автоматизації ПРМ малої і середньої продуктивності.

КОМ типу МАТ О1 має 8192 слова і магнітну пам'ять. Довжина слова 21 біт (28 для запису значення величини, 1 для запису знака, 1 для запису пріоритету і 1 для запису контролю). Основний цикл роботи машини 6,5 мс.

##### 1.4.2. Аналогово-цифровий перетворювач

В централізованій АСК ТП виробництва паперу використовується один комплект підсилювально-перетворюючого пристрою. Він використовується разом з одним багатоканальним комутатором. Усі вимірювання стандартизовані в межах 0-50 мВ. Підсилювач працює від мережі постійного струму в межах 0-10 В. Перетворювач видає двійкове слово, яке має 12 біт і знак числа.

##### 1.4.3. Цифро-аналоговий перетворювач

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

рівноваги сил. Цей комплект видає постійний струм в межах 4—20мА. 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.

#### 1.4.4. Принцип роботи централізованої АСКТП

Керувальна обчислювальна машина діє безпосередньо на виконавчі механізми. Таким чином, ця система є системою прямого цифрового керування. На виході слово, яке подається від АЦП дорівнює 13 біт (1 біт це знак числа). На виході КОМ слово дорівнює 11 біт.

Керувальна обчислювальна машина вибирає периферійну адресу за допомогою слова, яке має 5 біт, що передається паралельно. В багатоканальному комутаторі потік інформації проходить крізь підсилювач-аналого-цифровий перетворювач.

На рівні цифро-аналогового перетворювача виконується пошук необхідного виконавчого механізму. Зовнішні пристрої повідомляють КОМ про свій стан (зайнято—вільно).

## 2. АНАЛІЗ РОЗРОБЛЕНИХ І ВПРОВАДЖЕНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ВУЗЬКОФОРМАТНИМИ ПАПЕРОРОБНИМИ МАШИНАМИ

### 2.1. Характеристика папероробної машини середньої потужності

Всесоюзним науково-виробничим об'єднанням целюлозно-паперової промисловості (ВНПО бупром) в 1984 р. розроблено і уведено у дію головний зразок АСК ТП на базі мікро-ЕОМ для папероробних машин (ПРМ) середньої потужності.

Папероробна машина №4 фабрика «Югла» виробничого об'єднання «Латбумпром» на якій впроваджено цю мікропроцесорну систему, має обрізну ширину паперу на накаті 2100 мм і призначена для виробництва писального паперу №1, діаграмного марки Д-50, етикеткового марки А і В, а також паперу мелованого товарної марки Д. Потужність машини 15-25 т/сутки.

Розроблена система керування охопила технологічну лінію від маси високої концентрації (МВК), що подається у змішувальний насос до накату і слугує для збирання, оброблення і відображення необхідної інформації, а також для керування якісними і кількісними показниками технологічного процесу.

### 2.2. Функції АСКТП

Розглядувана АСКТП виробництва паперу побудована по багатофункціональному принципу і виконує інформаційні, керувальні та допоміжні функції.

До інформаційних функцій відносяться: вимірювання маси  $1\text{ м}^2$  і вологості паперового полотна, концентрації маси високої концентрації (густої маси), витрати маси, що подається у напірний ящик, тиску пари у сушильній частині машини, розрахунок метражу паперового полотна і індикацію обривів паперового полотна.

Вологість, метраж виробленого паперу і концентрація густої маси вимірюється датчиками, розробленими Латвійським Науково-виробничим об'єднанням «Гауя». Ємкісний датчик вологості паперового полотна «Роса» забезпечує вимірювання від 4 до 7% з основною абсолютною похибкою  $\pm 0.6\%$  і додатковою похибкою  $\pm 0.3\%$ .

Датчик АІК визначає концентрацію маси від 2,5 до 3, 5% основної абсолютної похибки  $\pm 0,8$  відсотків і додаткової  $\pm 0,04\%$ . Обидва датчики мають електричний сигнал 0-5м А і забезпечують широкий діапазон показань ("Роса" - від 2 до 12%, АІК - від 2 до 4%). Лічильник метражу паперового полотна перетворює метраж полотна в число- імпульсний сигнал і визначає швидкість машини.

Окрім перелікованих датчиків в системі керування використовується вимірювач маси  $1\text{м}^2$  полотна РРВ-64, фотоелектричний датчик обриву паперового полотна ФДУ-1 і і серійний датчик витрати густої маси ІР-МІІ.

У функцію керування входять: двозв'язане керування масою  $1\text{м}^2$  і вологістю паперового полотна, керування тиском пари у сушильних циліндрах (включаючи скидання тиску при обриві полотна), керування витратою і концентрацією розбавленої маси у напірному ящику.

До допоміжних функцій АСКТП відноситься сканування вимірювальної головки з датчиком маси  $1\text{м}^2$  і вологості паперового полотна) (в режимах однократного сканування із зупинкою в особливій точці).

Функціональну схему, яка пояснює взаємозв'язок алгоритмів між собою і об'єктом керування наведено на рис.2.1.

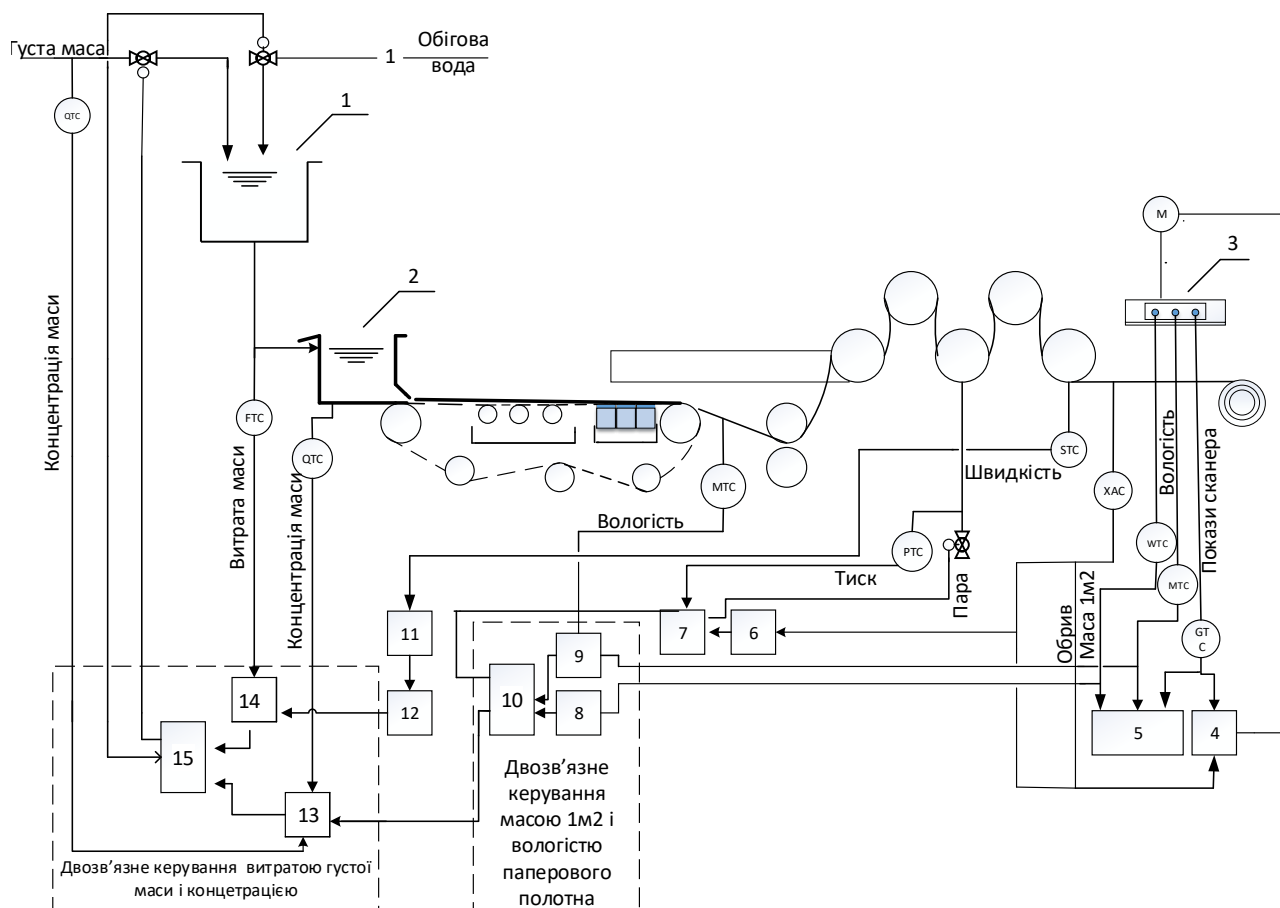


Рис.2.1. Функціональна схема автоматизованої системи керування технологічним процесом виробництва паперу на папероробній машині середньої потужності:

1-змішувач маси високої концентрації і обігової води; 2-напірний ящик; 3-сканер; 4-блок керування сканером; 5-блок формування поперечного профіля маси  $1\text{m}^2$  і вологості паперового полотна; 6-система керування тиском пари при обривах паперового полотна; 7-система автоматизованого керування тиском пари; 8-система автоматизованого керування масою  $1\text{m}^2$  паперового полотна; 9-система автоматичного керування вологістю паперового полотна; 10-блок розв'язки; 11-блок обчислення швидкості машини; 12-блок розрахунку заданої витрати маси високої концентрації; 13-система автоматичного керування концентрацією маси; 14-система автоматичного керування витратою маси високої концентрації; 15- блок розв'язки

### 2.3. Програмне забезпечення АСКТП

Програмне забезпечення розглядуваної АСКТП базуються на модульному принципі побудови і реалізовано в середовищі операційної системи реального часу. Будь-який складний алгоритм представляється у вигляді низки модулів, кожний з яких багатократно використовуються в різноманітних алгоритмах. Модульний принцип побудови складних алгоритмів полегшує програмування алгоритмів і забезпечує більшу гнучкість програмного забезпечення. Крім цього, алгоритм, виконаний у вигляді низки програмних модулів, володіє більшою наглядованістю. Під час синтезу алгоритмів було враховано потребу підстроювання коефіцієнтів регулятора у разі зміни швидкості машини, забезпечення автономності взаємопов'язаних каналів керування і можливість комбінованого керування по збуренню і відхиленню керованої змінної від її заданого значення.

Двозв'язане регулювання використовується для керування масою  $1\text{м}^2$  і вологістю паперового полотна, а також для керування витратою і концентрацією розбавленої маси, яка подається у напірний ящик.

Комбіноване керування вологістю полотна і концентрацією маси у напірному ящику можливе у разі вимірювання вологості паперового полотна у мокрій частині машини та концентрації розбавленої маси у напірному ящику.

## 2.4. Технічне забезпечення АСКТП

### 2.4.1.Комплекс технічних засобів

Структурну схему КТЗ наведено на рис.2.2

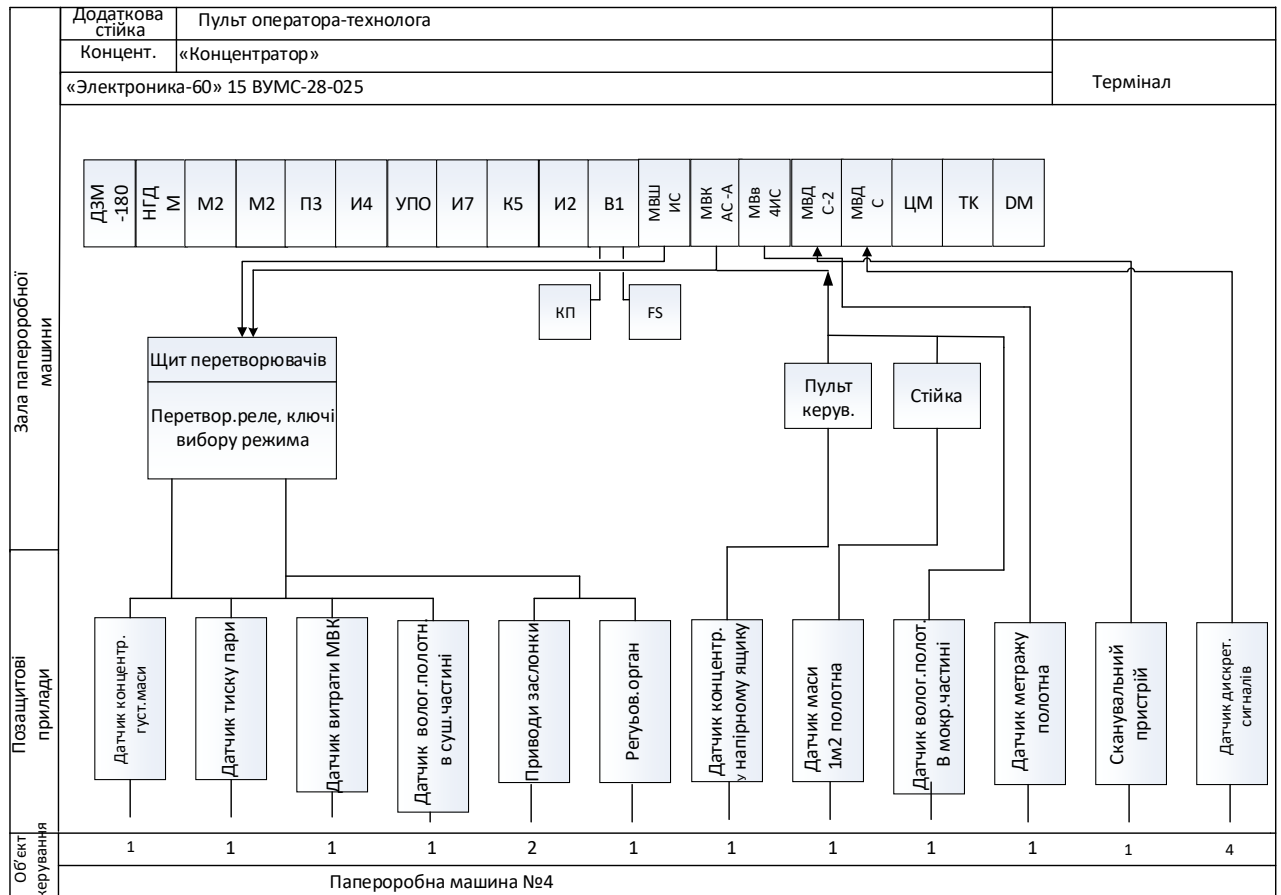


Рис .2.2. Структурна схема комплексу технічних засобів

Комплекс технічних засобів складається із пульта оператора АСКТП, щита перетворювачів, щита живлення, стійки для розміщення пристроїв друку.

Пульт оператора АСКТП, розроблений Астраханським СКТБ з ДВ, являє собою герметизовану конструкцію і призначений для зв'язку по входу і виходу з технологічним обладнанням, вмикання- вимикання задач керування, введення цифрової інформації в ЕОМ і виведенню алфавітно-цифрової графічної інформації на екран кольорового дисплея.

До складу пульта оператора АСКТП входять наступні пристрої: кондиціонер БК-1500, мікро-ЕОМ, модулі пристрої зв'язку з об'єктом, дисплей і панель керування.

### 2.4.2. Керувальний обчислювальний комплекс

Структурну схему керування обчислювального комплексу наведено на рис.2.3.

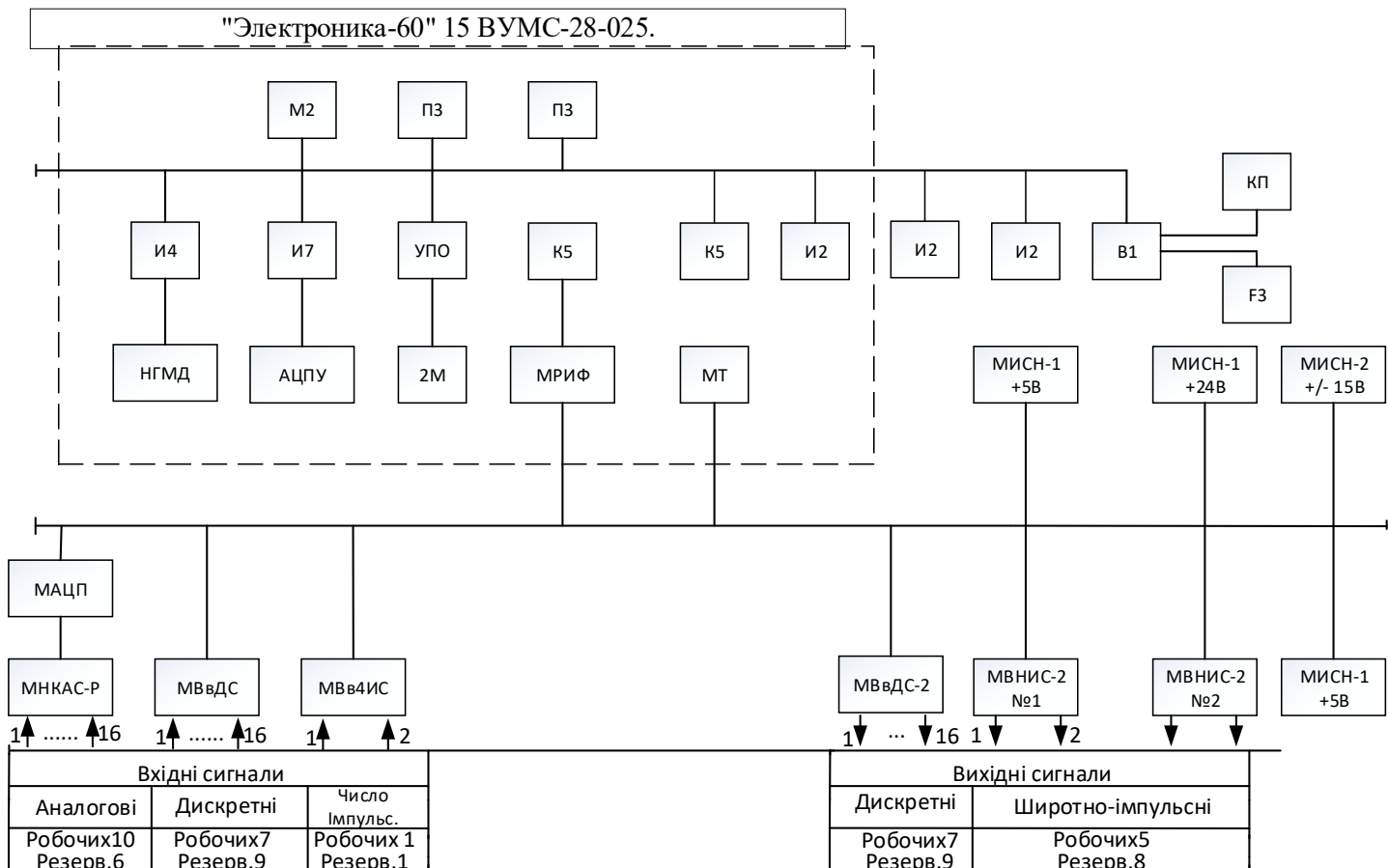


Рис.2.3. Структурна схема керувального обчислювального комплексу

Основною частиною керувального обчислювального комплексу є мікро-ЕОМ "Электроника-60" 15 ВУМС-28-025.

Вона складається із центрального процесора М2, двох оперативних запам'ятовуючих пристроїв програмного забезпечення ПЗ з об'ємом пам'яті 64 кбайта, пристрою паралельного обміну І2, пристрою послідовного обміну УПО, інтерфейса накопичення на гнучких дисках І4, інтерфейса друкованого пристрою І7 й двох конекторів К5.

Пристрій зв'язку з об'єктом (ПЗО) розроблено Пермським спеціалізованим пуско-налагоджувальним управлінням (ПСПНУ) по автоматизованим системах керування забезпечує введення в ЕОМ десяти аналогових, семи дискретних і



одного число-імпульсних сигналів і виведення шести дискретних і п'яти широтно-імпульсних сигналів.

#### 2.4.3. Техніко-економічні показники АСКТП

АСКТП виробництва паперу була впроваджена на папероробній машині №4 "Югла" виробничого об'єднання "Латбумпром" в 1984 р.

Впровадження системи керування дозволило зменшити витрату волокнинних матеріалів і пари на сушку за рахунок зниження маси  $1\text{м}^2$  і підвищення кінцевої вологості паперового полотна.

Стабілізація основних параметрів технологічного процесу дала можливість зменшити кількість обривів паперового полотна і збільшити продуктивність машини.

Таблиця 2.1. Перелік складових частин комплексу технічних засобів

№	Ум. познач	Найменування	Кількість
1	2	3	4
1	М2	Центральний процесор	1
2	ПЗ	Пристрій запоминальний	2
3	И4	Інтерфейс накопичувача НГМД	1
4	И2	Пристрій паралельного обміну	1
5	УПО	Пристрій послідовного обміну	1
6	И7	Інтерфейс DZM-180	1
7	КБ	Коннектор	1
8	В1	Пристрій керування	1
9	НГ MD	Пристрій уведен.-виведення на дисплей	1
10	D3M-180	Мозаич.аналог.циф.друк.пристрій	1
11	МВШИТ-2	Модуль виведення широт.імпульс.сигналів	1
12	МНКАС-А	Модуль нормалізації і комутації	1
13	МВВЧИС	Модуль уведн.число-імпульс.сигналів	1

Продовження табл.2.1.

1	2	3	4
14	МВДС	Модуль виводу дискрет.сигналів	1
15	МВДС-2	Модуль уведення дискрет.сигналів	1
16	ЦМ	Цифровий модуль	1
17	ТК	Технологічна клавіатура	1
18	DM	Дисплейний модуль	1
19	F8	Фотоелект.пристрій уведення з ленти	1
20	КП	Алфавітно-цифрова клавіатура	1

Таблиця 2.2 Перелік складових частин керувального обчислювального комплексу 15ВУМС-28-025

№	Ум. познач	Найменування	Кількість
1	2	3	4
Керувальний обчислювальний комплекс			
1	М2	Центральний процесор	1
2	ПЗ	Запам'ятовуючий пристрій	2
3	И4	Інтерфейс напикичувача ГМД	1
4	И7	Інтерфейс ДЗМ-180	1
5	УПО	Пристрій послідовного обміну	1
6	К5	Коннектор	2
7	И2	Пристрій паралельного обміну	1
8	НГМД	Пристрій уведення-виведення	1
9	КЦП	Мозаїчний оперативно-цифровий пристрій	1

Продовження табл.2.2.

1	2	3	4
10	DM	Дисплей алфавітно-цифровий	1
Додаткові модулі			
11	И2	Пристрій паралельного обміну	2
12	B1	Пристрій керування	1
13	F6	Фотоелектричний пристрій	1
14	КП	Електронна алфавітно-цифрова клавіатура	1
Нестандартні модулі з'єднання з об'єктом			
15	MT	Модуль таймера	1
16	МРИФ	Модуль розширювального інтерфейса	1
17	МАЦП	Модуль аналогово-цифрового перетворення	1
18	МНКАС-Р	Модуль комут.аналог.сигналу релейний	1
19	МВвДС	Модуль введення дискретного сигналу	1

### 3. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПАПЕРОРОБНОЇ МАШИНИ

#### 3.1. Математичні моделі складових частин і елементів мокрої частини папероробної машини

Виходячи із технологічної схеми універсальної тихохідної папероробної машини (рис.1.1.) розроблено спрощену технологічну схему мокрої частини такої папероробної машини( рис.3.1).

