Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістр
Освітній рівень

Метод автоматизованого управління виробництва картону

Назва теми

КвРАКІТР.2023171.01.04 ПЗ

Галузь знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації»
Шифр, назва

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
Шифр, назва

Освітня програма «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
Назва

Виконав:
студент II курсу, група АКІТРм-23-1 ____ Ярослав ГАДЖУК
Підпис Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник ____ Ірина ФОРКУН
Підпис, дата Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер ____ Людмила КОРЕЦЬКА
Підпис, дата Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
зав. кафедри АКІТтаР ____ Валерій МАРТИНЮК
Підпис, дата Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

«19» грудня 2024 р.

Хмельницький 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет *інформаційних технологій*
Кафедра *автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки*
Рівень вищої освіти *другий (магістерський)*
Галузь знань *17 – Електроніка, автоматизація та електронні комунікації*
Спеціальність *174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка*
Освітня програма *Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка*

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри АКІТтаР
Валерій МАРТИНЮК
01 вересня 2024р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Гаджуку Ярославу Івановичу
Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема роботи Метод автоматизованого управління виробництва картону

Керівник роботи Форкун Ірина Валеріївна, к.т.н., доцент
Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, учене звання

Затверджено наказом ректора університету від 26.08.2024 р. №60

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 02.12.2024р.

3 Вихідні дані до роботи Аналіз сучасного стану обладнання для виробництва картону. Розробка алгоритмічного та програмного забезпечення

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. Дослідження техпроцесу у плоскосіткових картоноробній машині. Математичне моделювання плоскосіткової картоноробної машини. Дослідження характеристик у статиці і динаміці систем подавання маси плоскосіткової картоноробної машини. Розробка та дослідження автоматичного управління процесом виготовлення багаторівневого картону. Висновки.

5 Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)
презентаційні матеріали (слайди)

6 Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Антиплагіат	Федула М.В., доцент кафедри АКІТтаР		
Нормоконтроль	Корецька Л.О., доцент кафедри АКІТтаР		

7 Дата видачі завдання 01 вересня 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1 Вступ	10.09.2024р.	Виконано
2 Огляд літературних джерел та патентних даних	25.09.2024р.	Виконано
3 Огляд існуючих методів	15.10.2024р.	Виконано
4 Алгоритмічне проектування	30.10.2024р.	Виконано
5 Розробка програмного забезпечення	10.11.2024р.	Виконано
6 Висновки	15.11.2024р.	Виконано
7 Оформлення пояснювальної записки до кваліфікаційної роботи	20.11.2024р.	Виконано
8 Оформлення презентаційних матеріалів	1.12.2024р.	Виконано

Студент ____________ Ярослав ГАДЖУК
Підпис Ім'я, прізвище

Керівник роботи ____________ Ірина ФОРКУН
Підпис Ім'я, прізвище

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Метод автоматизованого управління виробництва картону».

Автор роботи: Гаджук Ярослав Іванович.

Керівник роботи: Форкун Ірина Валеріївна, к.т.н., доцент

Пояснювальна записка: 95 с., 29 рис., 1 дод., 70 джерел.

Графічна частина: презентаційні слайди.

КАРТОН, ДОВГОСІТКОВА КАРТОНОРОБНА МАШИНА, НАПІРНИЙ ЯЩИК, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ.

Мета роботи: створення схеми автоматизації виробництва картону на довгокартоноробній машині та дослідження системи автоматичного керування барокамерою з повітряною подушкою.

На основі дослідження процедур у камері тиску було створено математичне представлення камери тиску, пов'язане з рівнем маси об'єкта та загальним масовим тиском.

Рекомендується система з автоматичним керуванням напірним боксом, рівень маси в ньому регулюється регулятором рівня маси, який змінює кількість повітря, що подається в бокс, а загальний тиск маси регулюється загальним тиском маси, яка контролює потік маси до напірної камери.

(підпис) 02.12.2024

Підпис студента Дата

ЗМІСТ

ВСТУП....4
1 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХПРОЦЕСУ У ПЛОСКОСІТКОВИХ КАРТОНОРОБНІЙ МАШИНІ....6
1.1 Плоскосіткові картоноробні машини....6
1.2 Устаткування плоскосіткової картоноробної машини....9
1.2.1 Формуючий ящик напірний першого шару картону....9
1.2.2 Ящик напірний формування другого шару картону....11
1.3 Аналіз систем управління процесом формування картону на сітці картоноробної машини....12
1.3.1 Система автоматичного управління формуванням двошарового картону....12
1.3.2 Системи управління напірним ящиком із аналоговими регуляторами....15
1.3.3 Автоматизований ящик напірний із масовим рівнем і задавачем тиску повітря.....16
1.3.4 Ящик напірний із масовим рівнеміром та задаванням тиску повітря.....17
1.3.5 Контроль тиску у камері напірній регуляторами рівня маси та тиску маси.....19
1.3.6 Контроль тиску камери напірної регулятором тиску повітря та тиску маси.....20
1.3.7 Контроль тиску напірної камери регулятором тиску повітря та тиску маси....21
1.4 Спеціальні засоби автоматизації....22
1.5 Висновки до першого розділу....24
2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЛОСКОСІТКОВОЇ КАРТОНОРОБНОЇ МАШИНИ....25

2.1 Система подавання маси основи на сітку ... 25
2.1.1 Технологічна схема систем подавання маси основи на сітку машини . 25
2.1.2 Технологічна схема ящика напірного із повітряною подушкою ... 27
2.2 Математична модель ящика напірного із повітряною подушкою ... 43
2.3 Висновки до другого розділу ... 53
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК У СТАТИЦІ І ДИНАМІЦІ СИСТЕМ ПОДАВАННЯ МАСИ ПЛОСКОСІТКОВОЇ КАРТОНОРОБНОЇ МАШИНИ .. 54
3.1 Система подавання маси на сітку ... 54
3.2 Характеристика у статиці ящика напірного із подушкою повітря ... 54
3.3 Характеристики у динаміці напірного ящика як об`єкту управління рівнем маси і тиском повітряної подушки ... 59
3.4 Динамічні характеристики ящика напірного як об`єкту управління загальним напором маси ... 68
3.5 Дослідження характеристик у динаміці подушки повітря ящика напірного ... 71
3.6 Висновки до третього розділу ... 75
4 розробкА та дослідження автоматичного УПРАВЛІННЯ процесом ВИГОТОВЛЕННЯ багаторівневого картону ... 76
4.1 Система автоматичного управління ... 76
4.2 Пошук дискретної передавальної функції регулятору загального напору маси без фільтрації змінної входу регулятору ... 76
4.3 Знаходження функції програмування дискретного регулятора загального напору маси ... 80
4.4 Дослідження дискретної системи управління і регулювання сумарним напором маси за методом z-перетворення ... 81
4.5 Висновки до четвертого розділу ... 86
ВИСНОВКИ ... 87
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ ... 89
ДОДАТОК А Стаття у фаховому журналі ... 97

ВСТУП

Картон — це твердий аркуш матеріалу вагою понад 250 г/м2, за класифікацією колишнього СРСР його товщина 0,3-5 мм і більше. За кордоном мінімальна вага 1 м2 картону становить 150-200г.