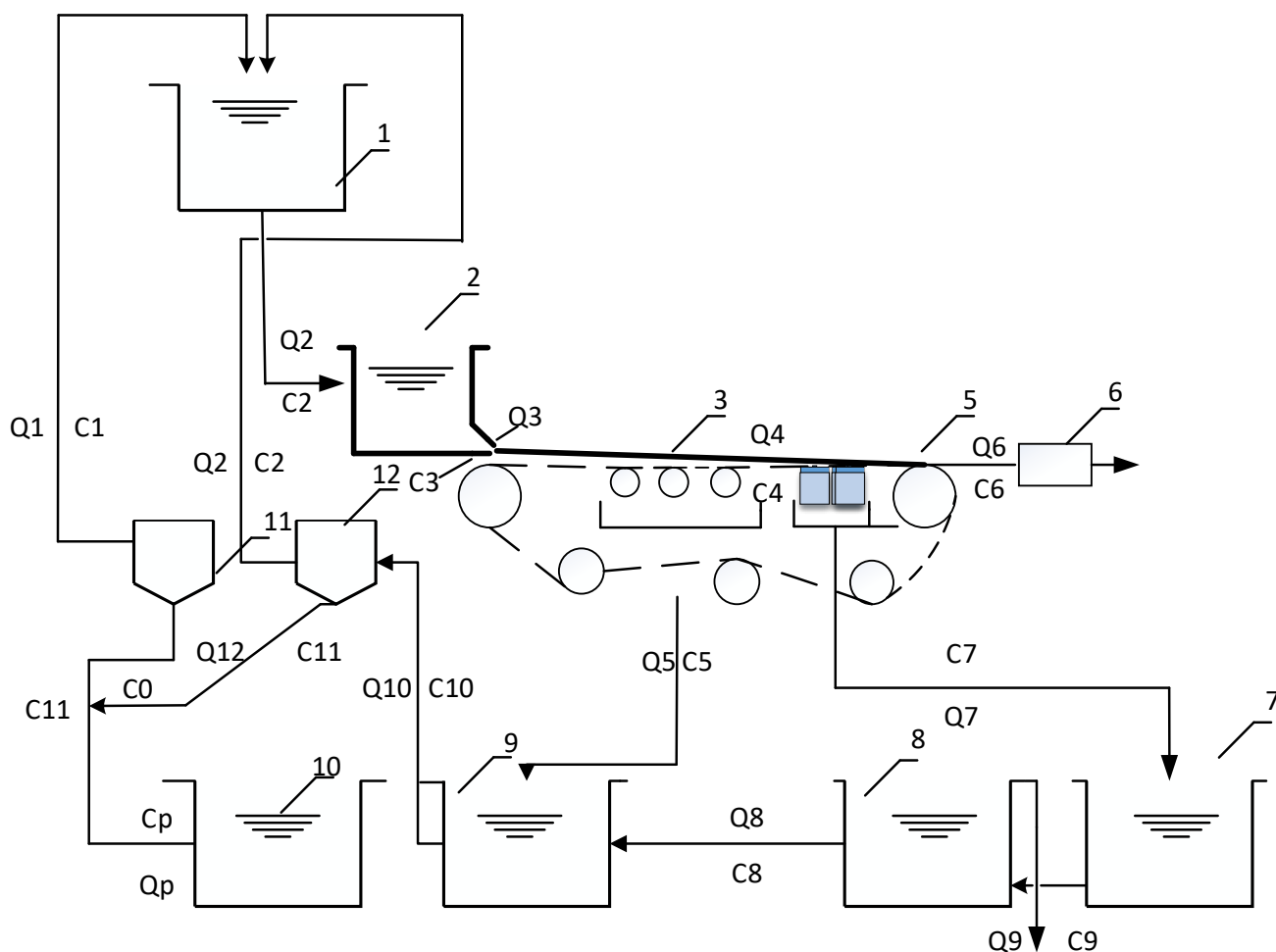


Рис.3.1. Спрощена технологічна схема мокрої частини папероробної машини:

1-змішувач MBK з ОВ; 2- напірний ящик; 3-регістрові валики; 4- відсмоктуючі ящики; 5-гауч-вал; 6- сушильна частина машини; 7-резервуар сосунної води; 8-буферний резервуар; 9- резервуар регістрової води; 10-машинний басейн; 11-очищувач MBK; 12- очищувач ОВ

### 3.1.1. Статичні моделі

#### 3.1.1.1. Рівняння матеріального балансу

Рівняння статички окремих елементів і частин мокрої машини ПРМ, якими можна описати їхні властивості, мають один і той же вид, що й рівняння які використовують у нафтохімії для описання дистиляційної колони.

Це так звані рівняння матеріального балансу. Позначення на рисунку 3.1 означає наступне:

$Q_i$ - витрати речовин,  $\text{м}^3/\text{г}$  ( $\text{л}/\text{с}$ );

$C_i$ - концентрації маси,  $\text{г}/\text{л}$  ( $\%$ );

$V_i$ -об'єм ванни (резервуара) змішувача потоків,  $\text{м}^3$ ;

$L_i$ - довжина трубопроводів чи частин машини (сітка, сушильна частина),  $\text{м}$ ;

$V_M$ - швидкість машини,  $\text{м}/\text{хв}$  ( $\text{м}/\text{с}$ );

$T_i$ - стала часу,  $\text{с}$ ;

$t_i$  – поточний час,  $\text{с}$ ;

$\theta_i$  – витрата абс.сухої речовини,  $\text{г}/\text{с}$  ( $\text{кг}/\text{с}$ ).

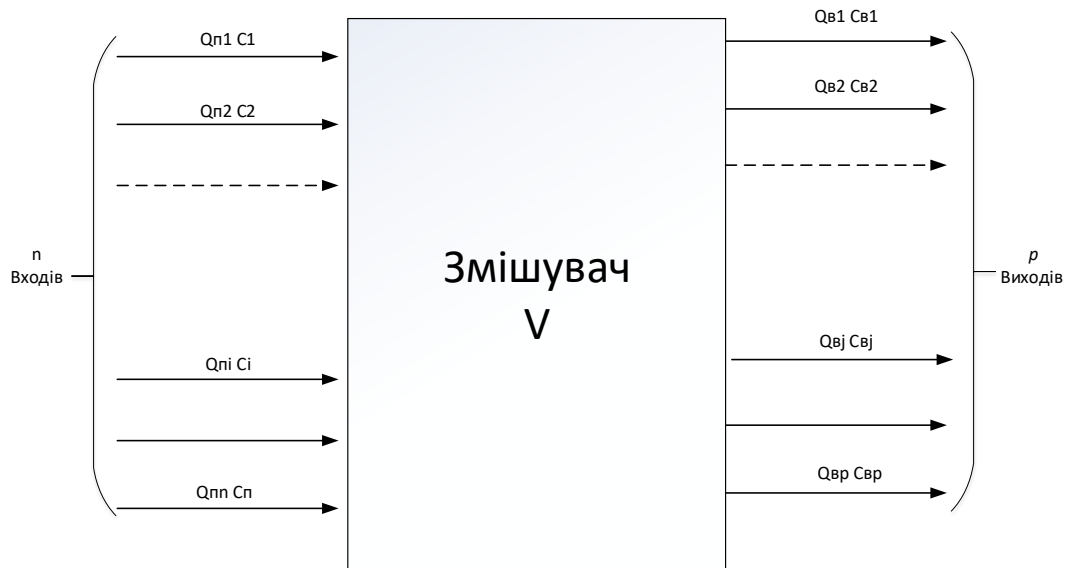
Для побудови моделей окремих елементів і частин папероробної машини зроблено такі припущення:

1. Ванни і змішувальні басейні мають сталий рівень води і маси при сталому об'ємі.

2. Зміни концентрації маси у них незначні.

3. Додаток свіжої води у мокру частину машини не враховується.

Розглянемо змішувач, що має  $n$  вхідних і вихідних потоків(рис.3.2).

Рис.3.2. Змішувач з  $n$  входами і  $p$  виходами

Нехай у змішувач подається маса із загальною витратою  $Q_{\pi i}$ , а на виході в загальному випадку утворюється загальна витрата маси  $Q_{вj}$  із загальною концентрацією  $C_{вj}$ . Якщо припустити, що у змішувачі маємо ідеальне перемішування то

$$C_{вj} = C_B = \text{const}, \forall j \in (1, p).$$

Тоді рівняння матеріального балансу по витраті маси можна подати так:

$$\sum_{i=1}^n Q_{\pi i} = \sum_{j=1}^p Q_{вj}. \quad (3.1)$$

Аналогічно, рівняння матеріального балансу по витраті абс.сухої речовини має такий вигляд:

$$\sum_{i=1}^n Q_{\pi i} C_i = \sum_{j=1}^p Q_{вj} C_{вj}. \quad (3.2)$$

На підставі припущення щодо ідеального змішування потоків

$$C_{вj} = C_B = \text{const},$$

Отже,

$$\sum_{i=1}^n Q_{\pi i} C_i = C_B \sum_{j=1}^p Q_{вj}. \quad (3.3)$$

Рівняння (3.3) дозволяє визначити концентрацію маси на виході змішувальних потоків маси, якщо відомі характеристики вхідних потоків. В такому разі

$$C_B = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{pi} C_i}{\sum_{i=1}^n Q_{pi}}. \quad (3.4)$$

Як приклад, розглянемо змішувач маси високої концентрації (МВК) з обіговою водою (ОВ) з метою одержання маси низької концентрації (МНК), яка подається до напірного ящика (рис.3.3, а).

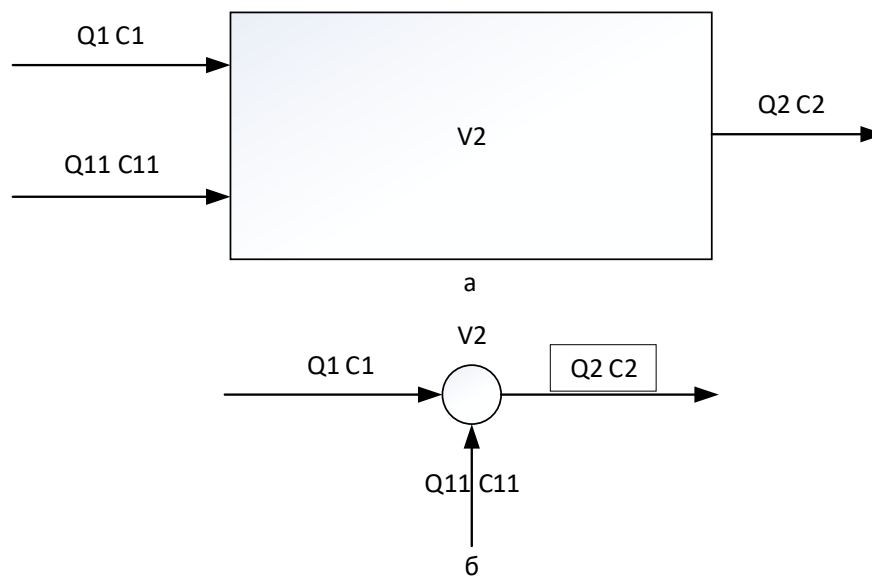


Рис.3.3. Змішувач маси високої концентрації (МВК) з обіговою водою (ОВ):

а-принципова схема; б-структурна схема

Нехай  $Q_1$  витрата маси високої концентрації з концентрацією  $C_1$ , а  $Q_{11}$  - це витрата обігової води з концентрацією  $C_{11}$ ;  $V_2$  - об'єм змішувача;  $Q_2$  - витрата розбавленої маси з концентрацією  $C_2$ . У такому випадку  $n=2$ , а  $p=1$ . Отже, рівняння матеріального балансу по масі і рівняння по витраті абс. сухої речовини можна подати так:

$$\begin{cases} Q_1 + Q_{11} = Q_2; \\ Q_1 C_1 + Q_{11} C_{11} = Q_2 C_2. \end{cases} \quad (3.5)$$

Систему рівнянь (3.5) можна подати у вигляді структурної схеми з центром  $V_2$ , які представляють собою змішувач, що має два входи і один вихід (рис.3.3,б). Цю схему розроблено на підставі системи рівнянь (3.5).

З метою вивчення статичних властивостей мокрої частини ПРМ і вона ідентична електричним схемам, які пояснюють закони Кіргофа. Виходячи з цього легко побудувати розрахункову схему мокрої частини папероробної машини (рис.3.4).

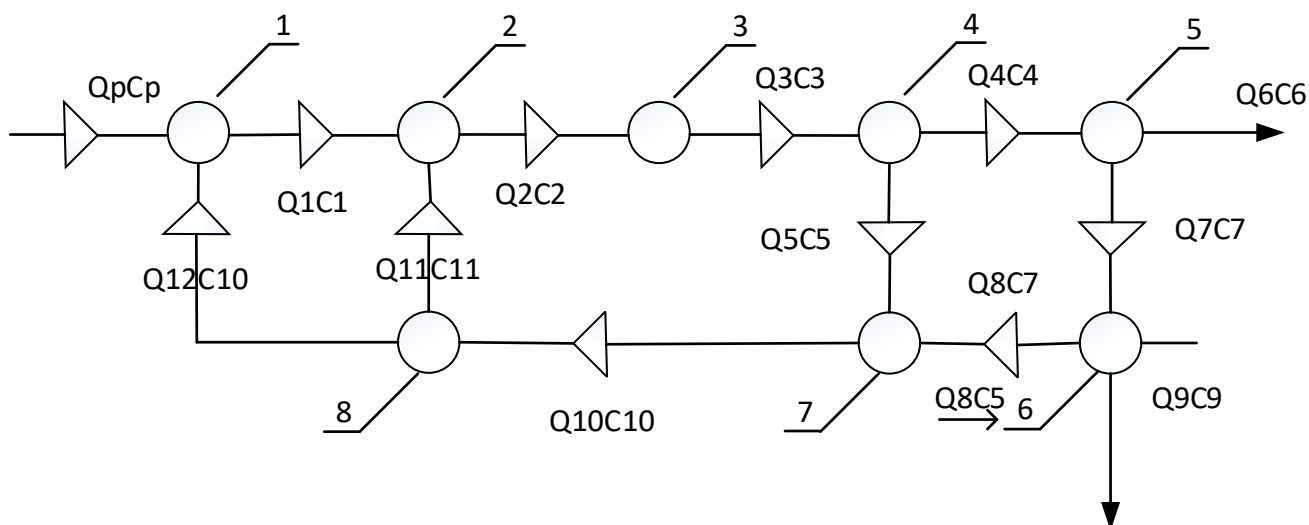


Рис.3.4. Розрахункова схема мокрої частини папероробної машини:

1-вузол розбавлення МВК, пов'язаний з її регулюванням; 2-змішувач МВК і ОВ;  
3-напірний ящик; 4-сітка; 5-відсмоктуючі ящики і гауч-вал; 6-буферний резервуар; 7-  
резервуар реєстрової води; 8-очищувачі обігової води

Абс.суху масу  $1\text{ м}^2$  паперового полотна в кінці сітки машини можна визначити за формулою

$$G_r = \frac{\theta_6}{v V_M}, \quad (3.6)$$

де  $\theta_6 = Q_6 C_6$  - продуктивність машини, кг\г;

$V_M$  — швидкість машини, м\г; в- необрізна ширина паперового полотна, м.

### 3.1.1.2. Характеристики мокрої частини папероробної машини

Для кількісної і якісної оцінки процесу обезводнення маси на сітці машини, необхідно мати узагальнену характеристику мокрої частини машини, подібну мій, яка використовується для аналізу електричних кіл (знаючи активний і реактивний опір кола, можна визначити силу струму, якщо відоме значення



напруги на затискачах електричного кола). Такого характеристикою мокрою частини ПРМ можуть слугувати коефіцієнт утримання волокна на сітці машини.

Утримання волокна на сітці машини характеризуються процентним вмістом волокна у паперовому полотні у кінці машини по відношенню до кількості волокна, яка подається на її.

Розглянемо структурну схему сітки, представлену на рис.3.5.

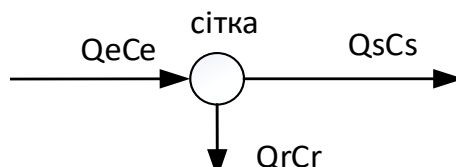


Рис.3.5. Структурна схема сітки

Аналіз наведеної схеми свідчить, що тут маємо один центр (сітка) з одним входом і двома виходами: вхід паперового полотна в сушильну частину машини і вхід обігової води у підсіткову ванну.

Визначимо, виходячи із цієї схеми три коефіцієнти:

1. Коефіцієнт витрати маси;
2. Коефіцієнт витрати волокна;
3. Коефіцієнт концентрації маси.

Коефіцієнт витрати маси

$$\rho_d = \frac{Q_s}{Q_e}, \quad (3.7)$$

де  $Q_s$  -витрата маси, яка подається в сушильну частину машини;

$Q_e$ - витрата маси, яка подається на сітку машини

Коефіцієнт концентрації маси

$$\rho_c = \frac{C_s}{C_e}, \quad (3.8)$$

де  $C_s$  -витрата маси, яка подається в сушильну частину машини;

$Q_e$ - витрата маси, яка подається на сітку машини.

Коефіцієнт витрати волокна

$$\rho_m = \frac{Q_s C_s}{Q_e C_e} = \rho_d \rho_c . \quad (3.9)$$

Ідеальна робота ПРМ буде тоді, коли все волокно, яке подається на сітку машини буде відкладене на ній, або іншими словами тоді, коли концентрація підсіткової води.  $C_r=0$ . Отже, ідеальний випадок буде тоді, коли

$$\rho_m = 1$$

або коли

$$\rho_d = \frac{1}{\rho_c} .$$

Коефіцієнт  $\rho_c$  досить часто використовують на практиці, прийнявши його значення рівень приблизно 100. Тоді коефіцієнт

$$\rho_d \approx 0 .$$

В такому випадку

$$Q_r = Q_e .$$

Коефіцієнти  $\rho_i$ ,  $i=d, c, M$  Також можна визначити, але вони не являються сталими величинами, позаяк залежать від робочих характеристик ПРМ та якості і складу маси. Отже,

$$\rho_i = f_i(Q, C, V_M, \rho),$$

де  $Q$ - витрати речовин,  $C$  -концентрації маси,  $V_M$  швидкості машини та  $\rho$ - композиція маси. Функціональні залежності  $f_i$  дуже складні.

Чисельні дослідження свідчать, що система обезводнення маси на сітці є системою з розподіленими параметрами по довжині сітки. В данному дослідженні головною метою було не визначення цих залежностей, а тільки уточнення значень коефіцієнтів  $\rho_i$  для заданих робочих характеристиках ПРМ. При подальших дослідженнях можна бути не звертати уваги на всі ці параметри. Для керування масою 1 м<sup>2</sup> паперового полотна беруть до уваги тільки коефіцієнти  $\rho_m$  ( коефіцієнт витрати волокна) оскільки маса 1 м<sup>2</sup> паперового полотна прямопропорційна витратні волокна.

Коефіцієнт

$$\rho_M = \frac{\theta_s}{\theta_e},$$

де  $\theta_s = Q_s C_s$ ;  $\theta_e = Q_e C_e$

Будемо вважати, що

$$\rho_M = f_i(\theta_e, V_M), \quad (3.10)$$

де  $V_M$  швидкість папероробної машини.

Визначимо три коефіцієнти утримання: статичний, динамічний і провалу волокна.

Статичний коефіцієнт утримування волокна

$$\rho_M = \frac{\theta_s}{\theta_e}.$$

Звідси випливає, що

$$\theta_s = \rho_M \theta_e$$

або з урахуванням виразу (3.10)

$$\theta_s = f(\theta_e, V_M),$$

Динамічний коефіцієнт утримування волокна

$$\rho_{dyn} = \frac{d\theta_s}{d\theta_e}.$$

Динамічний коефіцієнт є функцію таких змінних як  $\theta_e$  і  $V_M$ . Отже,

$$\rho_{dyn} = \rho_M + \rho_a.$$

Коефіцієнт провалу волокна

$$\rho_a = \theta_e \frac{\partial f(\theta_e, V_M)}{\partial \theta_e},$$

або з урахуванням виразу (3.10)

$$\rho_a = \theta_e \frac{\partial \rho_M}{\partial \theta_e}.$$

*Примітка.* На наведені вище визначення коефіцієнтів було звернено таку увагу тому, бо вони відіграють дуже важливу роль в подальших дослідженнях і багато спеціалістів плутають статичний і динамічний коефіцієнт утримування волокна, і приймають їх за одну і ту ж величину.

Витрату волокна, яке відводиться під сітку машини можна визначити так:

$$\theta_r = Q_r C_r$$

або

$$\theta_r = Q_e - \theta_s = \theta_e \left(1 - \frac{\theta_s}{\theta_e}\right)$$

тобто

$$\theta_r = Q_e (1 - \rho_M).$$

Оскільки

$$\rho_M = f(\theta_e, V_M),$$

то

$$\theta_r = \theta_e (1 - f(\theta_e, V_M)).$$

Функцію  $f(\theta_e, V_M)$  подамо так:

$$f(\theta_e, V_M) = 1 - K e^{-\frac{\theta_e}{\theta_M, V_M}} \quad 0 < K \leq 1 \quad (3.11)$$

Тоді

$$\theta_r = K \theta_e \times e^{-\frac{\theta_e}{\theta_M, V_M}}$$

Графік залежності (3.11) наведено на рис.3.6

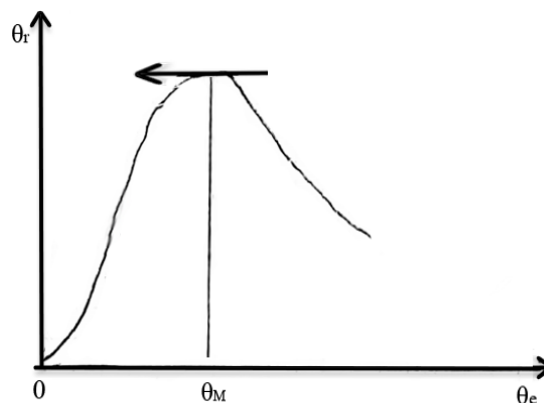


Рис.3.6. Залежність витрати волокна під сіткою машини від витрати волокна, що подається на сітку

З фізичної точки зору графік цієї залежності можна пояснити так: У разі незначної витрати волокна, яке подається на сітку ( $Q_e < Q_M$ ), створюється незначний волоконний шар в силу значної фільтрації цього шару. Тому кількість волокна, що проходить крізь сітку, буде більше, ніж кількість волокна, що залишається на сітці. Виходячи із деякого значення витрати  $Q_e = Q_M$  фільтраційна здатність шару зменшиться і тому буде створюватися тільки

волокнинний шар. Кількість волокна, що проходить крізь сітку зменшуються ( $Q_e > Q_M$ ). На ці межі сітка не відіграє роль фільтра, а її роль зводиться до транспортування шару до гауч-вала.