За поширеною раніше в Україні класифікацією картон поділяють на групи: пакувальний, поліграфічний, офісний, електроізоляційний, будівельний, покрівельний, гідроізоляційний, підкладковий, декоративно-оббивний, фільтрувальний, текстильний, взуттєвий.

Сировиною, необхідною для виробництва картону, є в основному продукти напівфабрикату із більш грубих волокон, ніж для виробництва паперу: коричнева деревна маса, целюлоза, яка є напівпористою, макулатура. Картон складається із попередньо підготовленої (подрібненої, іноді склеєної, наповненої та розфарбованої) маси на машинах для картону, які часто бувають плоскими або циліндричними, а також на машинах, які приймають окремі аркуші води. Листи формують на гідравлічних пресах, які притискають, сушать в каналах, стрічках та інших пристроях, що сушать, глазурують і ущільнюють на каландрах, сортують і пакують.

Завдання стосується створення атмосферостійкого картону (крафт-картон, лайнер). Це складний картон, із якого виготовляють коробки, із яких виготовляють контейнери. Він стійкий до впливу вологи при зберіганні контейнерів, які можуть переміщатися на великі відстані. Він складається із сульфатованої целюлози, яка склеєна смолою.

Машина для виробництва картону - це машина, яка виробляє безперервний лист картону вагою до 1200 г/м2. Основні різновиди картонажних машин: плоскосітчасті, круглосітчасті, багатоциліндрові та комбіновані. Машини для картону із плоским екраном підходять для виробництва одно- або багатошарових карток вагою до 500 г/м2.

Метою роботи є створення схеми автоматизації виробництва картону на довгокартоноробній машині та дослідження системи автоматичного управління барокамерою із повітряною подушкою.

Об'єкт дослідження процеси автоматизації виробництва катрону на довгокартоноробній машині.

Предмет дослідження методи автоматизації виробництва катрону на довгокартоноробній машині.

Методи дослідження методи теорії автоматичного регулювання, методи аналітичної геометрії, методи математичного моделювання.

Завдання роботи:

- дослідити методи виробництва картону;
- визначити напрями покращення системи автоматичного управління довгострічкової машини виробництва картону;
- розробка методу автоматичного управління;
- розробка математичної моделі автоматичного управління;
- дослідження математичної моделі автоматичного управління.

Наукова новизна роботи полягає у створенні методу автоматизації виробництва картону на довгокартоноробній машині та дослідження системи автоматичного управління барокамерою із повітряною подушкою.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХПРОЦЕСУ У ПЛОСКОСІТКОВИХ КАРТОНОРОБНІЙ МАШИНІ

1.1Плоскосіткові картоноробні машини

Типова принципова діаграма типової картонної машини із плоскою сіткою із двома контейнерами під тиском зображена на рисунку 1.1

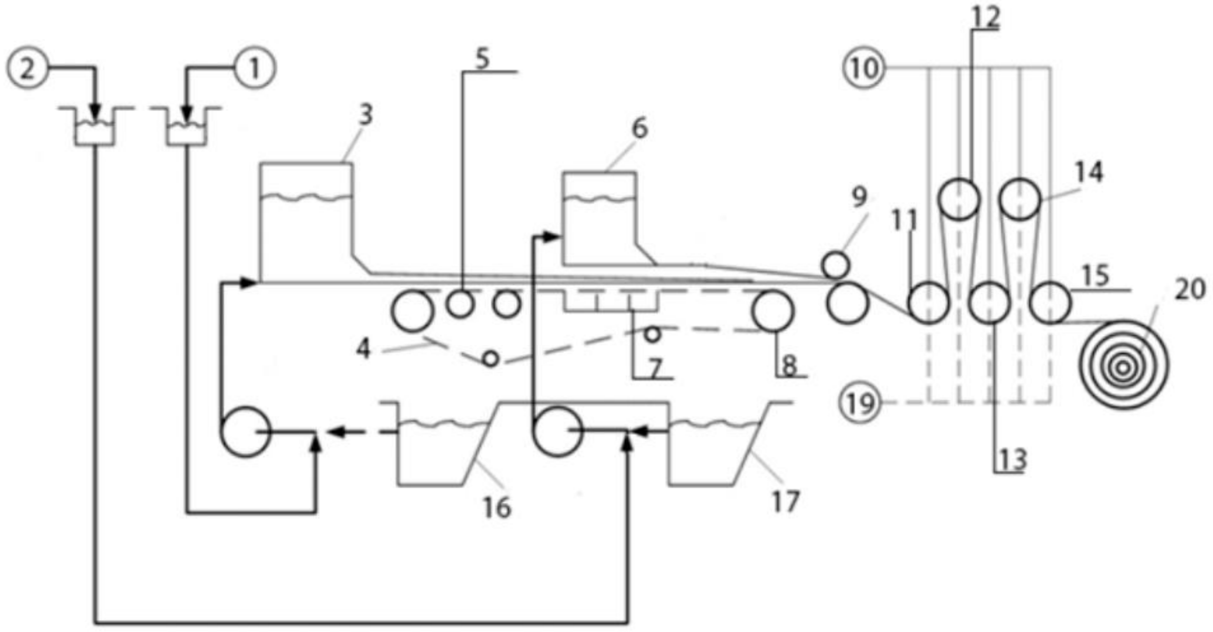

Рисунок 1.1 – Технологічна схема плоскосіткової картоноробної машини : 1 – трубопровід 1-го шару; 2 – трубопровід 2-го шару; 3 – перший ящик напірний; 4 – сітка; 5 – регістрові валки; 6 – другий ящик напірний; 7 – відсмоктуючій ящики; 8 – вал; 9 –частина преса; 10 – трубопровід; 11, 12 – перша сушильна група; 13, 14, 15 – друга, третя та четверта сушильна група; 16 – 18 – водоний сепаратор; 19 – каток

Розбавлена і спеціально розшарована маса (малої концентрації) 0,5% подається по трубопроводу в перший напірний бокс ємністю 1, із якого через вихідний патрубок цього ящика витікає в сітку. Ця коробка заповнена

роликами реєстратора 5 і коробками всмоктування 7. Нескінченна сітка відповідає за функцію швидкохідного фільтра. Тонкий шар волокна відразу осідає на сітці, а потім сам служить тонким фільтром, який призупиняє волокна. На ділянці регістра волокниста суспензія знижується до концентрації 0,4-2,0%, іноді менше.

Друга барокамера 6 призначена для розливання розчину розведеної маси із концентрацією 0,7% на вже сформований перший шар двошарового картону. Ця барокамера знаходиться під всмоктувальними ящиками № 7. Отримане картонне полотно сушиться на цих ящиках до 8-10% за рахунок підвищення міцності вакууму вздовж картонного полотна в діапазоні від 5-25 до 10-300 мм рт.ст. і ковзайте в стрижень дивана. Сучасні плоскоекранні картонні машини використовують всмоктувальні шари, ці шари зневоднюються за допомогою всмоктувальної камери, яка має тиск 600-650 мм рт.ст. Сухість картонного полотна після крейдування 18-22%.

На машинах, які ріжуть зі швидкістю 400-450 м/год і не мають автоматичного переміщення аркуша картону із сітки на полотно першого преса, сітка охоплює вал кушетки і повертається до скрині по кількох сітках. ролики, які керуються GPS. Привід — одноциліндровий двигун; всі інші компоненти двигуна, які є частиною сітчастої частини машини, мають власні ротори. На сучасних високошвидкісних картоноробних машинах, які, як правило, оснащені вакуумними відсмоктувачами, крім валу кушетки, приводом також є первинний вал сітки. Вода, яка проходила через сітку машини (вода, яка називається циркулюючою водою), мала в собі волокна, вона потрапляла у ванну із підсіткою та повторно використовувалася для розведення основної маси високої концентрації, яка подавалася до змішувача.

Після проходження сітчастої частини сформований картонний лист досягне пресової частини машини № 9, ця частина містить кілька пресів, які послідовно зневоднюють лист до сухості 27-40%. Як правило, прес має два однакових за розміром вала, нижній є приводним. На машинах, які

використовують всмоктування для ущільнення картону, полотно зневоднюється під дією розрідження у всмоктувальних камерах, а також за рахунок тиску між валами. Всмоктувальні камери з’єднані із вакуумною системою типу Sulzer. На звичайних (невсмоктуючих) пресах картон зневоднюється тільки тиском між валами. Між притискними роликами простягається тканина, яка ніколи не зупиняється, на цій тканині розташоване картонне полотно.

Сітчасті та пресові частини машин називаються вологою частиною картонної машини із плоскими сітками. Він може мати як один, так і два насосних механізми. Із загального об'єму води, видаленої із картонного полотна на машині, 94-96% видаляється із сітчастої частини, а 3-4% - із пресової частини. Подальше зневоднення (сушіння) картону здійснюється в сушильній частині машини. [1-5]

Частина сучасної машини для плоского картону, яка передбачає сушку, складається із тонкостінних чавунних циліндрів, які нагріваються зсередини за допомогою трубопроводу довжиною 10 дюймів. Вони організовані в шаховому форматі, зазвичай у два яруси. Вологий аркуш картону проходить через сушильні циліндри, торкаючись спочатку нижніх, потім верхніх циліндрів, то однієї поверхні, то іншої. Щоб сприяти більшій взаємодії між циліндрами та картонним полотном, а також покращити процес наповнення полотна після його пошкодження, у сушильній частині машини, яка покриває циліндри, використовуються висушені тканини. Загалом ці тканини мають 180 градусів покриття. Тканина частково відповідає за воду, яка випарувалася із картонного полотна. Для відводу цієї води із полотен встановлені циліндри для сушіння; ці циліндри схожі на ролики, які направляють полотна, вони також обертаються разом із полотном. Вологість аркуша картону після висихаючої частини досягає 92-95%, а температура 80-95°C. Конденсат із попереднього процесу сушіння та першого процесу 12 сушіння обидва вводяться в перший водяний сепаратор 16, додатково конденсат із другого

процесу сушіння 13 вводиться в другий водовіддільник 17. Крім того, він отримує конденсат із четвертого Сушильний клан 15. Зрештою, конденсат третього процесу сушіння 14 надходить у третій водорозподільник 18.

Водовіддільник являє собою вертикальну ємність діаметром 800-1000 мм і висотою 1500-2000 мм циліндричної форми. Потім суміш пари та конденсату подається до верхньої частини цього циліндра та перетинає перегородку, прикріплену до кришки, яка знаходиться приблизно посередині циліндра. Тиск в циліндрах менше тиску суміші пари і конденсату, тому із них виділяється вторинна пара, яка разом із парою, що виділяється із конденсату, пропускається через сопло, розташоване у верхній кришці циліндра. сепаратор води. Це призводить до того, що вода відділяється від інших рідин. Водовіддільники мають пневматичні механізми контролю рівня конденсату прямої дії. Ці контролери постачаються разом із картонною машиною.

1.2 Устаткування плоскосіткової картоноробної машини

Основне обладнання картоноробної машини із плоскими сітками, яка призначена для виробництва, наприклад, двошарового картону, складається із двох пресових коробок, які окремо піддаються тиску: перша пресувальна коробка, яка створює перший шар, і друга пресувальна камера коробка, яка створює другий шар (покриття). Вони мають унікальні атрибути та різні структурні конструкції.

1.2.1 Формуючий ящик напірний першого шару картону

Схема барокамери із повітряною подушкою, призначеної для створення першого шару двошарового картону, зображена на рис.1.2.