Отже, функцію (3.11) на першому участку ( $Q_e < Q_M$ ) подаємо так:

$$\rho_M = 1 - K e^{-\frac{\theta_e}{\theta_M \cdot V_M}}, \quad 0 \leq K \leq 1 \quad (3.12)$$

де  $\theta_M$  - витрата волокна при якому спостерігається максимальна витрата волокна, яке відводиться під сітку.

Графік функції (3.12) наведено на рис.3.7.

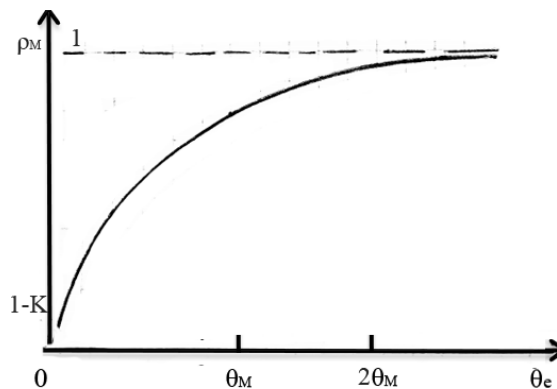


Рис.3.7. Залежність статичного коефіцієнта утримування волокна від витрати волокна, що подається на сітку

Функцію (3.11) на другому участку ( $Q_e = Q_M$ ) подамо так

$$\rho_a = K \frac{\theta_e}{\theta_M} e^{-\frac{\theta_e}{\theta_M \cdot V_M}}. \quad (3.13)$$

Графік функції (3.13) наведена на рис.3.8.

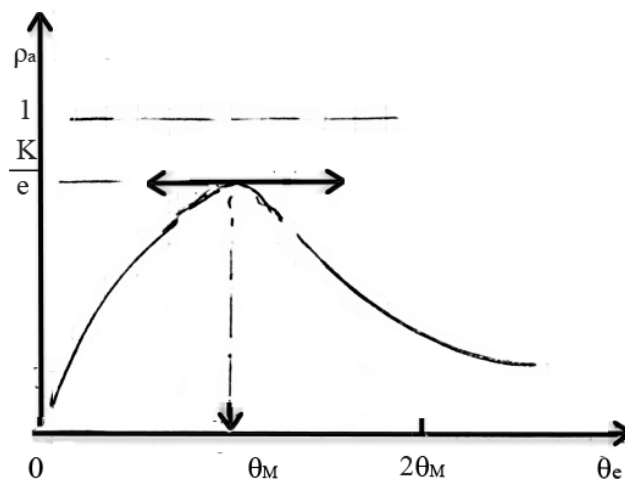


Рис.3.8. Залежність коефіцієнта провалу волокна від витрати волокна, що подається на сітку

Аналіз цього графіка свідчить, якщо

$$\theta_e = \theta_M,$$

то коефіцієнт провалу волокна досягає максимального значення

$$\rho_a = \frac{K}{e}.$$

Функцію (3.11) на третьому участку ( $Q_e > Q_M$ ) подамо так:

$$\rho_{dyn} = 1 + K e^{-\frac{\theta_e}{\theta_M \sqrt{e}}} \left( \frac{\theta_e}{\theta_M} - 1 \right). \quad (3.14)$$

Графік функції 3.14 наведено на рис 3.9

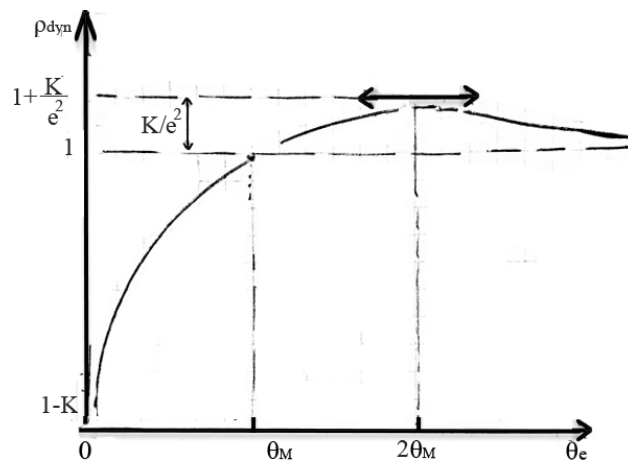


Рис.3.9. Залежність динамічного коефіцієнта утримування волокна від витрати волокна, що подається на сітку

Аналіз цього графіка свідчить, якщо

$$\theta_e = \theta_M,$$

то динамічний коефіцієнт утримування волокна

$$\rho_{dyn} = 1.$$

Якщо

$$\theta_e = 2\theta_M,$$

то

$$\rho_{dyn} = 1 + \frac{K}{e^2}.$$

Аналіз наведених графіків свідчить:

Якщо

$$\theta_e = \theta_m,$$

то

$$\rho_{dyn} = 1.$$

Якщо

$$\theta_e > \theta_m,$$

то

$$\rho_{dyn} > 1.$$

Якщо

$$\theta_e < \theta_m,$$

то

$$\rho_{dyn} < 1.$$

Якщо статичний коефіцієнт утримування волокна  $p_m < 1$ , то динамічний коефіцієнт утримування волокна  $\rho_{dyn} \geq 1$ , . Це призводить до появи резерву утримування волокна.

Максимальне значення динамічного коефіцієнта утримування волокна на сітці ( рис. 3.9)

$$\rho_{dyn \max} = 1 + \frac{K}{e^2}. \quad K \leq 1;$$

тобто, якщо  $K=1$ , а  $e=2.7282$ , то

$$1 \leq \rho_{dyn} < 1.13.$$

Аналіз наведених розрахунків свідчать, що цей коефіцієнт близький до 1.

3.1.1.3. Експериментальне дослідження і розрахунок статичних характеристик мокрої частини

Досліди виконувалися за двома видами паперової маси: маса з високим статичним коефіцієнтом утримування волокна ( $\rho_m = 0,95$ ) і маса з низьким статичним коефіцієнтом утримування волокна ( $\rho_m = 0,65$ ). У першому експерименті це була стовідсоткова крафт-целюлоза, а у другому- суміш, що

складається з 60% целюлози в листвяних порід і 40% крафт-целюлози. Досліди виконувались на пілотних установках  $n^{\circ}A6$  і  $n^{\circ}69$ . Визначення статичного коефіцієнта утримування волокна ( $\theta_r/\theta_c$ ) проводилось у двох частинах мокрої частини ПРМ : після реєстрових валиків і після гауч-вала.

Результати експериментів, виконані у зоні реєстрових валиків з різними видами маси, наведено на рис.3.10.

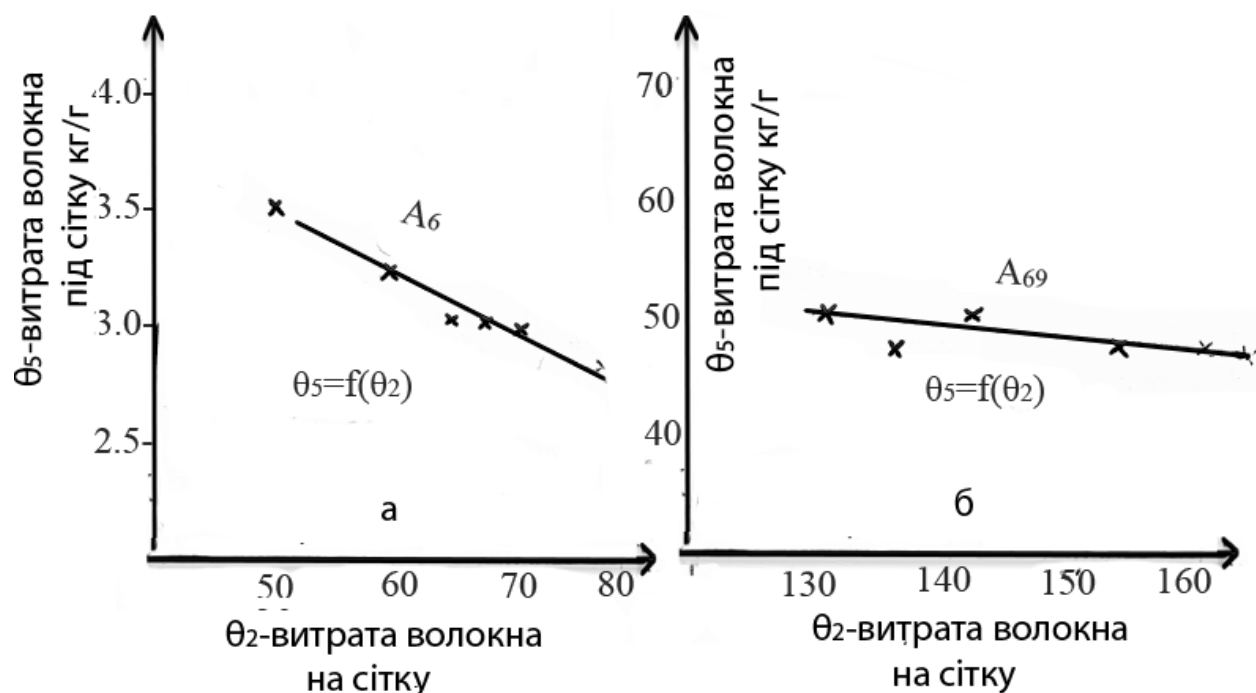


Рис.3.10. Залежність витрати волокна, що відводиться після реєстрів від витрати волокна, яке подається на сітку і видами маси:

а- крафт-целюлоза; б-суміш 60% листвяної целюлози і 40% крафт-целюлози.

Аналіз наведених залежностей свідчить, що провал волокна крізь сітку носить спадний характер, а це говорить про те, що процес зневоднення маси у цій зоні мокрої частини (рис.3.6) проходить згідно з умовою  $Q_e > Q_m$ .

Результати експериментів, виконані у зоні гауч-вала з різними видами маси, наведено на рис 3.11.



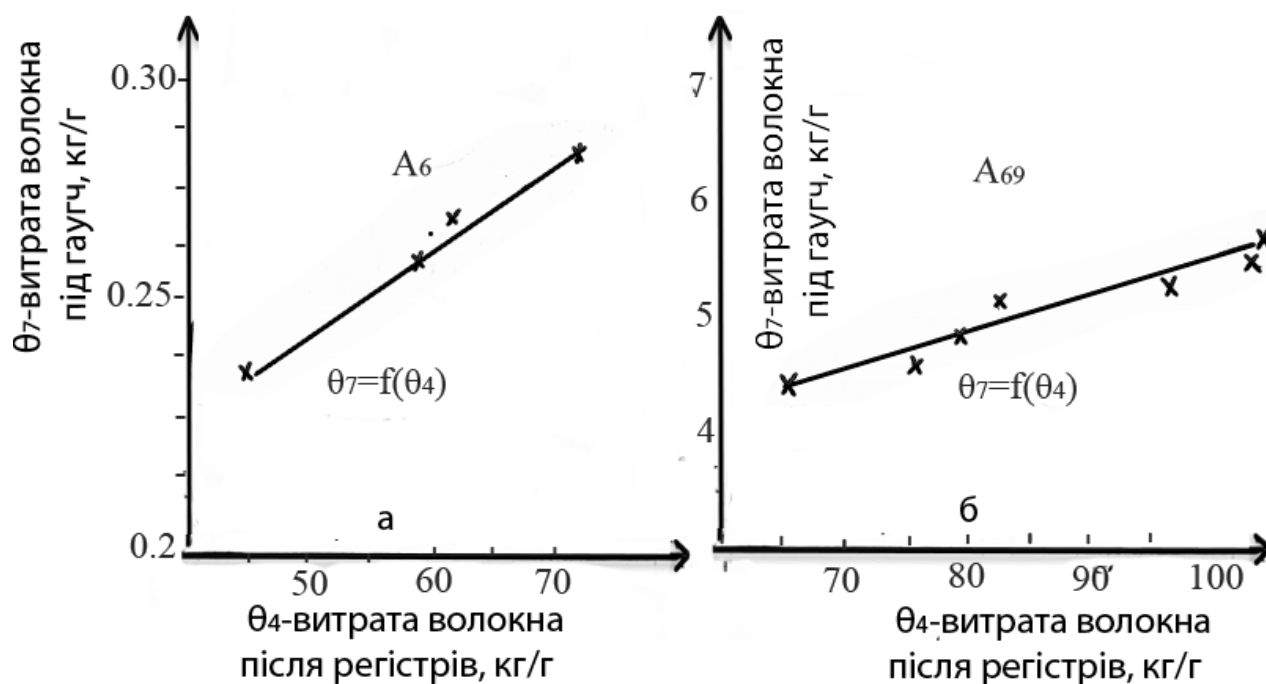


Рис.3.11. Залежність витрати волокна, що відводиться після гауч-вала від витрати волокна, яке знаходиться після реєстрів і виду маси.

а- крафт-целюлоза; б-суміш 60% листвяної целюлози і 40% крафт-целюлози.

Аналіз наведених графіків свідчить, що провал волокна крізь сітку має зростаючий характер, а це свідчить про те, що зневоднення маси у цій зоні мокрої частини (рис.3.6) протікає згідно з умовою  $Q_e < Q_m$ .

Слід сказати, що у відмічених участках зневоднення маси спостерігаються лінійні залежності.  $Q_5 = f(\theta_2)$  і  $\theta_7 = f(\theta_4)$ . Насамкінець відмітимо, що провал волокна має більш інтенсивний характер у реєстровій зоні мокрої частини папероробної машини.

Результати першого експерименту зведено у табл.3.1

Таблиця 3.1. Залежність статичного і динамічного коефіцієнтів утримання волокна після реєстрової частини машини від якості паперової маси

Коефіцієнт \ Маса	100% крафт-целюлоза	60% листвяної целюлози і 40% крафт-целюлози
Статичний коефіцієнт $p_m$	95%	65%
Динамічний коефіцієнт $p_d$	103%	101%

Аналіз наведених результатів має дуже важливе значення, оскільки він свідчить, що для мас, які мають різні якості, одержують практично значення динамічних коефіцієнтів утримування волокна близьких до одиниці (100%). Це дозволяє спростити динамічну модель мокрої частини машини.

Таким чином, статичну модель реєстрової частини з напірним ящиком відкритого типу, можна подати так:

$$\theta_5 = (1 - \rho_m)\theta_2.$$

Якщо врахувати кут нахилу прямої (рис.3.10), як

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta \theta_r}{\Delta \theta_s}$$

і прийняти, що

$$\operatorname{tg} \alpha = 1 - \rho_{dyn},$$

то витрату абс.маси, що поступає в резервуар обігової води можна визначити так:

$$\theta_r = (1 - \rho_{dyn})\theta_e + \theta_r(\theta_e = 0)$$

Значення динамічного коефіцієнта утримування волокна, одержаних експериментально, наведено в табл.3.2.

Таблиця 3.2. Залежність динамічного коефіцієнта утримування волокна після реєстрової частини машини і гауч-вала від якості паперової маси

		Маса	100% крафт-целюлоза	60% листвяної целюлози і 40% крафт-целюлози
Регістри		$\rho_{dyn}$	1,03	1,01
		$\theta_r(\theta_e = 0), \text{кг}\backslash\text{г}$	7,0	63,2
Гауч-вал		$\rho_{dyn}$	0,97	0,98
		$\theta_r(\theta_e = 0), \text{кг}\backslash\text{г}$	2,3	-0,82

На підставі наведених вище рівнянь, які визначають коефіцієнт утримування волокна на сітці, можна розробити статичну модель мокрої частини папероробної машини, якщо відомі властивості паперової маси та продуктивність машини. Вихідними даними для таких розрахунків є:

- Продуктивність машини: це дозволяє визначити абс.суху масу  $1\text{м}^2$  паперового полотна  $\theta_6$ ;
- Абс.суха маса  $1\text{м}^2$  паперового полотна ;
- Концентрація маси високої концентрації  $C_1$ ;
- Концентрація маси в напірному ящику  $C_2$ ;
- Швидкість машини  $V_M$ .

Вихідними даними щодо якості використовуваної сировини знання типу процесу зневоднення маси на сітці і значення статичного і динамічного коефіцієнтів утримання волокна на сітці.

У якості прикладу в табл.3.3 наведено відповідні розрахунки стосовно до мокрої частини папероробної машини (рис.1.1.) .

Таблиця 3.3. Вхідні і розрахункові параметри мокрої частини папероробної машини

№	Поз.	Назва параметра	Розм.	Значен.
1	2	3	4	5
1	$V_m$	Швидкість машини	м/хв	40
2	$C_1$	Концентрація маси високої концентрації	г/л	29,8
3	$G_r$	Маса $1\text{м}^2$ паперового полотна	г/м <sup>2</sup>	50
4	$Q_3$	Витрата маси із напірного ящика	м <sup>3</sup> /с	4,028
5	$Q_8$	Витрата підсіткової води	м <sup>3</sup> /с	0,462
6	$C_4$	Концентрація маси після реєстрів валиків	г/л	32,1
7	$Q_2$	Витрата маси до напірного ящика	м <sup>3</sup> /с	14,5
8	$C_2$	Концентрація маси у напірному ящику	г/л	4,6
9	$Q_n$	Витрата маси із маш.басейна	м <sup>3</sup> /с	0,555
10	$Q_9$	Витрата зливної води	м <sup>3</sup> /с	0,426
11	$C_6$	Концентрація маси після гауч-вала	г/л	213,2
12	$Q_5$	Витрата маси після реєстрових валиків	м <sup>3</sup> /с	12,5
13	$C_5$	Концентрація води після реєстр. валиків	г/л	0,2
14	$Q_1$	Витрата маси високої концентрації	м <sup>3</sup> /с	0,598
15	$Q_5$	Витрата води після реєстрових валиків	м <sup>3</sup> /с	3,472
16	$Q_{10}$	Витрата підсіткової води	м <sup>3</sup> /с	3,518
17	$C_8$	Концентрація зворотної води	г/л	0,14

Продовження табл.3.3

*1	2	3	4	5
18	Q <sub>7</sub>	Витрата зворот. води після гауч-вала	м <sup>3</sup> /с	0,17
19	C <sub>7</sub>	Концентрація підсіткової води	г/л	0,14
20	Q <sub>11</sub>	Витрата обігової води	м <sup>3</sup> /с	3,429
21	Q <sub>6</sub>	Витрата маси після гауч-вала	м <sup>3</sup> /с	0,083
22	Q <sub>12</sub>	Витрата обігової води	м <sup>3</sup> /с	0,089
23	C <sub>9</sub>	Концентрація зливної води	г/л	0,14
24	C <sub>п</sub>	Концентрація маси у маш. басейн.	г/л	35
25	C <sub>11</sub>	Концентрація обігової води	г/л	0,199
26	Q <sub>2</sub>	Витрата маси після змішувача	м <sup>3</sup> /с	0,402
27	Q <sub>7</sub>	Витрата підсіткової води	м <sup>3</sup> /с	0,742
28	C <sub>3</sub>	Концентрація маси після напірного ящика	г/л	4,6

### 3.1.2. Динамічні моделі

#### 3.1.2.1. Розробка математичних моделей

А. Представлення збирачів обігової води і змішувачів маси з обіговою водою

Розглянемо змішувач з  $n$  входом і  $p$  виходами (рис.3.2)

Рівняння матеріального балансу по масі у такому випадку слід записати

$$\sum_{i=1}^n Q_{ni} = \sum_{j=1}^p Q_{vj} + \sum_{j=1}^p \frac{dV_j}{dt} \quad , \quad (3.15)$$

де  $V_j$  - частина об'єму змішувача, у якому виконується перемішування маси з обіговою водою.

Об'єм цього елементарного змішувача

$$V_j = S_j H_j,$$

де  $S_j$  - площа поверхні елементарного змішувача,  $H_j$  - рівень розбавленої маси у змішувачі.

Оскільки  $S_j = \text{const}$ ,

то

$$\frac{dV_j}{dt} = S_j \frac{dH_j}{dt}.$$

Якщо перехідні процеси в елементарних змішувачах ідентичні, то

$$H_j = H \quad \forall j \in (1, p).$$

В такому випадку

$$\sum_{j=1}^p \frac{dV_j}{dt} = \sum_{j=1}^p S_j \frac{dH}{dt}.$$

Припустимо, що у розглядуваному змішувачі рівень маси підтримується сталим за допомогою спеціальних переливних пристроїв. Тоді

$$\frac{dH}{dt} = 0.$$

Отже, рівняння статички змішувача має вигляд:

$$\sum_{i=1}^n Q_{ni} = \sum_{j=1}^p Q_{vj}.$$

Диференціальне рівняння матеріального балансу абс.сухої речовини подамо так:

$$\underbrace{\sum_{i=1}^n Q_{ni} C_i}_{\text{вхід}} = \underbrace{\sum_{j=1}^p Q_{vj} C_{vj}}_{\text{вихід}} + \underbrace{\sum_{j=1}^p \frac{d(C_{vj} V_j)}{dt}}_{\text{перехід. процес в змішувачі}}. \quad (3.16)$$

Припустимо, щоб у змішувачі спостерігається ідеальне змішування маси високої концентрації і обігової води. Тоді

$$C_{vj} = C_v \quad \forall j \in (1, p),$$

а

$$\sum_{j=1}^p V_j = V -$$

загальний об'єм змішувача.

За таких умов

$$\sum_{j=1}^p \frac{d(C_{vj} V_j)}{dt} = \frac{d}{dt} [C_v \sum_{j=1}^p V_j] = \frac{d}{dt} (C_v V). \quad (3.17)$$

Оскільки, за припущенням, рівень маси у змішувачі сталий, то звідси випливає, що об'єм  $V = \text{const.}$  Отже,

$$\sum_{j=1}^p \frac{d(C_{Bj} V_j)}{dt} = V \frac{dC_B}{dt}.$$

Таким чином, диференціальне рівняння (3.17) матиме вигляд

$$\sum_{i=1}^n Q_{\pi i} C_i = C_B \sum_{j=1}^p Q_{Bj} + V \frac{dC_B}{dt}. \quad (3.18)$$

В практичних умовах наведені вище припущення здебільшого виконується.

Аналіз рівнянь (3.15) і (3.18) свідчить, що перше з них є лінійним, а друге – нелінійним. Лінеаризація нелінійного диференціального рівняння (3.18) дозволяє одержати наступне лінійне диференціальне рівняння змішувача:

$$\sum_{i=1}^n Q_{\pi i} \Delta C_i = \sum_{i=1}^p C_i \Delta Q_{\pi i} = \Delta C_B \sum_{j=1}^p Q_{Bj} + C_B \sum_{j=1}^p \Delta Q_{Bj} + V \frac{d(\Delta C_B)}{dt}.$$

У деяких змішувачах сума витрат мас залишається сталою (наприклад, змішувачі маси високої концентрації і обігової води). В такому випадку можна сказати, що

$$\sum_{j=1}^p Q_{Bj} = Q_o \quad \text{а} \quad \sum_{j=1}^p \Delta Q_{Bj} = 0.$$

Отже

$$Q_o \Delta C_B + V \frac{d(\Delta C_B)}{dt} = \sum_{i=1}^n Q_{\pi i} \Delta C_i + \sum_{i=1}^{\pi} C_i \Delta Q_{\pi i} \quad (3.19)$$

Як приклад, розглянемо використання лінійного диференціального рівняння (3.19) для представлення змішувача маси високої концентрації і обігової води (рис.3.3).