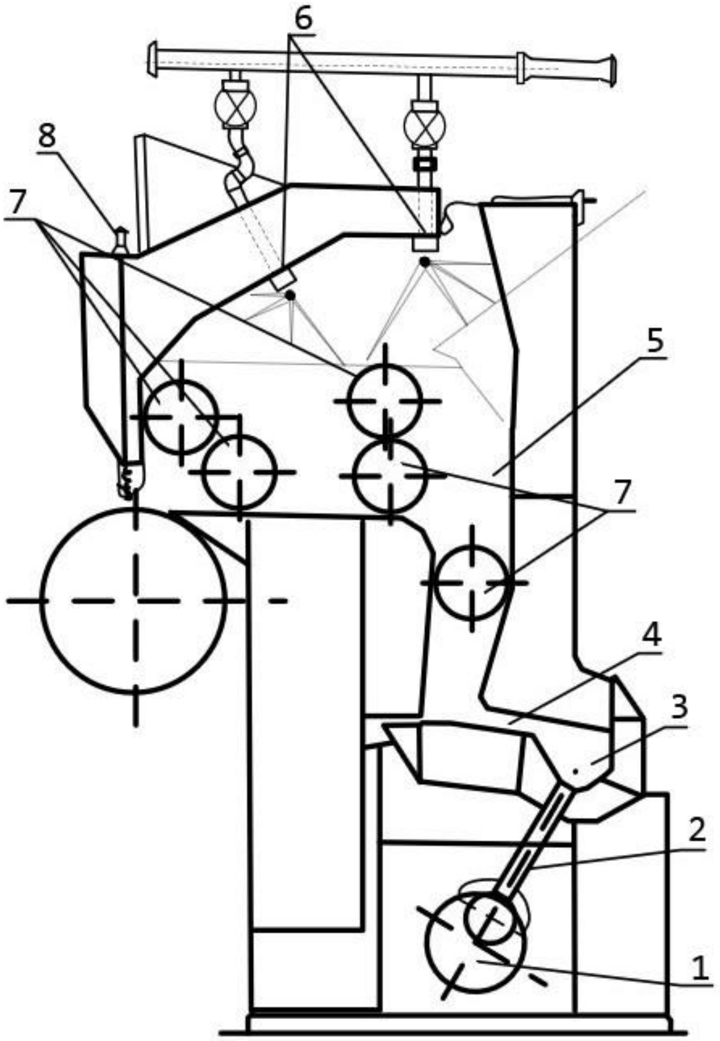

Рисунок 1.2 – Схема ящику напірного із повітряною подушкою, формуючого перший шар двошарового картону:
1 – конусний розподілювач потоку; 2 – 24 патрубки; 3 –камера; 4 –щілина; 5 – камера напуску; 6 –щілина випуску; 7 – перфоровані валки; 8 – пристрій тонкого регулювання висоти щілини випуску; 9 – форсунки.

Маса розбавляється першим насосом і далі подається в конічний розподільник 1, який веде в турбулентну камеру 3 через 24 сопла і вхідну камеру 5 через вузьку щілину 4. У цій конфігурації розміщені 5 перфорованих роликів 7. З камери, в яку надходить маса, вона 6 разів протікає через вихідний отвір і потрапляє на решітку машини. Підйом вихідного отвору в горизонтальному напрямку змінюється переміщенням верхньої губки,

пов’язаної із пристроєм, для точного налаштування висоти випускного отвору. Точне значення висоти розетки виявляється можливим визначити за шкалою, розташованою над верхньою кромкою розетки. Для видалення піни із поверхні маси заливної камери через шпори нагнітають воду до 9. [1-5]

Перфоровані ролики в цій барокамері мають різні швидкості обертання: у турбулентній камері вони складають 8 об/хв; в центрі камери вони становлять 25 об/хв. Руху перфорованих роликів сприяють окремі колектори.

1.2.2 Ящик напірний формування другого шару картону

Камера тиску для створення другого шару двошарового картону проілюстрована на рис.1.3.

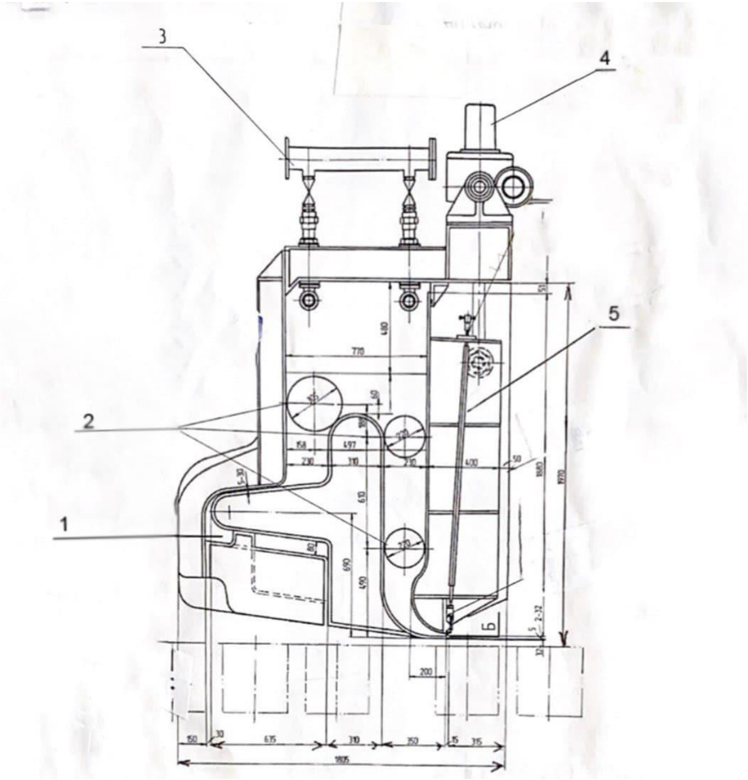

Рисунок 1.3 – Ящик напірний із повітряною подушкою, формуючий перший шар двошарового картону (бік з лиця):

1 – канал подачі маси; 2 – перфоровані валки; 3 – трубопровід подачі води; 4 –двигун; 5 – штанга.

Розведена маса подається 2-м змішувальним насосом в цю напірну коробку через масоподводящий канал 1, із якого вона через вузьку щілину надходить у вхідну камеру, а через вихідну щілину витікає із неї на поверхню першого шару картон. Уздовж траєкторії розміщені три перфорованих ролика 2: один діаметром 305 мм і два діаметром 220 мм. Переміщенню верхньої кромки вихідної щілини у вертикальному напрямку сприяє пневмодвигун 4, регулювання висоти (профілю) вихідної щілини відносно ширини аркуша картону здійснюється тягами 5. Для усунення піну із поверхні маси, воду під тиском подають по водопроводу. [1-5]

1.3 Аналіз систем управління процесом формування картону на сітці картоноробної машини

1.3.1 Система автоматичного управління формуванням двошарового картону

Принципова схема системи, яка керує процесом формування двошарового картону із двома притискними коробами, проілюстрована на рис.1.4.

Основна маса низькоконцентрованої маси, призначеної для створення 1-го шару картону, подається 1-м насосним механізмом 1 через регулюючий орган 3 у вхідну камеру 5, а більша частина маси (близько 90%) буде потік через вихідний отвір 8 до нескінченної сітки 9. Близько 10% загального об'єму проходить через так звану трубу Hornbostel (контролер Hornbostel) 19 на вхід 1-го насоса. Повітря, яке всмоктується компресором, подається через корпус, який регулює потік, у повітряну подушку, потім через трубу Hornbostel у навколишнє середовище. [6-9]

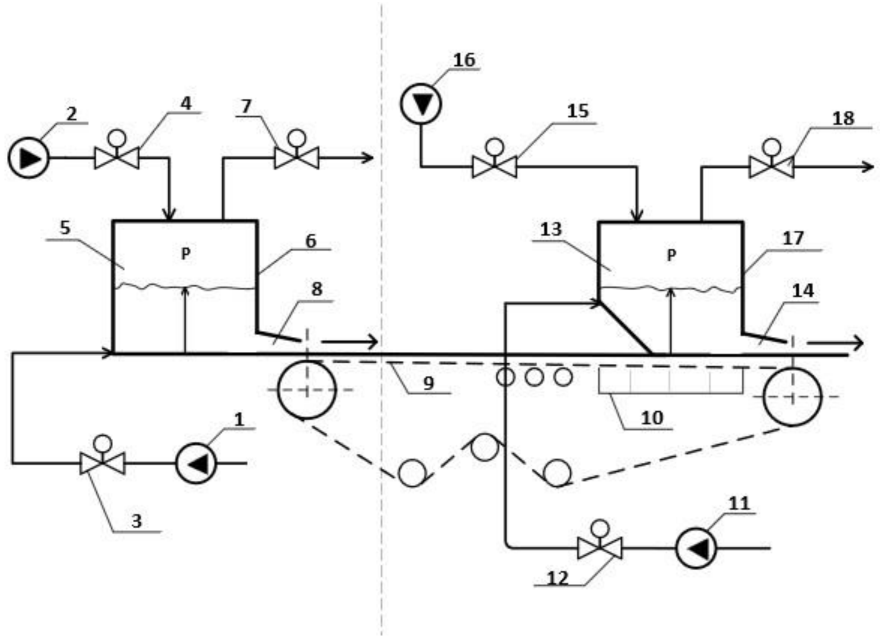

Рисунок 1.4 – Система автоматичного управління формуванням полотна картону на сітці із двома напірними ящиками:
1 і 11 – I і II насоси змішування; 2 і 16 – I і II компресори; 3,4,12 і 15 – регулювальні органи; 5 і 13 – камери напуску; 6 і 17 – подушки повітря; 9 – сітка; 10 – ящики відсмоктування; 19 і 20 – труби;

Друга напірна коробка; цей ящик призначений для розливу маси на шар, утворений за допомогою першого напірного ящика, він розміщений на 10 дюймів над всмоктувальними ящиками. Розведена маса призначена для другого (покривного) шару картону, подається другим насосом 11 через регулюючий орган 12 в наповнювальну камеру 13. Звідти надходить більша частина маси (близько 95%). через випускний отвір 14 в перший шар картону, сформований на сітці. Менша частина загальної маси (близько 5%) направляється через трубу Hornbostel на вхід другого насоса потужністю 11. Повітря, яке стискається компресором 16, проходить через регулюючий орган 15 і закачується в повітряну подушку, потім вона залишає подушку через трубу Hornbostel 20 у навколишнє середовище. [6-9]

Давайте обговоримо специфіку принципу автоматичної системи коробки тиску, яка базується на конструкції Хорнбостеля, рис.1.5.

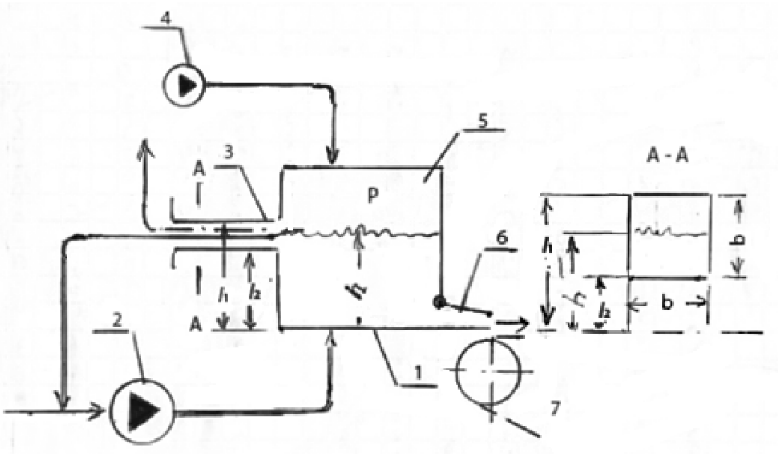

Рисунок 1.5 – Принципова схема управління напірним ящиком, на базі регуляторів Хорнбостела:

1 – камера напуску; 2 –насос; 3 –регулятор Хорнбостела; 4 – компресор; 5 – подушка повітря; 6 –щілина; 7 – сітка

Припустимо, що перетин труби Hornbostel є прямокутним. Після цього загальна площа поперечного перерізу отвору, через який все повітря виходить назовні.

$$f(b) = b(l_1 - h), \quad (1.1)$$

де l_1 – відстань від дна барокамери до верху квадрата; h - об'єм входу в камеру.

Тож

Якщо $h = l_2$, то $l_1 - l_2 = b$.

$$f_b = b^2. \quad (1.2)$$

Якщо $h = l_1$, то $l_1 - h = 0$. Тож,

$$f_b = 0, \quad (1.3)$$

Отже

$$f_b = \varphi(h). \quad (1.4)$$

З рисунка видно, що нове місто менш популярне, ніж старе. 1,5 через канал Hornbostel все повітря, яке спочатку подається до подушки безпеки, видаляється, і залишається лише близько 5-10% маси коробки тиску. Природно, що величина їх витрат базується на положенні межі, що відрізняє масу від повітря, а також на власному ступені маси поверхні. У результаті більша частина повітря потраплятиме в труби Hornbostel під тиском повітряної подушки. Якщо об’єм маси змінюється внаслідок порушення сталого режиму подавання маси та повітря в камеру напірну, це викликано, наприклад, нестабільною роботою змішувача або компресора, межею поділу маса і повітря зміститься відносно центру вхідного отвору труби Hornbostel. В результаті при збільшенні об’єму маси у вхідній камері відповідно до формули у (1.1) зменшиться площа поперечного перерізу трубки Горнбостеля для виходу повітря із повітряної подушки, що призведе до збільшення тиску повітря в подушці. Якщо за рахунок свердління зменшити загальну масу в нагнітальному отворі камери, то загальна площа труби Горнобстеля збільшиться відповідно до формули у (1.1), що призведе до зменшення тиску повітряної подушки, що призведе до у збільшенні рівня маси в інжекційному отворі камери.

Дослідження процедури описаної вище системи автоматичного управління напірною камерою демонструє, що ця система забезпечує регулювання загального тиску шляхом зміни загального тиску маси, при цьому тиск маси не змінюється, що призводить до нестійка маса 1м2 картону, який згортається.