Згідно з рівняннями (3.15) і (3.18)

$$\begin{cases} Q_1 + Q_2 = Q_2 + \frac{dV_2}{dt}; \\ Q_1 C_1 + Q_{11} C_{11} = Q_2 C_2 + \frac{d(V_2 C_2)}{dt}. \end{cases} \quad (3.20)$$

Оскільки керувальні діяння змінюють витрату МВК  $Q_1$  і ОВ  $Q_{11}$  і

$$Q_1 + Q_2 = Q_0 = \text{const},$$

то за таких умов

$$\Delta Q_1 = -\Delta Q_{11} = q.$$

Отже, систему рівнянь (3.20) можна подати так:

$$\begin{cases} Q_1 + Q_{11} = Q_0; \\ Q_1 C_1 + Q_{11} C_{11} = Q_0 \left( C_2 \frac{V_2}{Q_0} \times \frac{C_2}{dt} \right), \end{cases}$$

де

$$\begin{cases} Q_2 = Q_0 = \text{const}; \\ \frac{dV_2}{dt} = 0. \end{cases}$$

Якщо замість змінних витрат, увести змінні витрат абс.сухої речовини, тобто  $\theta_i$ , то матимемо наступне лінійне диференціальне рівняння розглядуваного змішувача

$$\theta_1 + \theta_{11} = \theta_2 + T_2 \frac{d\theta_2}{dt}, \quad (3.21)$$

де

$$\theta_1 = Q_1 C_1; \theta_{11} = Q_{11} C_{11}; \theta_2 = Q_2 C_2 = Q_0 C_2;$$

$$T = \frac{V_2}{Q_0} -$$

стала часу змішувача МВК з ОВ.

Таким чином, припущення стосовно сталості об'єму змішувача та витрати маси, яка відводиться із нього, дозволило одержати математичну модель змішувача у вигляді диференціального рівняння (3.21) зі сталим коефіцієнтом, який залежить від витрати маси, що витікає із нього.

Під час керування масою  $1\text{ м}^2$  паперового полотна потрібно змінювати витрата масу високої концентрації  $Q_1$  і обігової води  $Q_{11}$ . У такому випадку нелінійну модель (3.21) потрібно замінити на лінійну. Це можна зробити шляхом лінеаризації нелінійного диференціального рівняння (3.21). У відхиленнях воно має вигляд

$$T_2 \frac{d\theta_2}{dt} + \Delta\theta_2 = \Delta\theta_1 + \Delta\theta_{11}.$$

Оскільки

$$\Delta\theta_1 = Q_1^o \Delta C_1 + Q_1^o \Delta Q_1; \Delta\theta_{11} = Q_{11}^o \Delta C_{11} + Q_{11}^o \Delta Q_{11}; \Delta\theta_2 = Q_o \Delta C_2,$$

то

$$T_2 \frac{Q_o \Delta C_2}{dt} + Q_o \Delta C_2 = Q_1^o \Delta C_1 + Q_1^o \Delta Q_1 + Q_{11}^o \Delta C_{11} + Q_{11}^o \Delta Q_{11}$$

або

$$T_2 \frac{d\Delta C_2}{dt} + \Delta C_2 = \frac{Q_1^o}{Q_o} \Delta C_1 + \frac{C_1^o}{Q_o} \Delta Q_1 + \frac{Q_{11}^o}{Q_o} \Delta C_{11} + \frac{C_{11}^o}{Q_o} \Delta Q_{11}.$$

### Б. Представлення трубопроводів маси і обігової води

Транспортування маси по трубопроводах і перебування її на сітці машини не змінюють її концентрацію. Тому такі елементи мокрої частини машини можна представити ланками чистого запізнювання.

Запізнювання у  $i$  трубопроводі маси чи зворотної води обчислюють так:

$$\tau_i = \frac{V_i}{Q_i}, \quad (3.22)$$

де  $V_i$ -об'єм  $i$ -го трубопроводу;  $Q_i$  – витрата маси (води в  $i$ -трубопроводі).

Запізнювання, пов'язане з рухом мокрого паперового полотна разом з сіткою обчислюється за формулою:

$$\tau_c = \frac{L_c}{V_m}, \quad (3.23)$$

де  $L_c$ -довжина сітки;  $V_m$ -швидкість машини.

Коефіцієнт підсилення окремих елементів мокрої частини машини обчислюється виходячи із їх статичних і динамічних властивостей.

3.1.2.2. Дослідження моделі мокрої частини як об'єкта керування витратою абс.сухої речовини

3.1.2.2.1. Побудова детальної структурної схеми мокрої частини машини



Аналіз спрощеної технологічної схеми мокрої частини папероробної машини (рис.3.1 свідчить, що вона складається з декількох типових об'єктів (змішувача маси високої концентрації з обіговою водою, напірного ящика відкритого типу, резервуара сосунної води, резервуара реєстрової води, машинного басейна тощо), з'єднаних між собою відповідними трубопроводами. Кожний з таких об'єктів ( елементів) можна представити відповідним рівнянням, яке описує статичні чи динамічні його властивості.

Передавальна функція змішувача маси високої концентрації і обігової води як об'єкт керування витратою абс.сухої речовини

$$g_1(p) = \frac{\theta_2(p)}{\theta_1(p)} = \frac{1}{1 + T_2 p}, \quad (3.24)$$

де  $\theta_2(p)$  і  $\theta_1(p)$ - зображення за Лапласом абс.сухої маси на виході змішувача і вході в нього,  $T_2$ - стала часу змішувача.

Передавальна функція трубопроводу розбавленої маси, що подається до напірного ящика

$$g_2(p) = \exp(-\tau_2 p), \quad (3.25)$$

де  $\tau_2$ - запізнювання у трубопроводі розбавленої маси.

Передавальна функція напірного ящика як об'єкта керування витратою абс.сухої маси, що подається на сітку

$$g_3(p) = \frac{\theta_3(p)}{\theta_2(p)} = \frac{1}{1 + T_3 p}; \quad (3.26)$$

де  $T_3$  – стала часу напірного ящика;  $\theta_3(p)$ -зображення за Лапласом витрата маси, що подається на сітку.

Передавальна функція сітки машини

$$g_4(p) = \exp(-\tau_3 p), \quad (3.27)$$

де  $\tau_3$  – час транспортування маса від напірного ящика до реєстрових валиків.

Передавальна функція відсмоктуючих ящиків до гауч-вала

$$g_5(p) = \exp(-\tau_4 p), \quad (3.28)$$

де  $\tau_4$  – транспортування маси від реєстрових валиків до гауч-вала.

Передавальна функція трубопроводу подачі обігової води від відсмоктуючих ящиків і гауч-валу до резервуару обігової води

$$g_6(p) = \exp(-\tau_7 p), \quad (3.29)$$

де  $\tau_7$  – час транспортування обігової (сосунної) води ;

Передавальна функція збирача сосунної води

$$g_7(p) = \frac{\theta_9(p)}{\theta_7(p)} = \frac{1}{1 + T_8 p} ; \quad (3.30)$$

де  $T_8$ - стала часу збирача сосунної води;

$\theta_9(p)$  і  $\theta_7(p)$ - зображення за Лапласом витрати абс.сухого волокна, що подається в каналізацію і на вхід у збирач.

Передавальна функція збирача реєстрової і сосунної води

$$g_8(p) = \frac{\theta_{11}(p)}{\theta_{10}(p)} = \frac{1}{1 + T_{10} p} ; \quad (3.31)$$

де  $T_{10}$ - стала часу збирача реєстрової і сосунної води;

$\theta_{11}(p)$  і  $\theta_{10}(p)$ - зображення за Лапласом витрати абс.сухого волокна, що входить і виходить із збирача.

Передавальна функція трубопроводу подачі умовиводи із збирача води об'ємом  $V_{10}$  у збирач об'ємом  $V_8$

$$g_9(p) = \exp(-\tau_{10} p), \quad (3.32)$$

де  $\tau_{10}$ - запізнювання у трубопроводі обігової води, що подається із резервуара об'ємом  $V_{10}$  у резервуар об'ємом  $V_8$ .

Передавальна функція збирача загальної обігової води

$$g_{10}(p) = \frac{\theta_{11}(p)}{\theta_{10}(p)} = \frac{1}{1 + T_{11} p} ; \quad (3.33)$$

де  $T_{11}$ - стала часу збирача загальної обігової води.

Передавальна функція очищувача маси високої концентрації

$$g_{11}(p) = \exp(-\tau_{12} p) . \quad (3.34)$$

На підставі наведених передавальних функцій, а також коефіцієнта провалу волокна під реєстрову частину машини ( $K_1$ ) і коефіцієнта провалу

волокна під сосунну частину і гауч-вала ( $K_2$ ), а також коефіцієнта використання витрати абс.сухого волокна ( $K_3$ ), що іде в каналізацію, і коефіцієнта витрати абс.сухого волокна ( $K_4$ ), пов'язаного з автоматичним регулюванням концентрації маси високої концентрації на підставі використання обігової води, яка подається із збирача загальної обігової води, можна побудувати структурну схему мокрої частини папероробної машини як об'єкта керування абс.сухою масою (рис.3.12).

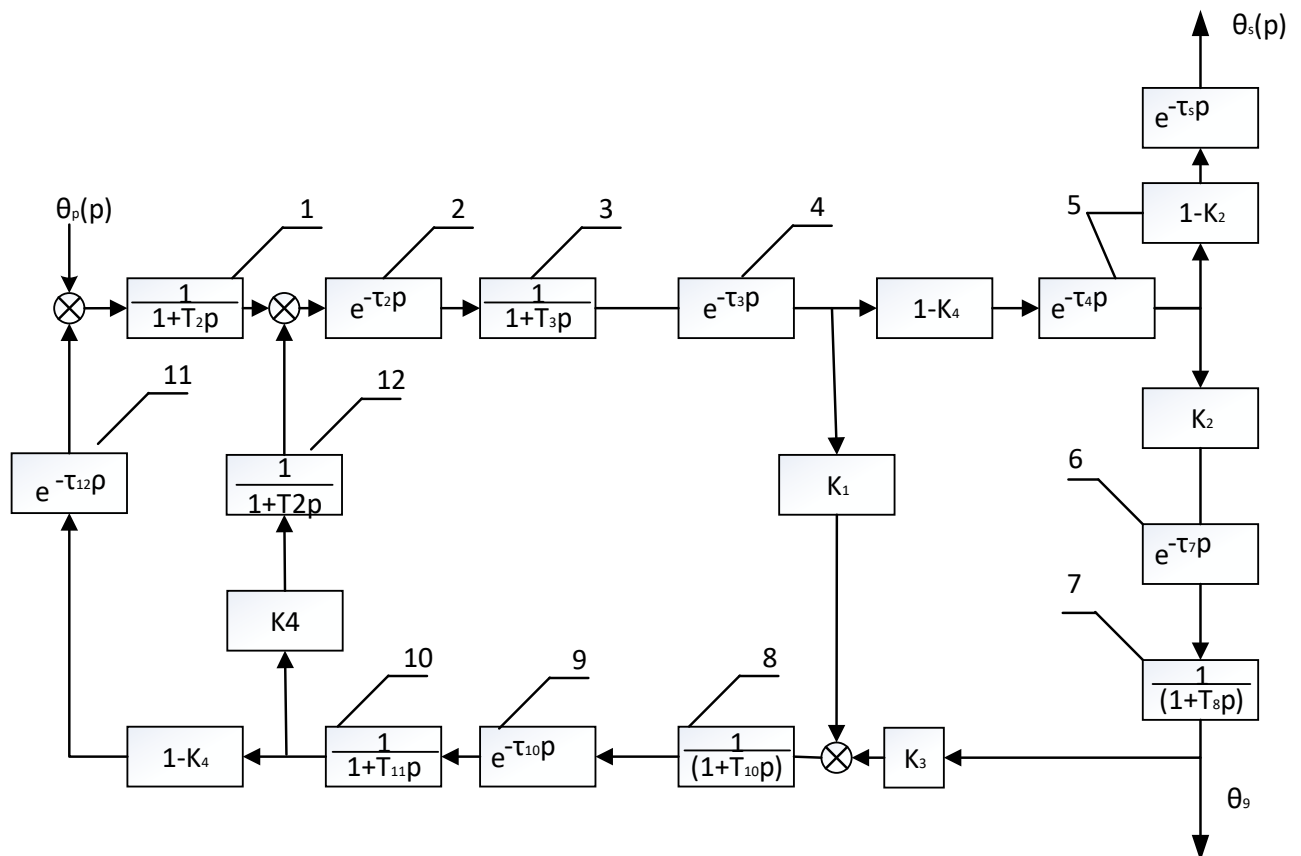


Рис.3.12. Детальна структурна схема папероробної машини по каналу « $\theta_p - \theta_s$ » як об'єкта керування витратою абс.сухої речовини:

1-змішувач MBK з ОВ; 2-трубопровід розбавленої маси; 3-напірний ящик відкритого типу; 4-сітка машини; 5-відсмоктуючі ящики; 6-трубопровід подачі ОВ від відсмоктуючих ящиків і гауч-вала до резервуару сосунної води; 7-резервуар сосунної води об'ємом  $V_8$ ; 8-збирач реєстрової і сосунної води  $V_{10}$ ; 9-трубопровід подачі ОВ із збирача води об'ємом  $V_{10}$  у резервуар об'ємом  $V_8$ ; 10-збирач загальної ОВ; 11-очишувачі MBK; 12-очишувачі ОВ

### 3.1.2.3. Дослідження стабільності моделі мокрої частини машини

Аналіз наведеної структурної схеми мокрої частини машини свідчить, що в ній маємо рециркуляцію обігової води. У зв'язку з цим необхідно дослідити стійкість такої системи. Слід сказати, що у реальних умовах роботи папероробної машини, такий контур досить стабільний. Отже, розроблена математична модель мокрої частини має бути також стійкою.

З метою дослідження розглядуваної системи розроблено передавальну функцію розімкнутої системи в припущенні, що  $K_1=0,026$ ;  $K_2=1$ ;  $K_3=0$ ;  $K_4=1$ .

В такому випадку передавальна функція розімкнутої системи

$$W(p) = \frac{\theta_s(p)}{\theta_p(p)} = \frac{K_1 - e^{-(\tau_2+\tau_3+\tau_{10})p}}{(1+T_2p)(1+T_3p)(1+T_{10}p)(1+T_{11}p)} \quad (3.35)$$

Числові значення параметрів, що характеризують передавальну функцію розімкнутої системи розглядуваної ПРМ такі:

$$K_1=0,026; \tau_2+\tau_3+\tau_{10}=28\text{с}; T_2=26\text{с}; T_3=7\text{с}; T_{10}=230\text{с}; T_{11}=50\text{с}.$$

Амплітудно-фазова характеристику (АФХ), яка відповідає передавальній функції (3.35), наведено на рис.3.13.

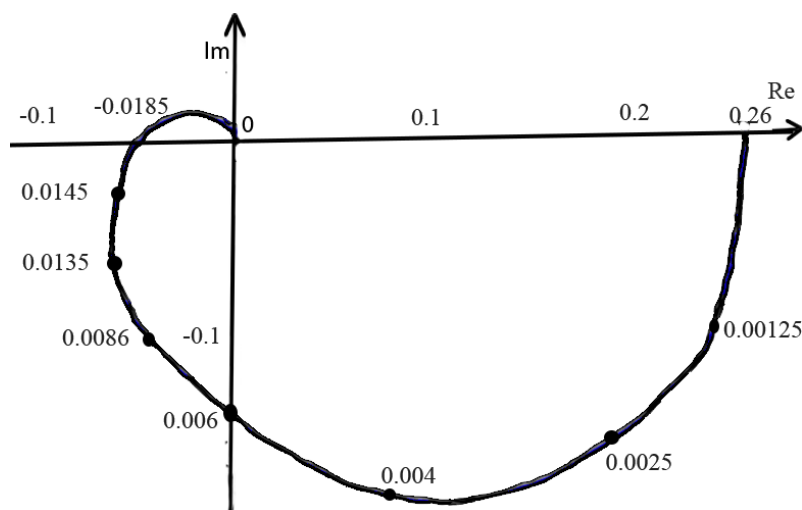


Рис.3.13. Амплітудно-фазова характеристика мокрої частини ПРМ (діаграма Нікольса)

Аналіз одержаної АФХ цієї системи свідчить, що оскільки коефіцієнт підсилення розімкнутої системи  $K_1$  дуже незначний і дорівнює  $-0.026$ , то ця система стійка. Це також впливає із діаграми Нікольса, оскільки годограф АХФ не заходить за точку з координатами  $(-1; 0)$ .

### 3.1.2.4. Спрощена математична модель мокрої частини машини

Оскільки розглядувана система має низьке значення коефіцієнта підсилення прямого контуру (динамічний коефіцієнт утримування волокна близький до одиниці), то немає сенсу враховувати вплив рециркуляційного потоку обігової води на динамічні властивості мокрої частини машини. Це підтверджують результати порівняння смуг пропускання частот детальної і спрощеної математичних моделей мокрої частини машини наведено нижче.

Таким чином, детально структурну схему папероробної машини (рис.3.12) можна замінити спрощеною структурною схемою папероробної машини (рис.3.14).

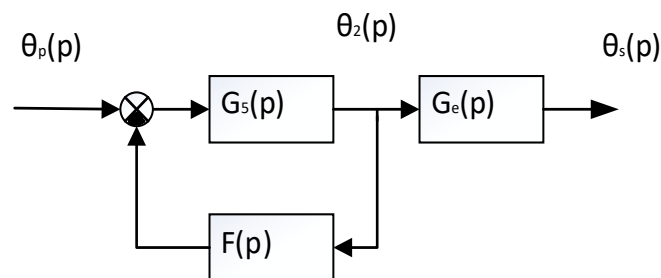


Рис.3.14. Спрощена структурна схема папероробної машини по каналу « $\theta_p - \theta_s$ » як об'єкт керування витратою абс.сухої речовини

Передавальна функція ПРМ по вказаному каналу

$$H(p) = \frac{\theta_s(p)}{\theta_p(p)}.$$

Нехай (рис.3.12)

$$G_1(p) = e^{-(\tau_2 + \tau_3)p};$$

$$G_2(p) = K + \frac{(1 - K_1)K_2K_3e^{-(\tau_4 + \tau_7)p}}{1 + T_8p};$$

$$G_3(p) = (1 - K_4)e^{-\tau_{12}p};$$

$$G_4(p) = (1 - K_1)(1 - K_2)e^{-(\tau_4 + \tau_5)p}.$$

Тоді передавальна функція (рис.3.14)

$$G_5(p) = \frac{1}{1 - K_4G_1(p)G_2(p)}.$$

Передавальна функція зворотного зв'язку

$$F(p) = G_1(p)G_2(p)G_3(p),$$

а передавальна функція

$$G_F = \frac{(1 - K_1)(1 - K_2)e^{-(\tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5)p}}{(1 + T_2p)(1 + T_3p)}.$$

Таким чином, спрощена математична модель папероробної машини по каналу " $\theta_p - \theta_s$ " має такий вигляд:

$$W2(\rho) = \frac{\theta_s(\rho)}{\theta_p(\rho)} = \frac{G_5(\rho)}{1 + G_4(\rho)F(\rho)}. \quad (3.36)$$

Згідно з передавальними і функціями (3.35) і (3.36) було розраховано логарифмічну амплітудно-частотну (ЛАЧ)  $A(\vartheta)$  і фазову частотну (ФЧ)  $\varphi(\vartheta)$  характеристику детальної (замкнутої) і спрощеної (розімкнутої) математичних моделей папероробної машини по каналу « $\theta_p - \theta_s$ » (рис.3.15).

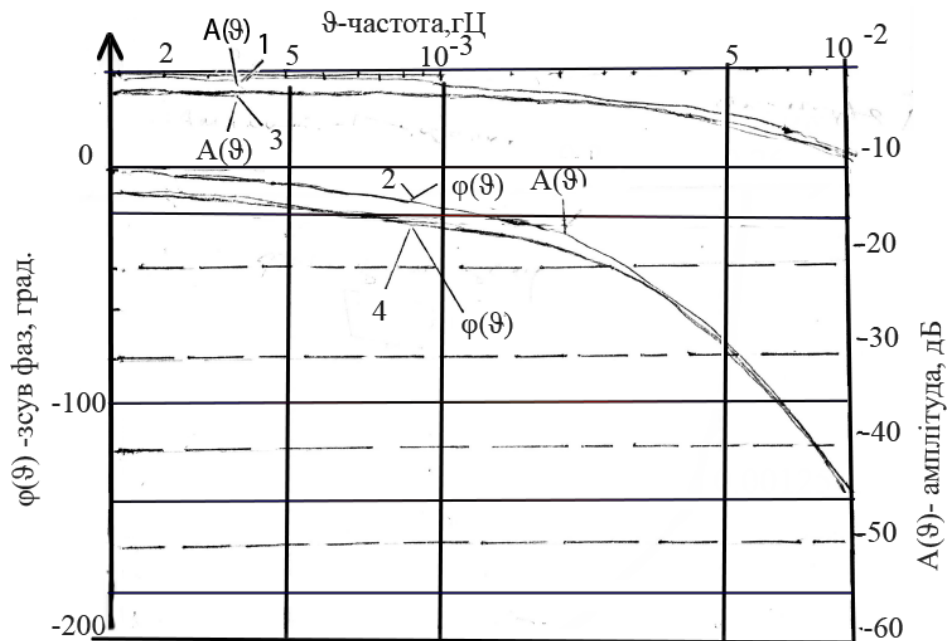


Рис.3.15. Логарифмічна амплітудно-частотна  $A(\vartheta)$  і фазочастотна  $\varphi(\vartheta)$

характеристика ПРМ по каналу « $\theta_p - \theta_s$ » (Діаграма Боде):

1 і 2-спрощена модель; 3 і 4 –детальна модель

Аналіз наведених частотних характеристик свідчить, що вони практично ідентичні, оскільки різниця між ЛАЧХ дорівнює 2-3дБ на низьких частотах, а на частотах більше, ніж  $2 \times 10^{-3}$  Гц вони співпадають.

Для підтвердження адекватності спрощеної математичної моделі папероробної машини було виконано порівняння теоретичної (модельної) перехідної функції маси  $1\text{ м}^2$  паперового полотна, яка відповідає передавальній функції (3.36) у разі стрибкоподібної зміни витрати маси високої концентрації, що подається на вхід моделі та реальної папероробної машини (рис.3.16).