1.3.2 Системи управління напірним ящиком із аналоговими регуляторами

Комбінований тиск маси в зоні нагнітання напірної камери.

$$H = h + mP, \tag{1.5}$$

де h - загальний об'єм вхідної камери; P - тиск повітряної подушки;

м — відношення тиску води до її об’єму в кПа.Ст.

Визнано, що для запобігання флокуляції та осідання волокон у вхідній камері об’єм не повинен перевищувати 1 метр. Ст.. Якщо картонна машина працюватиме зі швидкістю, скажімо, 600 м/год, загальний тиск маси становив би 5,1 м вод. ст. В результаті в повітряній подушці за допомогою компресора необхідно створити додатковий тиск 0,41 кПа (або 4,1 м вод. ст.).

Аналіз формули у (1.5) демонструє, що стабілізація рівня маси та загального тиску маси теоретично може бути здійснена за допомогою двох автоматичних регуляторів, які регулюють тіла, що змінюють потік маси та повітря, ці регулятори поставляються разом із комплексним об'єктом. Тому як ми маємо три вихідні змінні та дві керуючі дії, теоретично виявляється можливим створити шість різних варіантів автоматичного управління коробкою тиску.

1.3.3 Автоматизований ящик напірний із масовим рівнем і задавачем тиску повітря.

Принципова схема системи автоматичного управління напірної камери із масовим рівнем і регулятором тиску повітря (варіант I) зображена на рисунку 1.6.

У цій конструкції об’єм маси вимірюється датчиком об’єму 1А, сигнал 3 якого подається на автоматичний регулятор об’єму 1В, останній змінює положення регулюючого органу 1G, що відповідно змінює потік маси в камеру. 1, а потім через нагнітальний отвір 5 на сітку 6. Тиск повітряної подушки оцінюється датчиком тиску 2А, сигнал від якого надходить на автоматичний регулятор тиску 2В, який регулює рух регульованого корпусу 2G, і, як наслідок, потік повітря в подушку 4 контролюється компресором 3. В результаті очікується, що якщо маса та рівень тиску повітряна подушка

підтримується постійною відповідно до формули у (1.5), загальний тиск маси, що витікає із неї, буде стабільним. [6-9]

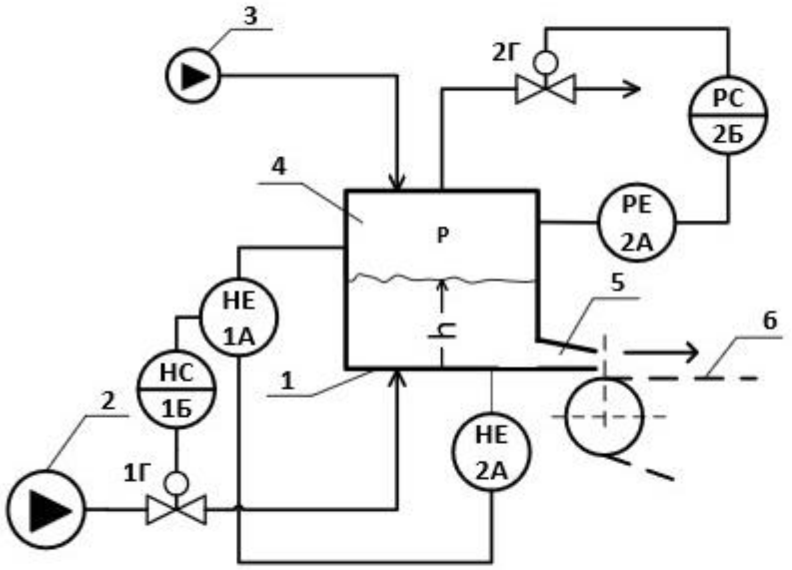

Рисунок 1.6 – Технологічна схема системи управління ящиком напірним, із аналоговими регуляторами рівня маси та тиску повітря (варіант І):
1 – камера напуску; 2 –насос; 3 – компресор; 4 – подушка повітря; 5 –щілина випуску; 6 – сітка

1.3.4 Ящик напірний із масовим рівнеміром та задаванням тиску повітря.

Принципова схема системи автоматичного управління напірної камери із масовим рівнем і регулятором тиску повітря (варіант II) зображена на рисунку 1.7.

У цій системі сигнал від датчика рівня 1A передається на автоматичний регулятор рівня 1B, який своєю керуючою дією змінює положення регульованого корпусу 1G, в результаті чого змінюється потік повітря в подушці. Сигнал від датчика тиску 2A є входом до автоматичного регулятора тиску 2B, який за допомогою своєї дії управління змінює потік маси, що подається в напірну коробку за допомогою регулюючого органу 2G. [6-9]

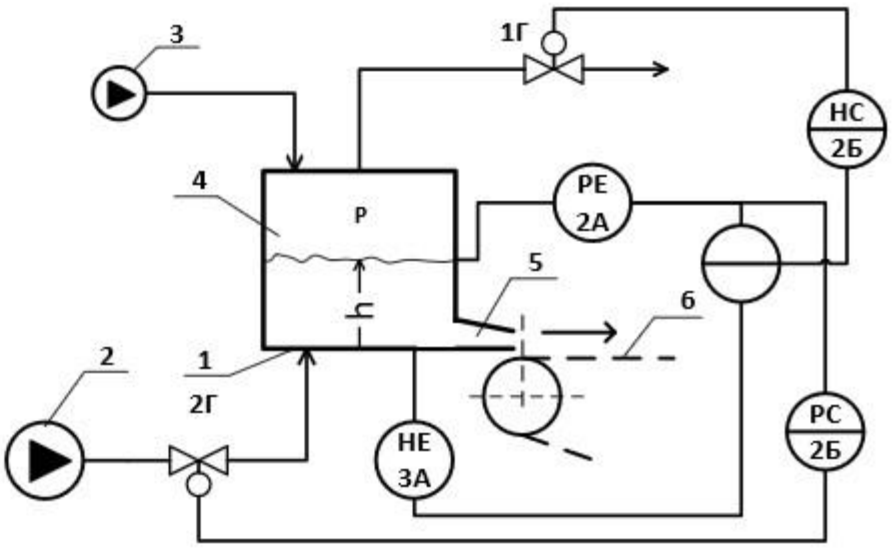

Рисунок 1.7 – Схема системи управління ящиком напірним, із аналоговими регуляторами рівня маси та регулятором тиску повітря (варіант II):
1 –камера напускна; 2 –насос; 3 – компресор; 4 –подушка повітря; 5 –щілина випускна; 6 – сітка

1.3.5 Контроль тиску у камері напірній за регуляторами рівня маси та тиску маси

Принципова схема автоматичної системи регулювання тиску коробки із регулятором масового рівня та загального масового тиску (варіант III) зображена на рисунку 1.8.