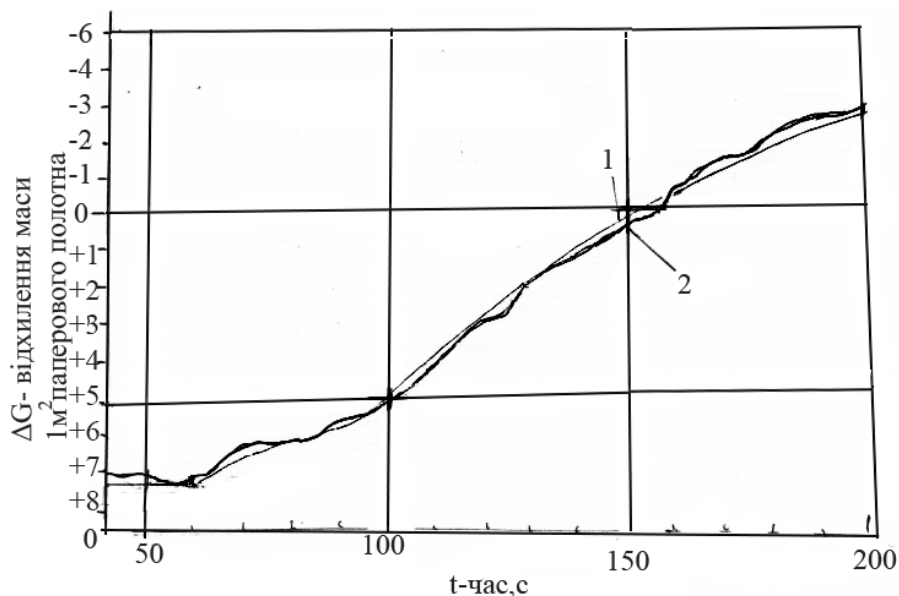


Рис.3.16. Графік перехідної функції маси  $1\text{ м}^2$  паперового полотна:  
1-теоретичний; 2-експериментальний.

Порівняння наведених графіків дозволяє визначити точність спрощеної моделі. У даному випадку вона складає 1%, що достатньо для практичних розрахунків.

Таким чином, математична модель тихохідної папероробної машини як об'єкта керування масою  $1\text{ м}^2$  паперового полотна, можна представити послідовним з'єднанням 3-х аперіодичних ланок 1-го порядку (змішувач маси високої концентрації з обіговою водою, напірний ящик і датчик маси  $1\text{ м}^2$  паперового полотна) та ланки запізнювання, рис 3.17.

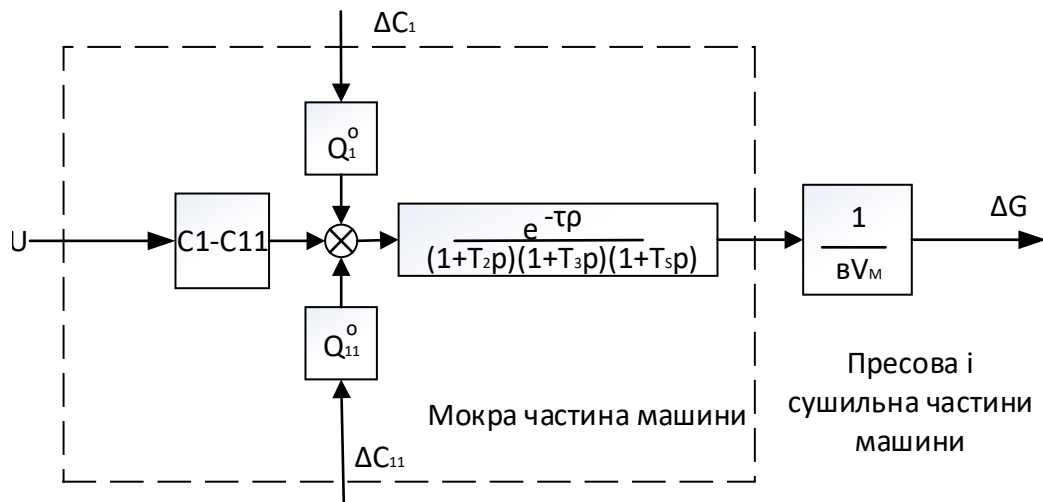


Рис.3.17. Структурна схема тихохідної папероробної машини як об'єкт керування масою  $1\text{ м}^2$  паперового полотна

На схемі  $u$ - керувальне діяння (витрата маси високої концентрації чи обігової води);  $\Delta C_1$  і  $\Delta C_{11}$  - відхилення маси високої концентрації і обігової води від їх усталених значень  $C_1^0$  і  $C_{11}^0$  - збурювальні діяння;  $T_2 T_3 T_4$ - відповідно, стала часу змішувача МВК з ОВ, напірного ящика і датчика маси  $1\text{ м}^2$  паперового полотна;  $V_M$ -швидкість папероробної машини;  $b$ -необрізна ширина паперового полотна;  $\tau$ - запізнювання у каналі керування «витрата МВК чи ОВ- маса  $1\text{ м}^2$  абс.сухого маси  $1\text{ м}^2$  паперового полотна на накаті»;  
 $p$ -оператор Лапласа.



## 4. РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСКРЕТНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ МАСОЮ $1\text{м}^2$ ПАПЕРОВОГО ПОЛОТНА

### 4.1. Принципова схема каскадної дискретної системи

Відомо [7], що керувати масою  $1\text{м}^2$  паперового полотна, яке виробляється на тихохідній папероробній машині можна за допомогою 2-х виконавчих пристроїв, які змінюють витрату маси високої концентрації (МВК) і обігової води (ОВ), що подаються до змішувача цих речовин. При цьому керованою змінною є абс.суха маса  $1\text{м}^2$  паперового полотна. Витрати вказаних вище речовин регулюються 2-ма локальними цифровими системами автоматичного регулювання (ЦСАР), які мають цифрові зворотні зв'язки. Задавальні діяння цих систем змінюються цифровим автоматичним регулятором (ЦАР) абс.сухої маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна, рис.4.1.

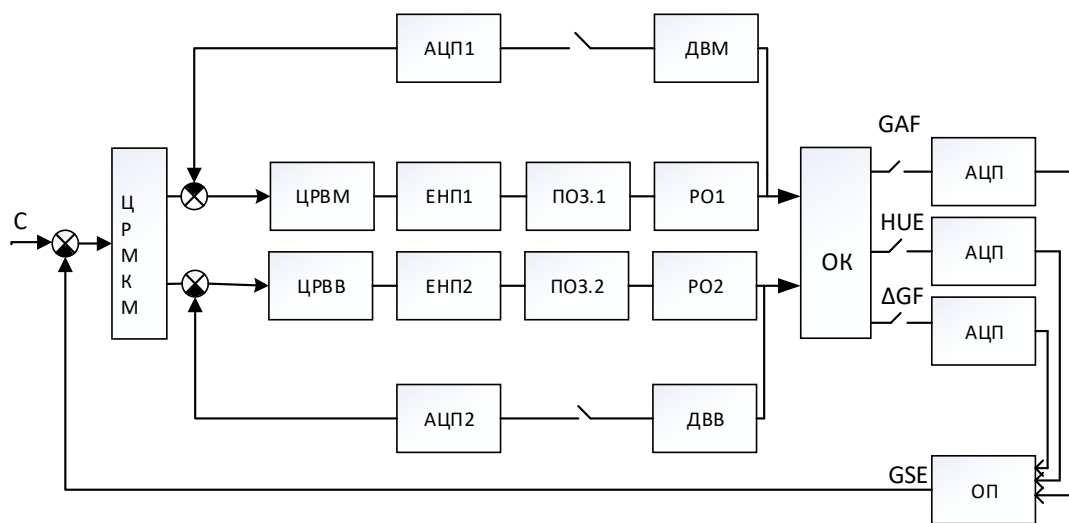


Рис.4.1. Принципова схема каскадної системи автоматичного керування абс.сухою масою  $1\text{м}^2$  паперового полотна: ОП-обчислювальний пристрій; ОК-об'єкт керування; ЦРМКМ-цифровий регулятор абс.сухої маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна; ЦРВМ- цифровий регулятор витрати МВК; ЦРВВ-цифровий регулятор витрати обігової води; ДВМ-датчик витрати маси; ДВВ-датчик витрати води; ЕНП1 і ЕНП2-екстраполятори нульового порядку; РО1 і РО2-регулювальні органи; ПОЗ.1 і ПОЗ.2 –позиціонери; АЦП1 і АЦП2 – аналогово-цифрові перетворювачі; HUE-вологість паперового полотна; GAF- загальна маса  $1\text{м}^2$  паперового полотна;  $\Delta GF$ -відхилення вологості паперового полотна; GSE- абс.суха маса  $1\text{м}^2$  паперового полотна

Визначення абс.сухої маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна здійснюється на підставі 3-х вимірювань, що виконуються в ЕОМ: вологості паперового полотна  $HUF$ , загальної маси  $1\text{м}^2$  цього полотна  $GAF$  й відхилення вологості  $\Delta GF$  в момент вимірювання загальної маси  $1\text{м}^2$  і вологості паперового полотна.

Вираз за допомогою якого визначають абс.масу  $1\text{м}^2$  паперового полотна має вигляд:

$$GSF = GAF \left( 1 + \frac{\Delta GF}{100} - \frac{HUF}{100} \right), \quad (4.1)$$

де  $HUF, \%$ ;  $\Delta GF, \%$ ;  $GAF, \text{г/м}^2$  і  $GSF, \text{г/м}^2$ .

ЦСАР витратою маси високої концентрації МВК складається із датчика витрати маси ДВМ, цифрового перетворювача АЦП1, цифрового регулятора витрати маси ЦРВМ, екстраполятора нульового порядку ЕНП1, позиціонера ПОЗ-1 і регулювального органа РО1. ЦСАР витрати обігової води (ОВ) складається із датчика витрати води ДВВ, АЦП2, цифрового регулятора витрати води ЦРВВ, екстраполятора нульового порядку ЕНП2, позиціонера ПОЗ2 і регулювального органа РО2.

#### 4.2. Визначення передавальних функцій дискретних регуляторів витрати маси високої концентрації і обігової води.

##### 4.2.1. Припущення щодо властивостей об'єкта керування

Для визначення вказаних передавальних функції припустимо, що об'єкт керування (ОК) ( канал «витрата маси(води)-маса  $1\text{м}^2$  паперового полотна» є лінійним об'єктом , і що елементи цих систем мають лінійні характеристики.

##### 4.2.2. Цифровий контур зворотного зв'язку в автоматичних системах витрати маси високої концентрації і обігової води.

Нехай період дискретності цих систем  $T=5\text{с}$ . Стала часу каналу «регулювальний орган-витратомір» по відношенню до періоду дискретності має

дуже мале значення ( стала часу дорівнює 0.25с, а транспортне запізнювання 0.2с). Тому цей об'єкт керування (трубопровід маси чи води) можна розглядати як пропорційну ланку з чистим запізнюванням, передавальна функція якого

$$g_1(p) = \frac{S(p)}{U(p)} = K e^{-Tp}, \quad (4.2)$$

де  $S(p)$  -зображення за Лапласом витрати маси (води);  $U(p)$ - зображення за Лапласом керувального діяння цифрового регулятора витрати маси (води);  $K$ - коефіцієнт підсилення каналу.

В практичних умовах, потрібно уводити дискретність таких систем частіше, оскільки ніяких збурень на цей об'єкт не має в силу сталості рівня розбавленої маси у змішувачі МВК з ОВ. Слід сказати і те, що вказані системи регулювання працюють в контурах зворотного зв'язку і тому у них потрібно мати мінімальний час регулювання. Саме тому можна взяти мінімальний час регулювання як прототип.

Дискретна передавальна функція розглядуваного об'єкта керування

$$g(z) = Kz^{-l}. \quad (4.3)$$

На підставі дискретної передавальної функції (4.3) розроблено структурну схему дискретної системи автоматичного регулювання витрати маси (обігової води), рис.4.2.

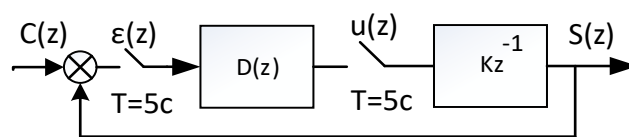


Рис.4.2. Структурна схема дискретної системи автоматичного регулювання витрати маси високої концентрації (обігової води)

Нехай дискретна передавальна функція замкнутої системи

$$\Phi(z) = \frac{S(z)}{C(z)}. \quad (4.4)$$

Оскільки для одержання мінімального часу керування необхідно, щоб

$$\Phi(z) = z^{-l}, \quad (4.5)$$

то дискретна передавальна функція регулятора витрати маси ( обігової води)

$$D(z) = \frac{1}{g_1(z)} \frac{\phi(z)}{1 - \phi(z)}. \quad (4.6)$$

Звідси випливає, що

$$D(z) = \frac{1}{K(1 - z^{-1})}. \quad (4.7)$$

Дискретна передавальна функція (4.7)- це передавальна функція І-регулятора. [3] Цій передавальній функції відповідає різницеве рівняння

$$\Delta U(i) = u(i) - U(i - 1) = K_c \varepsilon(i), \quad (4.8)$$

де

$$K_c = \frac{1}{K} -$$

коефіцієнт підсилення регулятора витрати маси (обігової води).

#### 4.3. Визначення дискретної передавальної функції регулятора абс.сухої маси 1м<sup>2</sup> паперового полотна

4.3.1. Розробка структурної схеми системи керування абс.сухою масою 1м<sup>2</sup> паперового полотна.

Структурну схему дискретної системи автоматичного керування абс.сухою масою 1м<sup>2</sup> паперового полотна показано на рис.4.3.

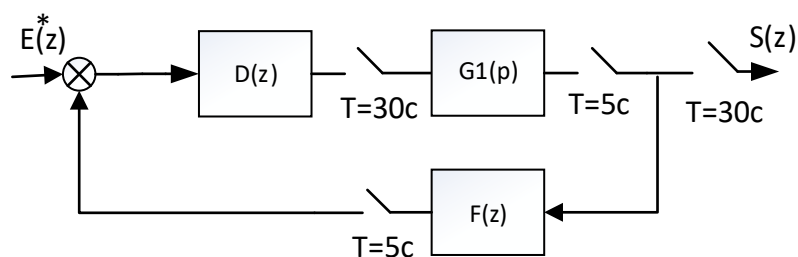


Рис.4.3. Структурна схема дискретної системи автоматичного керування абс.сухою масою 1м<sup>2</sup> паперового полотна

На схемі:  $D(z)$ -дискретна передавальна функція регулятора абс.сухої маси 1м<sup>2</sup> паперового полотна;  $G_1(p)$ -дискретна передавальна функція об'єкта керування (змішувача МВК і ОВ);  $F(z)$ - дискретна передавальна функція фільтра, який має період дискретності  $T=5c$ .

Період діяння цифрового регулятора абс.сухої маси паперового полотна на об'єкт керування має більш важливе значення, ніж період вимірювання цієї маси. Це впливає із встановленого експериментним шляхом співвідношення між величиною транспортного запізнювання  $\tau$  і періодом дискретності системи  $T$ . Воно дорівнює порядку 3 і оправдало себе в багатьох діючих системах керування. В той же час зберігається період дискретності системи регулювання витратою маси (води), який дорівнює 5с.

Нехай дискретна передавальна функція

$$G(p) = G_1(p)F(p),$$

де  $F(p)$  - передавальна функція аналогового фільтра, якому відповідає дискретна передавальна функція фільтра  $F(z)$ .

Якщо  $\Phi(z)$ - дискретна передавальна функція замкнутої системи, тобто якщо

$$\Phi(z) = \frac{S(z)}{E(z)},$$

то дискретна передавальна функція регулятора абс.сухої маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна

$$D(z) = \frac{\Phi(z)}{G_1(z) - G(z)\Phi(z)}, \quad (4.9)$$

*Примітка.*

Для моделювання системи автоматичного керування абс.сухою масою  $1\text{м}^2$  паперового полотна достатньо врахувати тільки сталу часу  $T_2$  змішувача МВК з ОВ ( $T_2=50$  с) оскільки стала часу напірного ящика  $T_3=7\text{с}$  і прийняти період дискретності системи  $T=30\text{с}$ .

Будемо вважати, що передавальна функція екстраполятора нульового порядку [1]

$$g_e(p) = \frac{1 - \exp(-Tp)}{p},$$

а передавальна функція експоненціального фільтра

$$F(p) = \frac{1}{1 + T_{\phi}p},$$

де  $T_{\phi}$ - стала часу фільтра.

Таким чином, передавальна функція об'єкта керування

$$G(p) = \frac{1 - e^{(-Tp)}}{p} \frac{K e^{(-\tau p)}}{1 + T_2 p} \frac{1}{1 + T_{\phi} p},$$

де  $T_2$ - стала часу змішувача MBK і ОВ ( $T_2=50$ с);  $\tau$ - запізнювання у каналі керування ( $\tau=90$ с).

Тоді дискретні передавальні функції  $G(z)$  і  $G_1(z)$  матимуть такий вигляд:

$$G(z) = \frac{K(2 + \beta z^{-1})}{(1 - a_{\phi} z^{-1})(1 - a_p z^{-1})} z^{-(K+1)}; \quad (4.10)$$

$$G_1(z) = \frac{K(1 - a_p)}{1 - a_p z^{-1}} z^{-(K+1)}; \quad (4.11)$$

де  $K = \frac{\tau}{T}$ ;  $a_{\phi} = \exp\left(-\frac{T}{T_{\phi}}\right)$ ;  $a_p = \exp\left(-\frac{T}{T_2}\right)$ ;  $\alpha = 1 - \frac{a_{\phi} T_{\phi} - a_p T_2}{T_{\phi} - T_2}$ ;

$$\beta = \alpha_{\phi} a_p - \frac{\alpha_{\phi} T_{\phi} - \alpha_p T_2}{T_{\phi} - T_2}.$$

Оскільки дискретна передавальна функція замкнутої системи

$$\Phi(z) = \frac{1 - a_3}{1 - a_3 z^{-1}} z^{-(K+1)}, \quad (4.12)$$

де  $a_3 = \exp(-T/T_3)$ - параметр налаштування регулятора;  $T_3$  - стала замкнутої системи.

Підставивши вирази (4.10)-(4.12) у вираз (4.9), одержимо дискретну передавальну функцію регулятора абс.сухої маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна у такому вигляді:

$$D(z) = \frac{1}{K} \frac{1 - a_3}{1 - a_p} \frac{(1 - a_{\phi} z^{-1})(1 - a_p z^{-1}) z^{-(K+1)}}{(1 - a_3 z^{-1})(1 - a_{\phi} z^{-1}) - \frac{1 - a_3}{1 - a_p} (\alpha + \beta z^{-1})}. \quad (4.13)$$

4.3.2. Чутливість дискретного регулятора абс.сухої маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна до оцінок параметрів каналу керування і параметрів його налаштування.

В процесі проектування системи автоматичного керування абс.сухою масою  $1\text{м}^2$  паперового полотна виникає питання: наскільки неточність оцінок параметрів об'єкта керування (стала часу каналу керування, коефіцієнт підсилення цього каналу, а також параметри налаштування регулятора (стала замкнутої системи і період дискретності системи) впливають на динамічні характеристики системи керування.

Відомо, що дискретна передавальна функція (4.13)-це передавальна функція регулятора Даліна типу IV властивості якого досліджено на кафедрі АХВ професором Жученко А.І. і доцентом Піргач М.С. [3].

#### 4.4. Реалізація дискретної системи керування абс.сухою масою $1\text{м}^2$ паперового полотна.

##### 4.4.1. Розробка логічного рівняння уведення в мікропроцесорну систему програми керування

Для програмування запропонованого алгоритма керування (4.13) використано метод прямого програмування. Якщо прийняти, що  $s(i)$ - це вихід регулятора, який діє на об'єкт керування з інтервалом  $t=iT$ , а  $\varepsilon(i)$ -це розузгодження між заданим значенням абс.сухої маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна і її поточним значенням, то алгоритм керування матиме такий вигляд:
$$s(i) = (a_3 + a_\phi)s(i - 1) - a_\phi a_3 s(i - 2) + \frac{1-a_3}{1-a_p} \{ \alpha \delta[i-k + 1] + \beta s[i - (k + 2)] \} + \frac{1}{K_c} \frac{1 - a_3}{1 - a_p} \{ \varepsilon(i) - (a_\phi + a_p)\varepsilon(i - 1) + a_\phi a_p \varepsilon(i - 2) \} \quad (4.14)$$

При закритті тамбура чи у разі обриву паперового полотна датчик маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна відключається. Значення керованої змінної ( маси абс.сухої маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна) залишається у пам'яті МПС таким, яким воно було в момент відключення датчика. Під час вмикання системи необхідно врахувати його сталу часу. Отже, потрібно цю сталу часу вводити в систему як деяку сталу затримку в часі. З цією метою необхідно скористатися

булевською алгеброю, за допомогою якої можна задати положення датчика маси  $1\text{ м}^2$  паперового полотна на ньому. Якщо  $F=0$ , то полотно під датчиком відсутнє, якщо  $F=1$ , то полотно під датчиком. Для вирішення цієї проблеми можна приміняти ще дві булевські величини які змінюються. Нехай  $T$ - булевська величина, яка характеризує сталу часу датчика. Ці дві величини пов'язані між собою так, як наведено на рис.4.4.

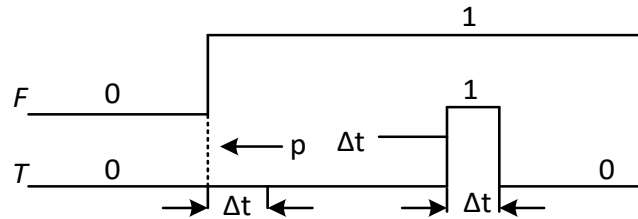


Рис.4.4. Стан паперового полотна ( $F$ ) сталої часу датчика маси  $1\text{ м}^2$  паперового полотна із положення  $\Delta v_1$ :

$F \begin{cases} 0 - \text{полотно під датчиком відсутнє;} \\ 1 - \text{полотно знаходиться під датчиком;} \end{cases} \quad T \begin{cases} 0 - \text{стала часу датчика відсутня;} \\ 1 - \text{уведення сталої часу датчика} \end{cases}$

Як видно із рис.4.4 величина  $T$  переходить від 0 до 1 після  $p$  періодів затримки рівних  $5\text{ с}$ , а потім встановлюється на 0 у періоді  $p+1$ . Це дозволяє не виконувати перехід до нуля величини  $T$  під час переходу до нуля величини  $F$ .

Нехай  $C$ -булевська величина, яка вказує на можливість здійснення автоматичного керування. Якщо  $C=0$ , то регулятор абс.сухої маси  $1\text{ м}^2$  паперового полотна не працює. Якщо  $C=1$ , то регулятор знаходиться у робочому стані.

Змінювана величина  $C$  пов'язана відповідними послідовностями з величинами  $T$  і  $F$  так, як показано на початковій карті Вейча-Карно (рис.4.5).

$FT$	00	01	11	10	$C$
1	①	-	-	2	0
0	1	-	3	②	0
1	-	-	③	④	0
0	1	-	-	4	1

Рис.4.5. Початкова карта Вейча-Карно: з 4-лініями:

①-усталений стан; n-перехідний стан



Карту Вейча-Карно з чотирма лініями можна звести до карти Вейча-Карно з двома лініями (рис.4.6).

$FT$		00		01		11		10	C
$y$	0	①		-		3		2	0
	1	1		-		③		④	1

Рис.4.6. Карта Вейча-Карно з двома лініями

Карту Вейча-Карно зі змінною внутрішньою величиною  $Y$  показано на рис.4.7.

$FT$		00		01		11		10
$y$	0	0		ф		1		0
	1	0		ф		1		1

$Y$

Рис.4.7. Карта Вейча-Карно зі змінною внутрішньою величиною  $Y$

На цій карті

$$Y = T + yF. \quad (4.15)$$

Якщо покласти  $C = Y$ , то одержимо оптимальну карту Вейча-Карно зі змінною внутрішньою величиною  $C$ , рис.4.8.

$FT$		00	01	11	10
$y$	0	0	ф	1	0
	1	0	ф	1	1

$C$

Рис.4.8. Карта Вейча-Карно зі змінною внутрішньою величиною  $C$

Отже, логічне рівняння має вигляд:

$$C = T + FC. \quad (4.16)$$

Логічне рівняння (4.16) використовується для введення програми керування абс.масою  $1\text{м}^2$  паперового полотна в мікропроцесорну систему.

4.4.2. Моделювання цифрової системи автоматичного регулювання абс.сухою масою  $1\text{м}^2$  паперового полотна

#### 4.4.2.1. Структурна схема автоматичної системи

Структурну схему розглядуваної автоматичної системи наведено на рис.4.9.

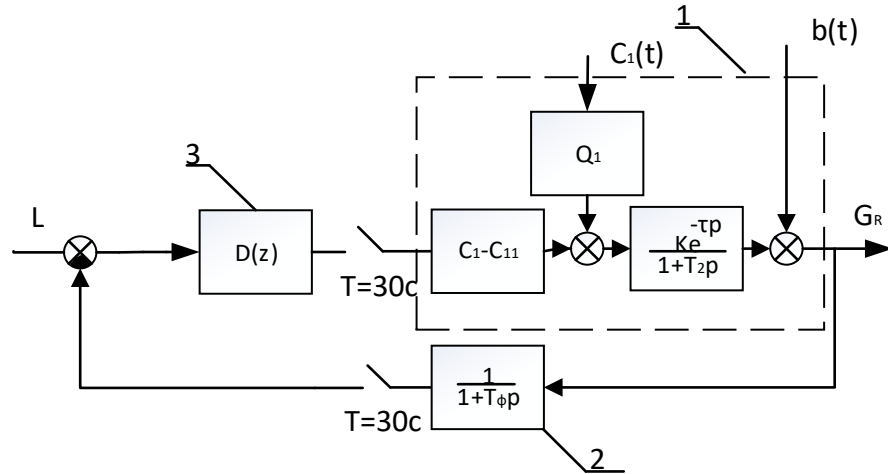


Рис.4.9. Структурна схема дискретної системи автоматичного регулювання абс.сухої маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна:

1- об'єкт керування; 2- експоненціальний фільтр; 3-регулятор абс.сухої маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна

Система складається із об'єкта керування 1, фільтра 2 і регулятора абс.сухої маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна 3. На об'єкт керування діє два збурення- зміни концентрації маси високої концентрації  $C_1(t)$  і шум  $b(t)$ , які накладаються на вихідну змінну системи  $G_R(t)$ . Ця вихідна змінна крізь фільтр 2 подається на елемент розузгодження регулятора абс.сухої маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна 3, який з періодом дискретності  $T=30\text{c}$  подає керувальне діяння на об'єкт керування.

Параметри об'єкта керування:

- стала часу  $T_2=50\text{c}$ ;
- запізнювання у каналі керування  $\tau=90\text{c}$
- коефіцієнт підсилення каналу керування  $K=1 \text{ г/м}^2/\text{г/л}$ ;
- витрата маси високої концентрації  $Q_1=0.5988 \text{ м}^3/\text{с}$ ;
- задане значення концентрації маси високої концентрації  $C_1^0=29.8 \text{ г/л}$ ;
- задане значення концентрації обігової води  $C_0^0=0.199 \text{ г/л}$

Параметри системи керування:

- стала замкнутої системи  $T_3=90\text{с}$ ;
- період дискретності системи  $T=30\text{с}$ ;
- параметр налаштування регулятора  $a_3=0,7$ .

#### 4.4.2.2.Результати моделювання автоматичної системи

Графіки зміни абс.сухої маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна в розімкнутій і замкнутій системі регулювання у разі зміни концентрації маси високої концентрації на 10% від її заданого значення та шуму показано на рис.4.10.

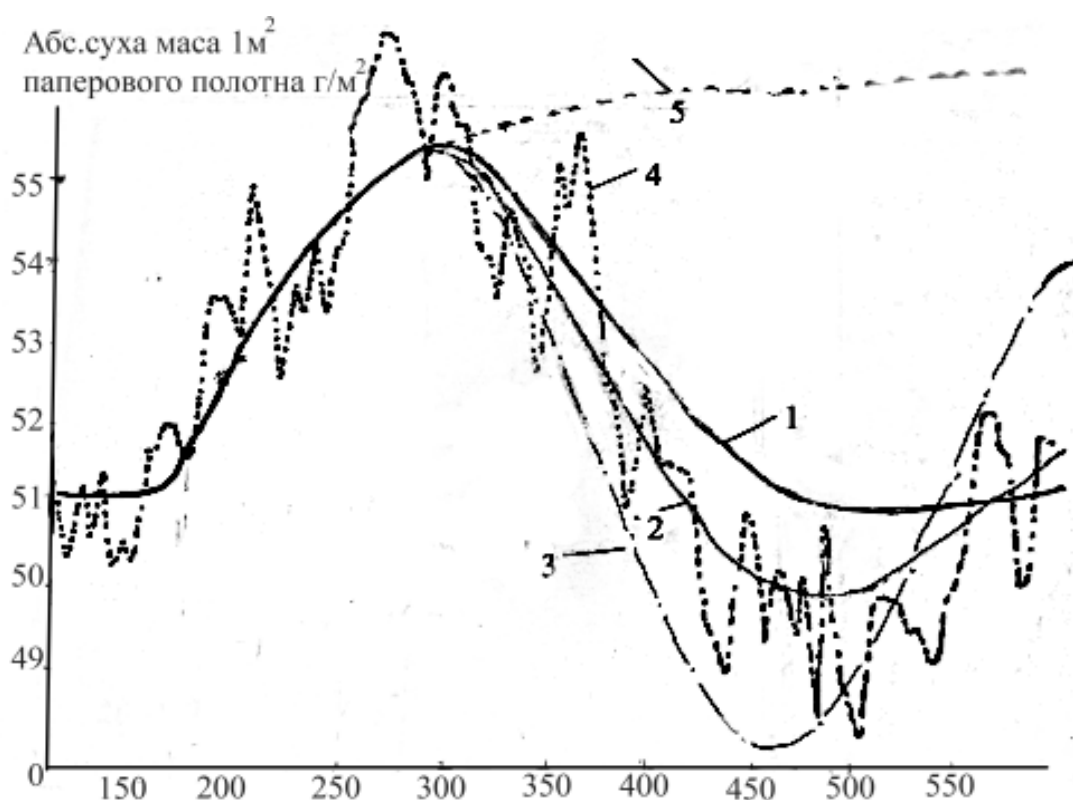


Рис.4.10. Графік зміни абс.сухої маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна у разі увімкнення і вимкнення систем керування і дії на неї зміни концентрації маси високої концентрації:

- 1-коефіцієнт підсилення регулятора  $K=1$ ; 2-коефіцієнт підсилення регулятора  $K=1.3$ ;  
3-коефіцієнт підсилення регулятора  $K=1.8$ ; 4-дія шуму; 5-регулятор вимкнено.

Графіки 1,2 і 3 показують зміну абс.сухої маси  $1\text{м}^2$  полотна у разі дії на систему керування збурювального діяння по концентрації МВК на 10% від її заданого значення (тобто  $\Delta C_1(t)=2,98 \text{ г/л}$ ). При цьому було взято різні коефіцієнти підсилення регулятора (контура): для графіка 1 коефіцієнт

підсилення дорівнює одиниці; для графіка 2- він дорівнює 1,3, а для графіка 3- він дорівнює 1,8. Графік 4 одержано при дії збурення по концентрації МВК і дії шуму одночасно. Графік 5 характеризує зміну абс.сухої маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна у разі вимкнення регулятора.

Аналіз наведених графіків свідчить, що графік з коефіцієнтом підсилення контура, який відповідає коефіцієнту підсилення каналу керування, має неколивний перехідний процес.

Графіки 2 і 3, які відповідають перехідним процесам системи керування, що мають відповідно коефіцієнти підсилення системи 1,3 і 1,8 мають дещо незначний коливальний характер. Насамкінець, графік 4 показує зміну абс.сухої маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна у разі дії на систему регулювання зміни концентрації МВК на яку накладається шум  $b(t)$ . Середнє значення маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна досить добре компенсується системою регулювання, але з іншого боку - наслідки шуму не ліквідуються повністю, що і підтверджується теорією.

У розглянутій системі регулювання зміна шуму дає

$$\text{var } y = 0.766,$$

а у замкнутій системі регулювання

$$\text{var } y_s = 0.895.$$

Звідки випливає, що

$$\frac{\text{var } y_s}{\text{var } y} = 1.17,$$

тобто маємо збільшення похибки на 17%.

Отже, параметр настроювання регулятора  $a_3 = 0.7$  дещо має занижене значення.

#### 4.4.3. Дискретне керування концентрацією розбавленої маси

Транспортне запізнення при цьому зменшується і становить 15с у порівнянні з вихідною системою коли воно було рівне 90с. Використаємо для

розробки дискретної системи керування концентрацією маси регулятор Даліна типу III [4].

4.4.3.1. Визначення дискретної передавальної функції регулятора концентрації розбавленої маси

Загальну структурну схему цифрової системи автоматичного керування концентрацією розбавленої маси показано на рис.4.11.

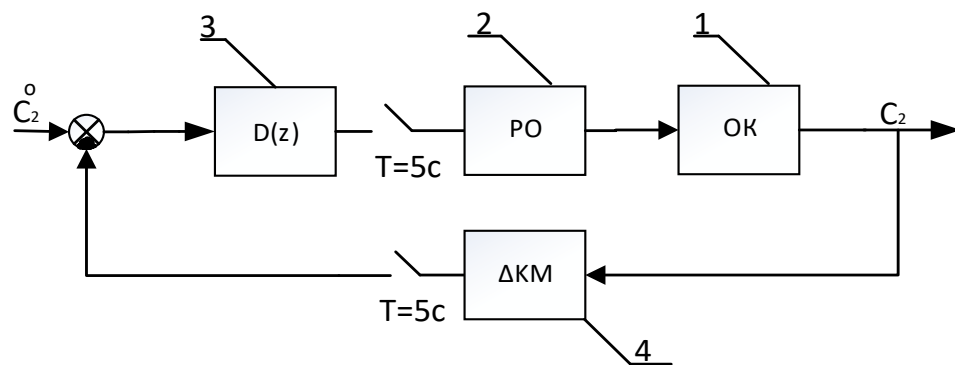


Рис.4.11. Загальна структурна схема цифрової системи автоматичного керування концентрацією розбавленої маси:

1-змішувач MBK з ОВ; 2-цифровий привод регулювального органу; 3-дискретний регулятор концентрації розбавленої маси; 4-датчик концентрації маси

Для збереження співвідношення  $\tau/T=3$  (де  $T$ -період дискретності системи) можна прийняти період керування рівним  $5c$ . Таким чином період керування стає рівним періоду вимірювання.

Структурну схему цифрової системи керування і регулювання розбавленої концентрації маси на підставі моделі об'єкта керування (рис.4.9) і моделі виконавчого пристрою

$$g_{\text{вп}}(p) = \frac{(1 - e^{-Tp})}{p} e^{-Tp} \quad (4.17)$$

показано на рис.4.12.

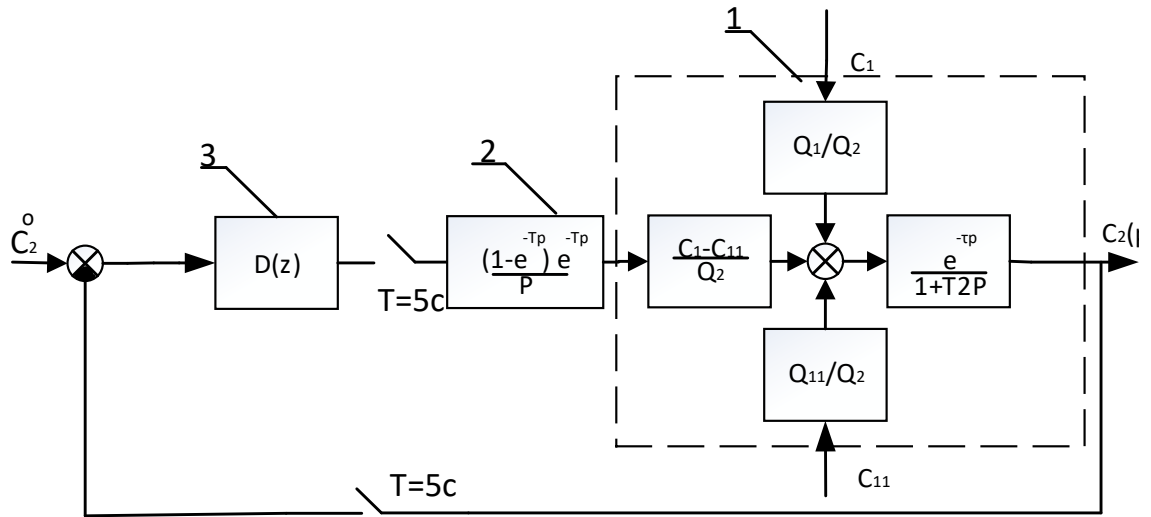


Рис.4.12. Структурна схема цифрової системи керування і регулювання розбавленої концентрації маси:

1-об'єкт керування; 2-виконавчий пристрій; 3-регулятор концентрації розбавленої маси

Передавальна функція об'єкта керування

$$G(p) = \frac{K(1 - e^{-Tp})e^{-(T+\tau)p}}{p(1 + T_2p)} . \quad (4.18)$$

Дискретна передавальна функція, яка відповідає передавальній функції (4.18) має вигляд:

$$g(z) = \frac{K(1 - a_{p2} z^{-(K+1)})}{1 - a_{p2} z^{-1}} , \quad (4.19)$$

де  $t=i T = \tau + T$ ,  $T=5c$  – період дискретності системи;

$$a_{p2} = \exp\left(-\frac{t}{T}\right).$$

Дискретну передавальну функцію замкнутої системи визначимо так:

$$\Phi(z) = \frac{1 - a_3}{1 - a_3 z^{-1}} z^{-(k+1)} , \quad (4.20)$$

де

$$a_3 = \exp\left(-\frac{T}{T_3}\right).$$

Тоді дискретна передавальна функція регулятора концентрації розбавленої маси

$$D(z) = \frac{1}{K} \frac{1 - a_3}{1 - a_{p2}} \frac{1 - a_{p2} * z^{-1}}{1 - a_3 z^{-1} - (1 - a_3) z^{-(K+1)}} \quad (4.21)$$

#### 4.4.3.2. Розробка програмувальної функції цифрового регулятора концентрації розбавленої маси

У разі використання методу прямого програмування дискретній передавальній функції (4.21) відповідає наступна програмувальна функція

$$s(i) = a_3 s(i-1) + (1 - a_3) s(i - (K + 1)) + \frac{1}{K} \frac{1 - a_3}{1 - a_p} [\varepsilon(i) - a_{p2} \varepsilon(i-1)], \quad (4.22)$$

де  $s$  – вихід дискретного регулятора концентрації розбавленої маси;  $\varepsilon$  – розузгодження між заданим значенням концентрації маси і її поточним значенням.

Наведена програмувальна функція має дуже простий вигляд, у порівнянні з програмувальною функцією цифрового регулятора абс.сухої маси 1м<sup>2</sup> паперового полотна (рис.4.13), оскільки тут немає потреби вводити цифрову фільтрацію вимірюваної величини на яку дія незначна перешкода.

### 4.5. Дискретне каскадне керування абс.сухою масою 1м<sup>2</sup> паперового полотна

#### 4.5.1. Розробка структурної схеми дискретної каскадної системи автоматичного керування абс.сухою масою 1м<sup>2</sup> паперового полотна

Структурну схему запропонованої дискретної каскадної системи автоматичного керування абс.сухою масою 1м<sup>2</sup> паперового полотна, наведено на рис.4.13.

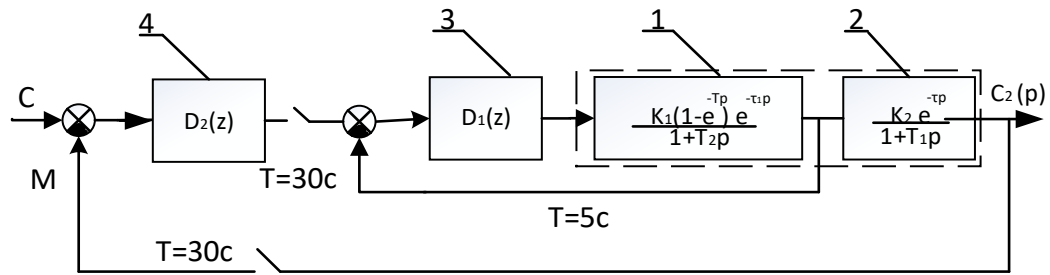


Рис.4.13. Запропонована структурна схема дискретної каскадної системи автоматичного керування абс.сухою масою  $1\text{ м}^2$  паперового полотна:

1-змішувач МВК з ОВ; 2-сітка і сушильна частина машини; 3-регулятор концентрації розбавленої маси; 4-регулятор абс.сухої маси  $1\text{ м}^2$  паперового полотна

Система складається із об'єкта керування (змішувач МВК з ОВ) 1, регулятора концентрації розбавленої маси 3 і регулятора абс.сухої маси  $1\text{ м}^2$  паперового полотна 4.

$D_1(z)$ - це дискретна передавальна функція регулятора концентрації маси, а  $D_2(z)$ - дискретна передавальна функція регулятора абс.сухої маси  $1\text{ м}^2$  паперового полотна.

#### 4.5.2. Визначення дискретних передавальних функцій регуляторів

Визначення дискретних передавальних функцій вказаних регуляторів для такої системи не викликає труднощів. Так дискретна передавальна функція  $D_1(z)$ - це дискретна передавальна функція (4.21) і тому вона тут має такий вигляд :

$$D_1(z) = \frac{1}{K_1} \frac{1 - a_{31}}{1 - a_{p_2}} \frac{1 - a_{p_2} z^{-1}}{(1 - a_{31} z^{-1}) - (1 - a_{31}) z^{-(K+1)}}, \quad (4.23)$$

де  $a_{p_2} = \exp\left(-\frac{t}{T}\right); T = 5\text{ с}; a_{31} = \left(-\frac{t}{T_3}\right); K = \frac{\tau}{T};$

$K_1$  — коефіцієнт підсилення каналу.

Якщо узгодження коефіцієнтів регулятора виконано вірно, то тоді у внутрішньому контурі з'являється транспортне запізнювання і стала часу



замкнутої системи дорівнює  $T_{3l}$ , а передавальна функція  $D_2(z)$  залишається незмінною. У такому випадку вона має вигляд [3];

$$D_2(z) = \frac{1}{K_1} \frac{1 - a_{32}}{1 - a_{31}} \frac{(1 - a_{p2}z^{-1})(1 - a_{31}z^{-1})}{(1 - a_{32})(1 - a_{p1}) - \frac{1 - a_{32}}{1 - a_{31}}(\alpha + \beta z^{-1})z^{-(K+1)}}, \quad (4.24)$$

де

$$\alpha = 1 - \frac{a_{p1}T_1 - a_{31}T_{31}}{T_1 - T_{31}}; \quad \beta = a_{p1}a_{31} - \frac{a_{p1}T_1 - a_{31}T_{31}}{T_1 - T_{31}}; \quad a_{p1} = \exp\left(-\frac{T}{T_{31}}\right);$$

$$a_{32} = \exp\left(-\frac{T}{T_{32}}\right).$$

Застосування каскадних систем автоматичного керування абс.сухою масою  $1\text{м}^2$  паперового полотна дозволяє компенсувати усі збурення, які діють на об'єкт керування, але при цьому погіршуються робочі характеристики внутрішнього контуру, призначеного для придушення збурень, які викликають зміну концентрації і витрату маси високої концентрації.

#### 4.5.3. Результати цифрового моделювання дискретної каскадної системи керування

Запропоновану автоматичну систему було змодельовано. Було досліджено перехідні процеси зміни абс.сухої маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна на накаті машини в разі зміни концентрації маси високої концентрації на 10% від її заданого значення. Як свідчать результати дослідження основний контур керування вносить перекомпенсацію вихідної змінної системи, яка виникає після того, як стік час що дорівнює транспортному запізнюванню. Якісно це можна пояснити так: збурення, які впливають на внутрішній контур компенсуються досить швидко, оскільки він має незначне транспортне запізнювання. Однак його дія все ж таки відбивається на роботі основного контуру і тут уже має значення значне транспортне запізнювання, що існує у каналі керування масою  $1\text{м}^2$  паперового полотна. З метою упередження цього, потрібно узгодити задачі, які розв'язуються кожним контуром.

#### 4.5.4. Роз'єднання контурів дискретної системи керування

Для роз'єднання контурів вказаної системи керування було використано модель, яку названо моделлю передбачення збурень (МПЗ).

##### 4.5.4.1. Призначення моделі передбачення збурень

Збурення, які діють на внутрішній контур( контур регулювання концентрації розбавленої маси), і в якому перехідні процеси швидко затухають, не повинні компенсуватися основним контуром стабілізації абс.сухої маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна. Саме він повинний знаходити серед багатьох збурень, які діють на розглядуваний об'єкт керування тільки ті, які потрібно придушувати. Для цього і призначена МПЗ.

##### 4.5.4.2. Місце розміщення моделі передбачення збурень

Місце розміщення моделі передбачення збурень у розглядуваній системі керування наведено на рис.4.14.