У цій системі датчик тиску загального тиску маси 3А видає сигнал, який надсилається на автоматичний контролер загального тиску маси 3В, цей контролер впливає на положення тіла 3Г, який, в результаті, змінює потік повітря із коробки в навколишнє середовище. На виході датчика рівня маси 1А формується сигнал, який надходить на автоматичний регулятор рівня маси 1В, цей сигнал контролює положення регулюючого органу 1G, який, як наслідок, впливає на потік маси до входу в камеру. [6-9]

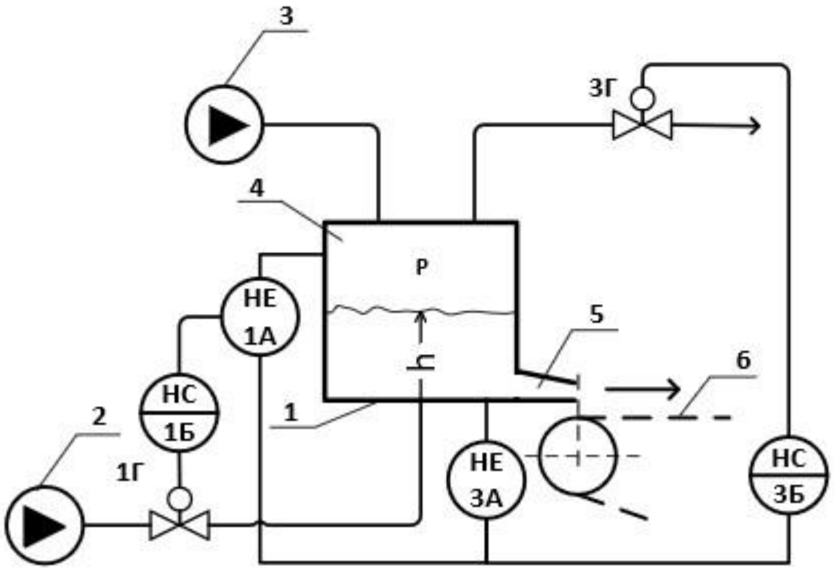

Рисунок 1.8 – Технологічна схема системи управління ящиком напірним, із аналоговими регуляторами рівня маси та напору маси (варіант III): 1 –камера напускна; 2 –насос; 3 – компресор; 4 –подушка повітря; 5 –щілина випуску; 6 – сітка

1.3.5 Контроль тиску у камері напірній регуляторами рівня маси та тиску маси.

Принципова схема автоматичної системи регулювання тиску коробки із регулятором масового рівня та загального масового тиску (варіант IV) зображена на рис.1.9.

У цій системі датчик загального тиску маси 3А видає сигнал, який надсилається на автоматичний контролер загального тиску маси 3В, цей контролер діє на положення регульованого органу 3G, який, в результаті, впливає на обсяг споживання коробки напірної. Сигнал від датчика рівня більшої маси 1А передається на автоматичний контролер рівня загальної маси 1В, який своїми керуючими діями змінює положення регулюючого органу 1G, тим самим змінюючи потік повітря із боксу в навколишнє середовище. .

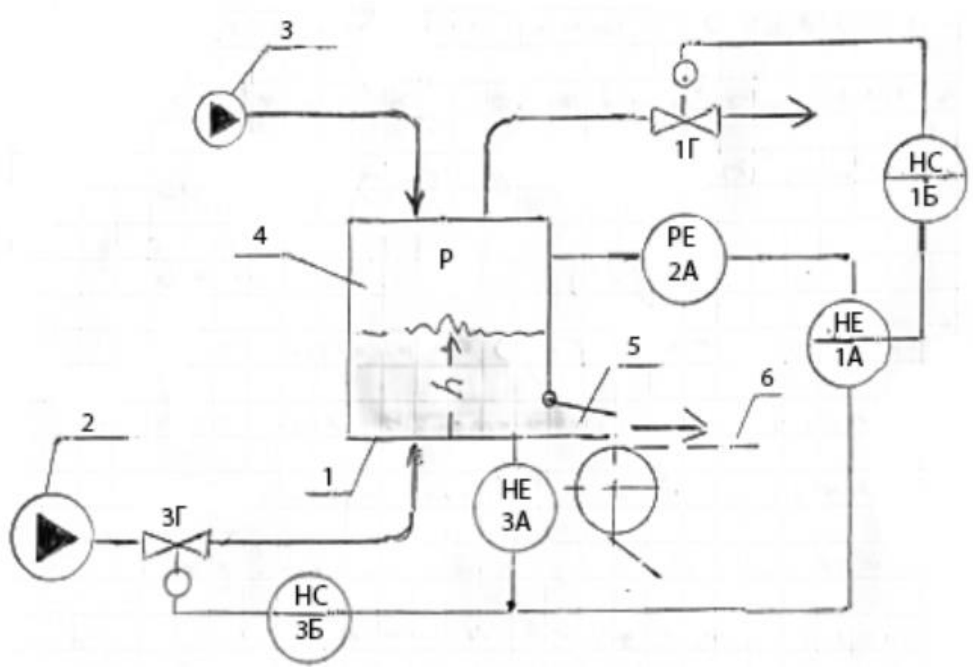

Рисунок 1.9 – Технологічна схема системи управління ящиком напірним, аналоговим регулятором рівня маси та напору маси
(варіант IV):
1 –камера напускна; 2 –насос; 3 – компресор; 4 –подушка повітря; 5 –щілина випуску; 6 – сітка

1.3.6 Контроль тиску камери напірної регулятором тиску повітря та тиску маси.

Принципова схема автоматичної системи управління напірною камерою із регулятором тиску як повітря, так і загальної маси (варіант V) зображена на рисунку 1.10.

У цій системі датчик тиску загальної маси 3А видає сигнал на автоматичний регулятор загальної маси 3В, цей контролер діє на положення корпусу 3G, який за допомогою свого управління змінює потік повітря в навколишнє середовище від подушка безпеки. Датчик тиску повітря 2А

з'єднаний із автоматичним регулятором тиску 2В, який, у свою чергу, з'єднаний із масовим витратоміром 3.