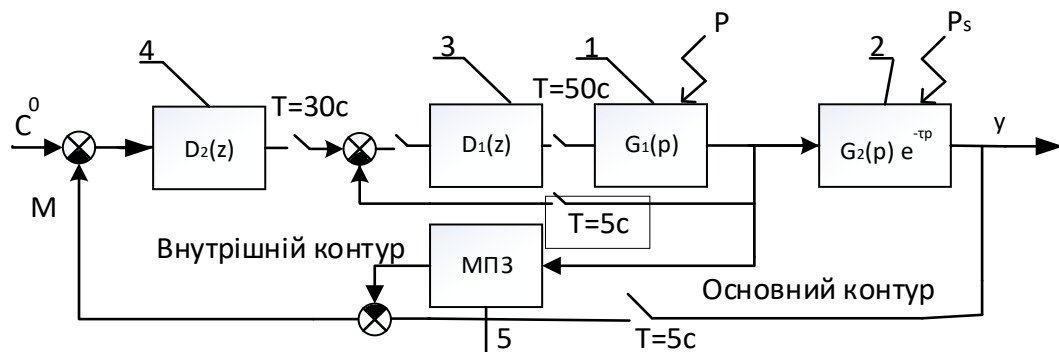


Рис.4.14. Місце розміщення моделі передбачення збурень в дискретній каскадній системі керування абс.сухою масою  $1\text{м}^2$  паперового полотна:

1-змішувач MBK з ОВ; 2-сітка і сушильна частина; 3- регулятор концентрації розбавленої маси; 4-регулятор абс.сухої маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна; 5-модель передбачення збурень

Вихідна змінна системи  $M$ , яка порівнюється із заданим значенням абс.сухої маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна  $C^0$  відрізняється від поточного значення маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна і визначеного за допомогою моделі. Для з'ясування

цих відмінностей розглянемо роль МПЗ. Пропустимо, що на змішувач МВК з ОВ 1 діє збурення  $P$ . Воно дуже швидко пригнічується системою автоматичного регулювання концентрації розбавленої маси. Його ефект на виході цієї системи буде проявлятися як діє збурення  $P_R$ , а на виході моделі як дія збурення  $P_M$ . Оскільки модель визначає різницю між цими ефектами дії збурення, то МПЗ не повинна давати збурення в головний зворотній зв'язок. В цьому і полягає призначення МПЗ.

З іншого боку, якщо збурення  $P_s$  діє на другий об'єкт керування 2(сітка і сушильна частина машини), то воно буде розглядатися як збурення, яке діє на зовнішню частину внутрішнього контуру і його ефект буде проявлятися, як діє збурення  $p_R^s$  на виході, в той час як ефект збурення  $P_M$  буде нульовим. Саме тому основний контур і скомпенсує збурення  $P$ . Таким чином, МПЗ дозволяє робити вибір збурень серед багатьох із них.

4.5.4.3. Теоретичне дослідження дискретної каскадної системи регулювання концентрації розбавленої маси.

А. Структурна схема системи регулювання.

Як було відмічено вище, дискретна система керування і регулювання абс.сухої маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна являє собою складну каскадну систему автоматичного керування і регулювання. Розрахунок таких систем досить складний, який можна дещо спростити шляхом або цифрового моделювання, або застосування  $z$ - перетворення. Як ілюстративний приклад розглянемо дослідження тільки частини дискретної каскадної САР, а саме: розрахунок САР концентрації розбавленої маси з метою дослідження впливу параметрів МПЗ на характеристики системи керування концентрацією розбавленої маси.

Структурну схему запропонованої системи керування показано на рис.4.15.

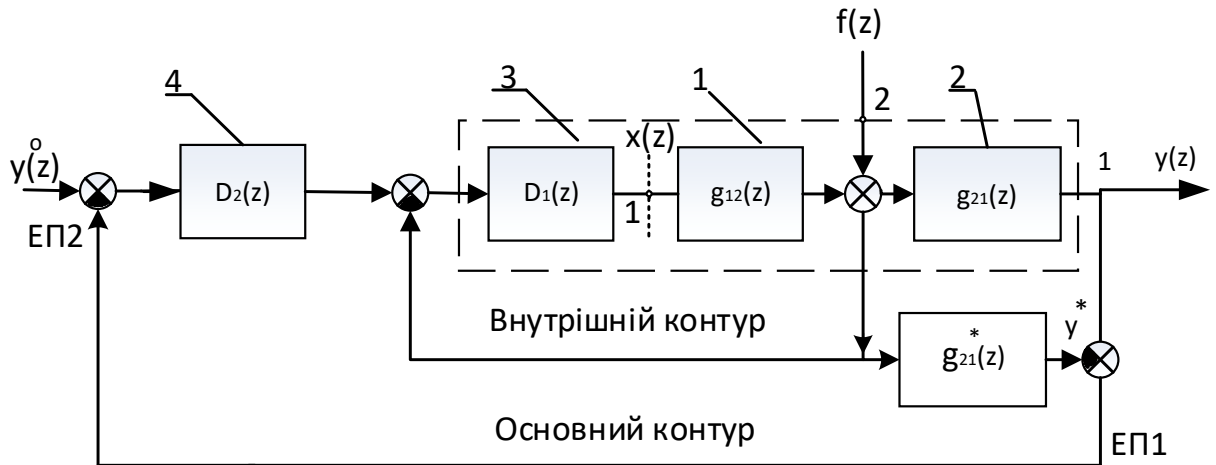


Рис.4.15. Структурна схема дискретної каскадної системи автоматичного керування і регулювання концентрації розбавленої маси з моделлю передбачення збурень:

1-трубопровід МВК; 2-змішувач МВК з ОВ; 3-регулятор витрати маси високої концентрації; 4-регулятор концентрації розбавленої маси; 5-модель передбачення збурень

Нехай  $D_1(z)$ —дискретна передавальна функція регулятора витрати маси високої концентрації;  $D_2(z)$ —дискретна передавальна функція регулятора концентрації розбавленої маси;  $g_{12}(z)$  - дискретна передавальна функція трубопровода маси високої концентрації;  $g_{21}(z)$ —дискретна передавальна функція змішувача маси високої концентрації;  $y(z) \sim C_2(z)$ —зображення в  $z$ -формі поточного значення концентрації розбавленої маси (після змішувача МВК з ОВ);  $y^o \sim C_2^o$ —задане значення концентрації розбавленої маси в  $z$ -формі;  $E(z)$ —зображення в  $z$ -формі розузгодження між заданим і поточним значеннями концентрації розбавленої маси;  $x(z)$ —зображення в  $z$ -формі переміщенню регулювального органа витрати маси високої концентрації;  $f(z)$ —зображення в  $z$ -формі збурювального діяння.

Передавальну функцію по каналу «переміщення регулювального органа витрати маси високої концентрації  $x(t)$  —концентрація маси  $C_2(t)$  після змішувача МВК з ОВ » (канал 11) можна подати так:

$$g_{11}(z) = K_{11} \frac{1 - a_{p11}}{1 - a_{p11}z^{-1}} z^{-(K+1)}, \quad (4.25)$$

де

$$a_{p11} = \exp\left(-\frac{T}{T_{11}}\right); K = \frac{\tau_{11}}{T}.$$

При цьому  $T$ - період дискретності системи;  $K_{11}$ ,  $T_{11}$  і  $\tau_{11}$  відповідно, коефіцієнт підсилення каналу «переміщення регулювального органа витрати маси високої концентрації  $x(t)$  - концентрація маси  $C_2(t)$  після змішувача МВК з ОВ » (канал 11); запізнювання у каналі 11 і стала часу змішувача.

Дискретну передавальну функцію (4.25) подамо так:

$$g_{11}(z) = g_{12}(z)g_{21}(z), \quad (4.26)$$

де  $g_{12}(z)$ - дискретна передавальна функція каналу «переміщення регульованого органа, встановленого у трубопроводі МВК- витрата МВК» (канал 12);  $g_{21}(z)$ - дискретна передавальна функція каналу 21 «витрата МВК-концентрація маси у змішувача МВК з ОВ» (канал 21).

Оскільки дискретна передавальна функція каналу 12

$$g_{12}(z) = K_{12}z^{-1}, \quad (4.27)$$

де  $K_{12}$ - коефіцієнт підсилення каналу 12,

то дискретну передавальну функцію каналу 21 можна подати так:

$$g_{21}(z) = K_{21} \frac{1 - a_{p21}}{1 - a_{p21} z^{-1}} z^{-K}, \quad (4.28)$$

де

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

при цьому  $T_{21}$  -стала часу каналу 21;  $K_{21}$ - коефіцієнт підсилення каналу 21.

Можливість представити канал керування 11 у вигляді двох послідовно з'єднаних каналів, представлених дискретними передавальними функціями (4.27) і (4.28), і дозволило розробити структурну схему системи керування і регулювання показану на рис.4.15.

Принцип роботи показаної системи полягає у наступному. При подачі збурювального діяння  $f(z)$  виникає відхилення витрати МВК, яке і призводить до відхилення концентрації маси у змішувачі МВК з ОВ  $y(t) \sim C_2(t)$  від її заданого значення  $C_2^0$ . Для ліквідації цього розузгодження  $\varepsilon(t)$  між заданим і поточним

значенням концентрації розбавленої маси в робота вступає дискретний регулятор концентрації розбавленої маси 4, який своїм керувальним діянням змінює задане значення дискретному регулятору витрати МВК 3. Окрім цього, цей регулятор, одержавши поточне значення витрати МВК і порівнявши його із заданим значенням, виробляє керувальне діяння  $x(t)$ , яке направлене на ліквідацію виниклого відхилення витрати МВК від її заданого значення. Таким чином, для ліквідації цього збурення в роботу вступає два дискретних регулятори: дискретний регулятор витрати МВК і дискретний регулятор концентрації розбавленої маси. Позаяк інерційність САР витратного МВК незначна, перехідні процеси в ній будуть досить швидко затухати, чого не можна сказати про контур стабілізації концентрації розбавленої маси, який має значну інерційність і, головне, велике транспортне запізнювання в каналі керування 21. В силу цього ДСАР витрати МВК, придушуючи збурення  $f(z)$ , діє і на ЦСАР концентрації розбавленої маси, тобто маси після змішувача МВК з ОВ, викликаючи тим самим небажане відхилення концентрації розбавленої маси від її заданого значення  $C_2^o$ . Все це призводить до перевитрати МВК і погіршення якості стабілізації вказаної концентрації маси у напірному ящику.

З метою підвищення якості стабілізації розбавленої маси після змішувача МВК з ОВ у запропонованій дискретній каскадній системі керування використовуються МПЗ. До каналу керування 21 представленого дискретною передавальною функцією (4.28), підключається МПЗ, яка представляється дискретною передавальною функцією  $g_{21}^*(z)$ , динамічні властивості якої мають відповідати динамічним властивостям каналу керування 21. В такій системі при виникненні збурювального діяння  $f(t)$  також виникає відхилення витрати МВК від її заданого значення і, відповідно концентрації розбавленої маси після змішувача МВК з ОВ. Одночасно з цим виникає і відхилення концентрації розбавленої маси  $y^*(t)$  на виході МПЗ. Якщо порівняти вказані відхилення між собою в елементів порівняння (ЕП1), то у випадку ідентичності динамічних характеристик МПЗ і каналу керування 21, на виході ЕП1 не буде сигналу

розузгодження між ними і саме тому дискретний регулятор концентрації розбавленої маси не вступить в роботу. Таким чином, в роботу вступає тільки САР витратою МВК, тоді як САК концентрацією розбавленої маси не піддається впливу з боку САР витрати МВК під час придушення вказаного збурювального діяння. Це, звичайно, призводить до значної швидкодії всієї системи керування, а отже, і високої якості стабілізації концентрації розбавленої маси після змішувача МВК з ОВ.

#### Б. Визначення дискретних передавальних функцій регуляторів системи

З метою визначення дискретних передавальних функцій регуляторів запропонованої системи регулювання, скористаємося раніше розробленою методикою. Згідно з цією методикою дискретна передавальна функція регулятора витрати маси високої концентрації

$$D_1(z) = \frac{\Phi_1(z)}{1 - \Phi_1(z)} g_{12}(z)^{-1}, \quad (4.29)$$

де  $\Phi_1(z)$ - дискретна передавальна функція замкнутої системи САР витрати МВК.

Якщо

$$\Phi_1(z) = z^{-1}, \quad (4.30)$$

то з урахуванням виразів (4.27) і (4.30) дискретна передавальна функція регулятора витрати маси високої концентрації

$$D_1(z) = \frac{1}{K_{12}(1 - z^{-1})}. \quad (4.31)$$

Аналогічно можна визначити дискретну передавальну функцію регулятора концентрації розбавленої маси. Для цього подамо частину системи, яка піддається корегуванню, у такому вигляді

$$G_K(z) = K_{21} 1 - \frac{a_{p21}}{1 - a_{p21}z^{-1}} z^{-(K+1)}. \quad (4.32)$$

Нехай дискретна передавальна функція замкнутої системи САР концентрації розбавленої маси

$$\Phi_2(z) = \frac{1 - a_3}{1 - a_3 z^{-1}} z^{-(K+1)}, \quad (4.33)$$

де

$$a_3 = \exp\left(-\frac{T}{T_3}\right),$$

при цьому  $T_3$  – стала часу замкнутої системи.

Тоді дискретна передавальна функцію регулятора концентрації розбавленої маси

$$D_2(z) = \frac{(1 - a_3)(1 - a_{p21} z^{-1})}{K_{21}(1 - a_{p21})[1 - a_3 z^{-1} - (1 - a_3)z^{-(K+1)}]}. \quad (4.34)$$

## В. Моделювання системи керування

Щоб дослідити запропоновану систему автоматичного регулювання концентрацією маси необхідно мати залежність між керованою змінною і відповідним збурювальним діянням.

Дискретна передавальна функція система відносно збурювального діяння  $f(t)$  має такий вигляд:

$$\Phi_f(z) = \frac{y(z)}{f(z)} = \frac{g_{21}(z)}{g(z)}. \quad (4.35)$$

де  $g(z) = 1 + D_1(z)g_{12}(z) + D_1(z)g_{12}(z)[g_{21}(z) - g_{21}^*(z)]D_2(z)$

Якщо дискретна передавальна функція МПЗ

$$g_{21}^*(z) = K_{21}^* \frac{1 - a_{p21}}{1 - a_{p21} z^{-1}} z^{-k}, \quad (4.36)$$

де  $K_{21}^*$ -коефіцієнт підсилення МПЗ,

то зображення в z-формі вихідної змінної  $y(t)$  у разі одиничної стрибкоподібної зміни збурювального діяння

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



$$y(z) = \frac{K_{21}(1 - a_{p21})[1 - a_3 z^{-1} - (1 - a_3)z^{-(K+1)}]z^{-K}}{1 - (a_{p21} + a_3)z^{-1} + a_{p21}a_3 z^{-2} - (1 - \alpha)(1 - a_3)z^{-(K+1)} + (1 - \alpha)a_{p21}(1 - a_3)z^{-(K+2)}} \quad (4.37)$$

де

$$\alpha = \frac{K_{21} - K_{21}^o}{K_{21}} = 1 - \frac{K_{21}^*}{K_{21}} -$$

коефіцієнт, який характеризує ступінь роз'єднання контурів регулювання.

На підставі виразу (4.37) можна побудувати графіки перехідних процесів в досліджуваній автоматичній системі у разі зміни коефіцієнта  $\alpha$ . Для цього розглянемо дискретну каскадну систему, яка має такі характеристики [3]:

- стала часу каналу регулювання 21,  $T_{21}=50c$ ;
- запізнювання у каналі керування 21,  $\tau_{21}=150c$ ;
- коефіцієнт підсилення каналу керування 21,  $K_{21}=1.579$ ;
- коефіцієнт підсилення каналу керування 12,  $K_{12}=1$ ;
- період дискретності системи,  $T=50c$ ;
- стала замкнутої системи,  $T_3=22c$ .

Тоді залежність вихідної змінної від дії на систему вказаного збурювального діяння і коефіцієнта  $\alpha$  має такий вигляд:

$$y(z) = \frac{z^{-3} - 0.103 z^{-4} - 0.807 z^{-7}}{1 - 0.47 z^{-1} + 0.0378 z^{-2} - 0.897(1 - \alpha)z^{-4} + 0.329(1 - \alpha)z^{-5}} \quad (4.38)$$

1. Якщо  $\alpha = 0$ , то

$$y(z) = z^{-3} + 0.368 z^{-2} + 0.135 z^{-5} + 0.0492 z^{-6} + 0.018 z^{-7} + 0.007 z^{-8} + 0.00244 z^{-9} + 0.00092 z^{-10} + \dots \quad (4.39)$$

2. Якщо  $\alpha = 1$ , то

$$y(z) = z^{-3} + 0.368 z^{-2} + 0.135 z^{-5} + 0.0492 z^{-6} - 0.879 z^{-7} - 0.4092 z^{-8} - 0.159 z^{-9} - 0.059 z^{-10} \dots \quad (4.40)$$

3. Якщо  $\alpha = 0.5$ , то

$$y(z) = z^{-3} + 0.368 z^{-2} + 0.135 z^{-5} + 0.0492 z^{-6} - 0.431 z^{-7} -$$

$$-0.303z^{-8} - 0.122z^{-9} - 0.059z^{10} - \dots \quad (4.41)$$

4. Якщо  $\alpha = 0.2$ , то

$$y(z) = z^{-3} + 0.368 z^{-2} + 0.135 z^{-5} + 0.0492 z^{-6} - 0.162z^{-7} - \\ -0.0782z^{-8} - 0.031z^{-9} - 0.0142z^{-10} - \dots \quad (4.42)$$

5. Якщо  $\alpha = -0.5$ , то

$$y(z) = z^{-3} + 0.368 z^{-2} + 0.135 z^{-5} + 0.0492 z^{-6} + 0.466z^{-7} + \\ +0.217z^{-8} + 0.084z^{-9} + 0.031z^{-10} + \dots \quad (4.43)$$

6. Якщо  $\alpha = -0.8$ , то

$$y(z) = z^{-3} + 0.368 z^{-2} + 0.135 z^{-5} + 0.0492 z^{-6} + 0.735z^{-7} + \\ +0.343z^{-8} + 0.134z^{-9} + 0.05z^{-10} + \dots \quad (4.44)$$

Згідно з виразами (4.39)-(4.44) побудовано графіки перехідних процесів в ДСАР концентрації розбавленої маси після змішувача МВК з ОВ (рис.4.16).

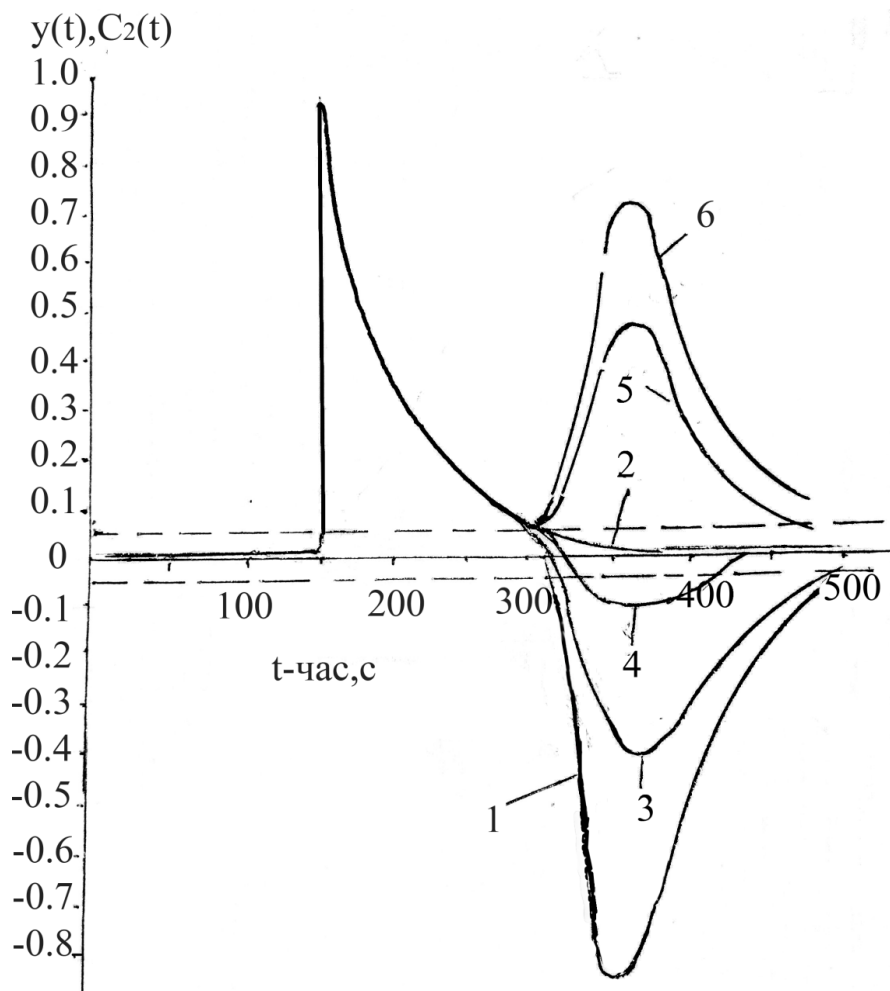


Рис.4.16. Перехідні процеси в дискретній системі автоматичного регулювання концентрації розбавленої маси після змішувача МВК з ОВ

Аналіз наведених графіків дозволяє зробити такі висновки:

1. У разі відсутності МПЗ в системі регулювання концентрації розбавленої маси, тобто у випадку коли  $K_{21}^* = 0 (\alpha = 1)$  і при подачі в систему одиничного стрибкоподібного збурення, спочатку спостерігається різке відхилення вихідної змінної (графік 1), а потім поступовий спад до  $t=300с$ . Після цього настає значне перерегулювання вихідної змінної до  $t=350с$ , а потім поступове збільшення її у напрямку її заданого значення. Тривалість перехідного процесу з урахуванням 5% зони нечутливості системи досягає 500с.

2. Якщо коефіцієнт підсилення каналу регулювання  $21$  дорівнює коефіцієнту підсилення МПЗ, тобто у випадку, коли  $K_{21} = K_{21}^* (\alpha = 0)$ , то при подачі в систему того ж самого збурювального діяння, спочатку спостерігається

(графік 2) різке збільшення відхилення вихідної змінної від її заданого значення, а потім монотонний її спад до заданого значення. З урахуванням тої ж 5% зони нечутливості системи, тривалість перехідного процесу складає 300с.

3. Якщо коефіцієнт підсилення МПЗ  $K_{21}^* = 0.789 (\alpha = 0.5)$ , то при подачі в систему того ж самого збурювального діяння спочатку спостерігається (графік 3) різке збільшення відхилення вихідної змінної, а потім поступовий спад до  $t=375с$ . Починаючи з цього часу вихідна змінна зростає і входить в 5% зону нечутливості за  $t=500с$ .

4. Якщо коефіцієнт підсилення МПЗ  $K_{21}^* = 0.315 (\alpha = 0.2)$  то при подачі в систему того ж самого збурювального діяння спочатку спостерігається (графік 4) різке збільшення вихідної змінної, а потім поступовий спад до  $t=375с$ . Починаючи з цього часу вихідне значення зростає і входить в 5% зону нечутливості за  $t=500с$ , проте перерегулювання цієї змінної значно менше у порівнянні з тим, яке виникло при  $\alpha = 0.5$ . Звідси видно, що менший коефіцієнт  $\alpha$ , тобто якщо коефіцієнт підсилення МПЗ наближається до коефіцієнта каналу керування 21, то тим ближче наближається САР концентрації розбавленої маси до оптимальної, тобто такої у якої коефіцієнт  $\alpha=0$ .

5. Якщо коефіцієнт підсилення МПЗ має від'ємне значення, скажімо,  $\alpha=0.5$ , то при подачі в систему того ж самого збурювального діяння спочатку спостерігається (графік 5) різке збільшення вихідної змінної, а потім її поступовий спад до  $t=300с$ . Починаючи з цього часу вихідна змінна різко зростає і при  $t=350с$  досягає свого максимального значення. Після цього вона монотонно спадає і досягає 5% зони нечутливості за  $t=475с$ .

6. Якщо коефіцієнт підсилення МПЗ має від'ємне значення, скажімо,  $\alpha=0.2$ , то при подачі в систему того ж самого збурювального діяння спочатку спостерігається (графік 6) різке збільшення вихідної змінної, а потім її монотонний спад до  $t=300$ . Починаючи з цього часу вихідна змінна різко зростає і при  $t=350с$  досягає максимального відхилення. Після цього вона монотонно спадає і досягає 5% зони нечутливості за  $t=500с$ .

## 5. РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТИХОХІДНОЮ ПАПЕРОРІБНОЮ МАШИНОЮ

### 5.1. Описання технологічного процесу виробництва паперу на вузькоформатній папероробній машині малої потужності.

Технологічну систему виробництва паперу на вузькоформатній універсальній в паперовій машині (ПРМ) наведено на кресленні ЛА-з71мп.02.ДП.01.000.СхА.

Маса високої концентрації(МВК)із машинного басейна 1 матеріальним насосом 2 подається у збирач МВК 3, а вже з нього подається до змішувача МВК обіговою водою (ОВ) 5 .Обігова вода із резервуара реєстрової води 11 матеріальним насосом 12 подається у збирач обігової води 4,звідки вона подається до змішувача МВК з ОВ 5.

Із змішувача МВК з ОВ розбавлена маса (маса низької концентрації) попадає у напірний ящик 6 із якого вона крізь випускальну щілину цього ящика подається на сітку 7. За допомогою реєстрових валиків 8, відсмоктуючих ящиків 9 та гауч-вала 10 формується паперове полотно, яке передається у сушильну частину машини. Вода від реєстрових валиків поступає у резервуар для води 13, а вода від відсмоктуючих ящиків—у буферний резервуар 14 із якого вона надходить до резервуару реєстрової води.

Наведені вище апарати і частини ПРМ складають так звану мокру частину машини.

Після гауч-вала паперове полотно подається у сушильну частину машини на якій необхідно висушити паперове полотно. Сушіння полотна виконується на сушильних циліндрах 15 у які подаються пара, а також за рахунок нагрітого повітря у калорифері 16.

Сушильна частина машини складається із 2-х секцій(груп). Подача пари у ці секції здійснюється незалежно одна від одної.

Загальний вигляд тихохідної папероробної машини наведено на креслені ЛА-з71мп.02.ДП.02.000.ЗВ.

Аналіз технологічного процесу виробництва паперу на тихохідній папероробній машині дозволяє зробити такі висновки:

1. Концентрація маси в мокрій частині машини має регулюватися за допомогою сучасних систем автоматичного регулювання, елементи яких виробляються на заводах України, Російської Федерації та інших країн світу.

2. Витрату маси високою концентрацією та обігової води потрібно регулювати за допомогою електромагнітних витратомірів, оскільки вимірювання вказаної маси і обігової води за допомогою звужувальних пристроїв (діафрагм) неможливе.

3. Рівень маси (а, отже, і швидкість маси, яка протікає крізь випускальну щілину напірного ящика), потрібно регулювати за допомогою автоматичної системи з корекцією по швидкості сітки. Реалізувати таку автоматичну систему можна тільки на базі цифрових засобів автоматизації.

4. Масу  $1\text{м}^2$  і вологість паперового полотна на накаті потрібно стабілізувати за допомогою цифрових засобів автоматизації. Для цього потрібно мати спеціальні прилади.

## 5.2. Основні рішення щодо схеми автоматизації машини

Схема автоматизації технологічного процесу виробництва паперу на тихохідній папероробній машині наведено на кресленні ЛА-з71мп.02.ДП.01.000.СхА.

Перелік контрольно-вимірювальних приладів, регуляторів і апаратури керування, наведено у дод.А.

### 5.2.1. Технологічний контроль

Технологічний контроль виробництва паперу на тихохідний папероробній машині здійснюється автоматичними приладами, які серійно випускаються на приладобудівних заводах України, Російської Федерації та інших країн Європи.

У якості датчика для вимірювання рівня маси у напірному ящику використовується перетворювач вимірювальний гідростатичного типу пневматичний 13ДГ11-746-0116-150-1 сигнал з якого подається на прилад контролю пневматичний показувальний зі станцією керування ФК0071.

Витрата маси високої концентрації і обігової води здійснюється за допомогою електромагнітних витратомірів ИР-61 сигнали із яких пройшовши електропневмоперетворювачі ЕПП подаються на прилади контролю пневматичні показувальні зі станцією керування ФК 0071. Вказані сигнали подаються в цифрові регулятори витрати маси(ЦРВМ) і витрати обігової води (ЦРВВ).

Концентрація маси високої концентрації (МВК) і обігової води (ОВ), а також концентрація розбавленої маси вимірюється за допомогою датчиків концентрації маси ДКБП- 70А сигнали із яких подаються на прилади контролю пневматичні показувальні типу ФК 0071.

Сигнали із вказаних приладів подаються у цифровий регулятор концентрації маси (ЦРКМ), розміщений у керувальному обчислювальному комплексі (КОК).

Вимірювання вологості паперового полотна на накаті здійснюється вологометром типу "Роса-1" сигнал із якого подається у блок обчислення абс.сухої маси  $1\text{м}^2$  (БОАСМКМ) паперового полотна.

В цей же блок подається і сигнал від датчика маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна типу РВБ-2 з метою визначення поточного значення абс.сухої маси  $1\text{м}^2$  паперового полотна.

Вимірювання параметрів пари (тиск і температура), а також її витрати здійснюється за допомогою загальнопромислових засобів автоматизації.

Це саме можна сказати і відносно вимірювання температури повітря під ковпаком сушильної частини машини.

### 5.2.2. Автоматичне регулювання і керування

У разі використання тільки аналогових засобів автоматизації автоматичне регулювання і керування витратою маси високої концентрації (МВК), обігової води (ОВ), рівнем маси у напірному ящику, тиску пари у сушильній групі здійснюється на базі пристроїв регулювальних пневматичних пропорційно-інтегральних типу ФР 0091. У такому випадку прилади для вимірювання маси  $1\text{ м}^2$  і вологості паперового полотна використовуються як показувальні прилади. З метою підвищення якості продукції, що виробляється на папероробній машині, потрібно застосовувати цифрові засоби автоматизації. За допомогою таких засобів можна реалізувати цифрові регулятори витрати МВК і ОВ. На вхід таких регуляторів подається сигнал від датчиків витрати МВК і ОВ, а вихідні сигнали від них подаються на датчики аналогових регуляторів витрати МВК і ОВ. Задавальні діяння для ЦРВМ і ЦРВВ поступають відцентрового регулятора концентрації маси (ЦРКМ) розбавленої маси. Вхідними змінними ЦРКМ є концентрація МВК, ОВ і розбавленої маси, а вихідними змінними- задавальні діяння ЦРКМ слугує загальне діяння цифрового регулятора або сухої маси  $1\text{ м}^2$  (ЦРМКМ) паперового полотна.



## ВИСНОВКИ

1. Основним параметром паперового полотна, яке виробляється на тихохідній папероробній машині, є маса  $1\text{ м}^2$  паперового полотна.

2. Папероробну машину як об'єкт регулювання і керування масою  $1\text{ м}^2$  паперового полотна можна подати у вигляді основних частин – мокрої і сушильної. Основні процеси, пов'язані з формування паперового полотна знаходяться у мокрій частині машини. Саме тому для розробки системи автоматичного регулювання масою  $1\text{ м}^2$  паперового полотна необхідно мати математичну модель мокрої частини, оскільки сушильна частина передає сформоване паперове полотно від мокрої частини до накату.

3. Математичну модель папероробної машини по каналу «витрата абсолютно сухого волокна, що подається на машину-витрата абсолютно сухої маси  $1\text{ м}^2$  паперового полотна на накаті» можна представити послідовним з'єднанням 3-х аперіодичних ланок 1-го порядку з ланкою значного запізнювання. Параметри вказаних ланок визначаються на підставі використання рівнянь матеріальних балансів по витраті маси високої концентрації та обігової води та їхніх концентрацій.

4. З метою підвищення якості виробленої продукції пропонується у типову систему керування масою  $1\text{ м}^2$  паперового полотна увести модель передбачення збурень, яка підключається паралельно каналу «витрата маси високої концентрації-концентрація маси після змішувача маси високої концентрації з обіговою водою».

5. Розроблену і методами цифрового моделювання систему автоматичного керування абсолютно сухою масою  $1\text{ м}^2$  паперового полотна на накаті пропонується реалізувати на аналогових і цифрових засобах автоматизації, які виробляються на приладобудівних заводах України та Російської Федерації.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- 1 Жученко А.І. Математичні моделі цифрових систем керування [Текст]: навч.посіб. / А.І. Жученко. –К.: ІЗМН, 1997. -240с. Бібліогр.: С.235.-300пр.
- 2 Жученко А.І. Автоматичне керування напірними ящиками паперо-і картоноробних машин [Текст]: монографія / А.І. Жученко, М.С. Піргач, М.З. Кваско. –К.: Бізнес Медіа Консалтинг, 2014. -232с. Бібліогр.: С.215-229. -200пр. ISBN 978-966-2425-34
- 3 Жученко А.І. Аналітичне конструювання дискретних регуляторів [Текст]: навч.посіб. / А.І. Жученко, Л.Р. Ладієва, М.С. Піргач. –К.: Аграр Медіа Груп, 2014. -268с. Бібліогр.: С.262. ISBN 978-617-646-275-0
- 4 Кваско М.З. Проектування і дослідження систем автоматичного керування технологічними процесами [Текст]: навч.посіб. / М.З. Кваско, М.С. Піргач, Т.В. Аверіна. –К.: ІВЦ “Видавництво «Політехніка»”, 2003. -360с. Бібліогр.: С.60-61, С.130, С.192, С.238-238, С.263, С.307-309, С.339-340. -200пр. ISBN 966-622-116-0.
- 5 Кваско М.З. Математичне моделювання та ідентифікація одно-і багатовимірних систем [Текст]: навч.посіб. / М.З. Кваско, Л.Р. Ладієва, М.С. Піргач. –К.: НТУУ «КПІ», 2006. -368с. Бібліогр.: С.277-278. -200пр. ISBN 966-622-211-6.
- 6 Пиргач М.С. Напускная камера напорного ящика открытого типа как объект управления: Сб.науч.гр. УкрНИИБ. М.: Лесн. пром-сть.-1968. –Вып11. –С.114-133.
- 7 Цешковский Э.В. Справочник по автоматизации целлюлозно-бумажных предприятий [Текст] / Э.В. Цешковский, Н.С. Піргач, Г.Д. Ерашкин и др. – 3-е изд. перераб. и доп. –М.: Лесн. пром-сть.-1989. -368с. Библиогр.: С.33, С.73, С.118, С.197-198, С.303-304, С.358. – 2800 экз. ISBN5-7120-0116-7
- 8 Шамсон А.С. Автоматизация напорных ящиков быстроходных бумагоделательных машин [Текст] / А.С. Шамсон, Н.С. Пиргач. –М.: Лесн. пром-сть.-1965. -104. Библиогр.: С.103. – 1100 экз.

## Додаток А. Перелік контрольно-вимірювальних приладів, регуляторів і апаратури керування

Ном поз. по схемі.	Назва параметра середовища і місце відбору імпульса	Межеве значен ня пар-а	Місце установки	Назва і характеристики приладу	Тип мо- делі	Кі- лькіст ь	Завод виробник
1	2	3	4	5	6	7	8
Загальнопромислові та спеціальні аналогові засоби автоматизації							
1В	Регулювання витрати МВК, що подається до змішувача	4м <sup>3</sup> /г	Щит керування	Прилад контролю пневматичний показувальний зі станцією керування. Шкала: 0-100% , рівномірна .	ФК 0071	1	АТ «ТИЗ- ПРИБОР», м.Москва
1Г	Те саме		В щиті керування	Пристрій регулювальний пневматичний пропорційно- інтегральний. Клапан прямий. Під'єднання місцеве.	ФР 0091	1	АТ « ТИЗ - ПРИБОР», м.Москва
1Е	=//=		Те саме	Електропневмоперетвор ювач. Напруга ~220 В ТУ25-02.11.2066-77	ЭПП	1	ВО «Мікротем», м. Сіверськодоне цьк
1А	=//=		Місцевий	Витратомір електромагнітний у комплекті: Вимірювальний пристрій. Діапазон вимірювання: 0-6м <sup>3</sup> /г. Напруга ~220В	ИР-61	1	ВО «Электроприб ор» м.Чебоксари

Продовження дод.А

1	2	3	4	5	6	7	8
1Д	=//=		Те саме	Пристрій заслонковий регулювальний з пневмоприводом і позиціонером Ду 50	L12A50-BC 9/20	1	РАУМА-РЕПУЛА, м.Москва
2В	Регулювання витрати обігової води, що подається до змішувача	19м³/г	Щит керування	Прилад контролю пневматичний показувальний зі станцією керування. Шкала: 0-100%, рівномірна.	ФК 0071	1	АТ « ТИЗ - ПРИБОР», м.Москва
2Г	Те саме		В щиті керування	Пристрій регулювальний пневматичний пропорційно-інтегральний. Клапан прямий. Під'єднання місцеве.	ФР 0091	1	АТ « ТИЗ - ПРИБОР», м.Москва
2Е	=//=		Те саме	Електропневмоперетворювач. Напруга ~220 В ТУ25-02.11.2066-77	ЭПП	1	ВО «Мікротем», м. Сіверськодонецьк
2А	=//=		Місцевий	Витратомір електромагнітний у комплекті: - Вимірювальний пристрій. Діапазон вимірювання: 0-25м³/г. Напруга ~220В -Перетворювач витрати Ду50. Покриття- поліуретановий каучук.	ИР-61	1	ВО «Электроприбор» м.Чебоксари

## Продовження дод.А

2Д	=//=		Те саме	Пристрій заслонковий регулювальний з пневмоприводом і позиціонером Ду 50	L12A50-BC 9/20	1	РАУМА-РЕПУЛА, м.Москва
3В	Регулювання рівня маси у напірному ящику	0,485м.	Щит керування	Прилад контролю пневматичний показувальний зі станцією керування. Шкала: 0-100%, рівномірна.	ФК 0071	1	АТ «ТИЗ - ПРИБОР», м.Москва
3Г	Те саме		В щиті керування	Пристрій регулювальний пневматичний пропорційно-інтегральний. Клапан прямий. Під'єднання місцеве.	ФР 0091	1	АТ «ТИЗ - ПРИБОР», м.Москва
3Б	=//=		Місцевий	Перетворювач вимірювальний гідростатичного типу пневматичний. Діапазон вимірювання: 0-1.0 кгс/м <sup>2</sup>	13ДГ21-746-0116-150-1; К1/2``	1	ВО «Теплоконтроль», м.Рязань
3Д	=//=		Те саме	Пристрій заслонковий регулювальний з пневмоприводом і позиціонером Ду 125	L12A125-BC 12/25	1	РАУМА-РЕПУЛА, м.Москва

## Продовження дод.А

1	2	3	4	5	6	7	8
				Шкала: 0-100%, рівномірна.			
4Б	Те саме		Місцевий	Датчик концентрації маси пневматичний.	ДКБП- 70А		Петрозавод. маш.буд. завод, м.Петрозаводс ьк
5В	Вимірювання концентрації обігової води, що подається до змішувача	0,5 г/л	Щит керування	Прилад контролю пневматичний показувальний зі станцією керування. Шкала: 0-100%, рівномірна.	ФК 0071	1	АТ «ТИЗ - ПРИБОР», м.Москва
5Б	Те саме		Місцевий	Датчик концентрації маси пневматичний. Діапазон вимірювання: 0,1 - 0,1 г/л	ДКБП- 70А	1	Петрозавод. маш.буд. завод, м.Петрозаводс ьк
6В	Вимірювання концентрації маси у напірному ящику	3,28 г/л	Щит керування	Прилад контролю пневматичний показувальний зі станцією керування. Шкала: 0-100%, рівномірна.	ФК 0071	1	АТ «ТИЗ - ПРИБОР», м.Москва
6Б	Те саме		Місцевий	Датчик концентрації маси пневматичний. Діапазон вимірювання: 0,1 - 0,5%	ДКБП- 70А	1	Петрозавод. маш.буд. завод, м.Петрозаводс ьк

Продовження дод.А

1	2	3	4	5	6	7	8
8В	Вимірювання витрати пари на сушильну частини машини	1885 кг/г	Щит керування	Прилад контролю пневматичний інтегровальний. Шкала: 0-3 т/г	ПІК-1	1	АТ «ТИЗ-ПРИБОР», м.Москва
8А	Те саме		Місцевий	Діафрагма камерна з конденсаційним горшком	ДК16-200-1-а/г-5	1	ВАТ «Промприлад» м. Івано-Франківськ
8Б	=//=		Те саме	Перетворювач вимірювальний різниці тиску пневматичний	13ДД11-736-722 001-0116-1	1	ВО «Теплоконтроль», м.Рязань
7Б	Вимірювання тиску пари на сушильну частини машини	0,5МПа (5кгс/см <sup>2</sup> )	Місцевий	Перетворювач вимірювальний пневматичний. Діапазон вимірювання: 0-10кгс/см <sup>2</sup>	ВДИ-13-075-0116-1	1	ВО «Теплоконтроль», м.Рязань
7В	=//=		Щит керування	Прилад контролю пневматичний показувальний. Діапазон вимірювання: 0-100%, шкала рівномірна. Напруга ~220В	ФК 0071		АТ «ТИЗ - ПРИБОР», м.Москва
9Б	Вимірювання температури пари	151.11оС	Місцевий	Перетворювач вимірювальний температури пневматичний. Діапазон вимірювання: 0-200 оС. Довжина дистанційного зв'язку.	13ТД73	1	ВО «Теплоконтроль», м.Рязань

## Продовження дод.А

1	2	3	4	5	6	7	8
				4м. Довжина занурення термобалону 200мм			
9В	=//=		Щит керування	Прилад контролю пневматичний показувальний. Діапазон вимірювання: 0-100%, шкала рівномірна.	ФК 0071	1	АТ «ТИЗ - ПРИБОР», м.Москва
10В	Регулювання тиску пари у трубопроводі досушувальної групи	0,5МПа (5кгс/см <sup>2</sup> )	Щит керування	Прилад контролю пневматичний показувальний. Діапазон вимірювання: 0-100%, шкала рівномірна.	ФК 0071	1	АТ «ТИЗ - ПРИБОР», м.Москва
10Г	Те саме		В щиті керування	Пристрій регулювальний пневматичний пропорційно-інтегральний. Клапан зворотний. Під'єднання місцеве.	ФР 0091	1	АТ «ТИЗ - ПРИБОР», м.Москва
10Б	=//=		Місцевий	Перетворювач вимірювальний надлишкового тиску пневматичний. Діапазон вимірювання: 0-3кгс/см <sup>2</sup>	13ДИ13-074-0116-1	1	ВО «Теплоконтроль», м.Рязань
10Д	=//=		Те саме	Клапан регулювальний з пневмоприводом і позиціонером Ду80	25ч32н жбм	1	ПА «Киевпром-арматура, м.Київ



## Продовження дод.А

1	2	3	4	5	6	7	8
11А	Вимірювання температури повітря	80 оС	Місцевий	Перетворювач вимірювальний пневматичний. Діапазон вимірювання: 0-100 оС.	13ТД73	1	ВО «Теплоконтроль», м.Рязань
11В	=//=		Щит керування	Прилад контролю пневматичний показувальний. Діапазон вимірювання: 0-100%	ФК 0071	1	АТ «ТИЗ - ПРИБОР», м.Москва
12В	Регулювання тиску пари у трубопроводі передсушильної групи		Щит керування	Прилад контролю пневматичний показувальний зі станцією керування. Шкала: 0-100%, рівномірна.	ФК 0071		АТ «ТИЗ - ПРИБОР», м.Москва
12Г	Те саме		В щиті керування	Пристрій регулювальний пневматичний пропорційно-інтегральний. Клапан зворотний. Під'єднання місцеве.	ФР 0091	1	АТ «ТИЗ - ПРИБОР», м.Москва
12Б	=//=		Місцевий	Перетворювач вимірювальний надлишкового тиску пневматичний. Діапазон вимірювання: 0-3кгс/см <sup>2</sup>	13ДИ13-074-0116-1	1	ВО «Теплоконтроль», м.Рязань

## Продовження дод.А

1	2	3	4	5	6	7	8
12Д	=//=		Те саме	Клапан регулювальний з пневмоприводом і позиціонером Ду80	25ч32н жбм		ПА «Київпромарматура, м.Київ
12Д	=//=		Те саме	Клапан регулювальний з пневмоприводом і позиціонером Ду80	25ч32н жбм		ПА «Київпромарматура, м.Київ
13А	Вимірювання вологості паперового полотна на накаті	5%	Місцевий	Вологомір ємкісний. Діапазон вимірювання: %вологості 2-12; Основна похибка вимірювання %вологості $\pm 0,5$ ; Маса контрольованого паперу, г/м <sup>2</sup> 40-400; Стала часу, с $\leq 10$ .	Роса-1	1	НВО «Гауя», м.Рига
14А	Вимірювання маси 1м <sup>2</sup> паперового полотна на накаті		Місцевий	Масомір. Діапазон вимірювання маси 1м <sup>2</sup> , г/м <sup>2</sup> : 40-100; 100-250; 250-500; 500-1000. Максимальна похибка вимірювання, % від верхньої межі вимірювання $\pm 1,0$ . Стала часу, с 12. Максимально контрольована ширина полотна мм-3000. Джерело випромінювання талій-204.	РВБ-2	1	НВО «Укр-НПОбумпром» м.Київ

Продовження дод.А

1	2	3	4	5	6	7	8
15А	Фіксація обриву паперового полотна			Фотоелектричний датчик обриву полотна	ФДУ-1		Пермское СПНУ по АСУ м.Перм
Загальнопромислові дискретні засоби автоматизації							
				Мікропроцесорний регулятор з функцією контролю, індикації. 8 уніфікованих аналогових входів, сигнали постійного струму 0-5Ма, 0-20мА, 4-20мА, 0-10В згідно з ГОСТ 26.011-80	МТК-52		ВАТ «Підприємство “Мікрол”» м. Івано-Франківськ