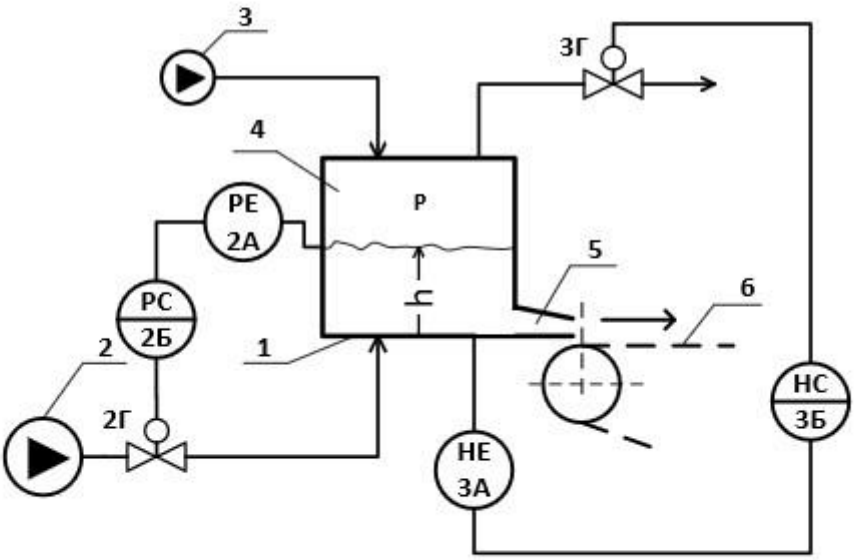

Рисунок 1.10 – Технологічна схема системи управління ящиком напірним, аналоговими регуляторами тиску повітря та напору маси (варіант V):
1 –камера напускна; 2 –насос; 3 – компресор; 4 –подушка повітря; 5 –щілина випуску; 6 – сітка

1.3.7 Контроль тиску напірної камери регулятором тиску повітря та тиску маси

Технологічна схема автоматичної системи управління напірною коробкою із регуляторами тиску повітря та регулятором загального тиску (Варіант VI) зображена на рисунку 1.11.

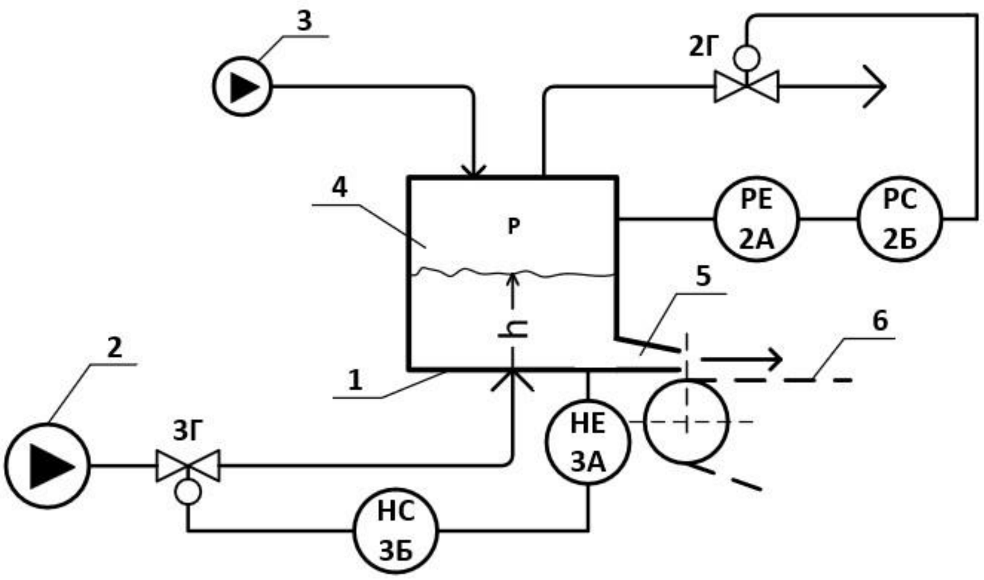

Рисунок 1.11 – Технологічна схема системи управління ящиком напірним, аналоговими регуляторами тиску повітря та напору маси
(варіант VI):
1 –камера напускна; 2 –насос; 3 – компресор; 4 –подушка повітря; 5 –щілина випуску; 6 – сітка

У цій системі датчик масового тиску 3А виробляє сигнал, який надсилається на автоматичний регулятор тиску маси 3В, який своєю керуючою дією змінює положення тіла 3G, що, як наслідок, змінює швидкість потоку маси, яка подається на вхід камери. Датчик тиску повітря 2А пов’язаний із автоматичним контролером тиску 2G, який, Отже, призводить до повітряного потоку, який залишає середовище подушки в атмосферу. [6-9]

1.4 Спеціальні засоби автоматизації

Унікальною характеристикою автоматизованих напірних боксів є так званий краплеподібний клапан із дистанційним управлінням, рис.1.12.

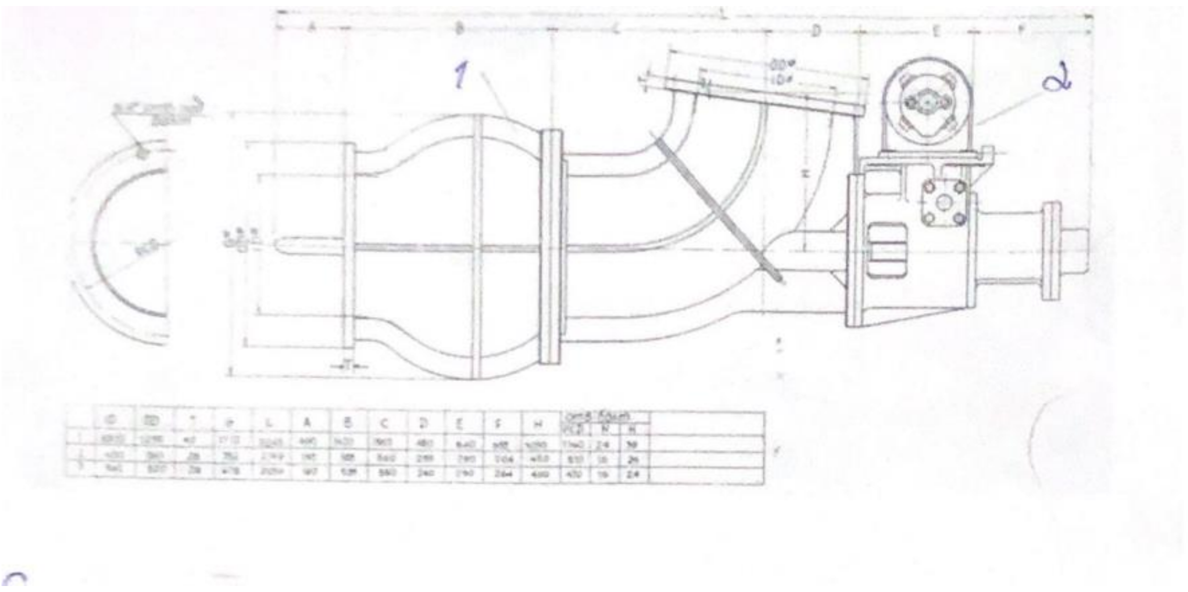

Рисунок 1.12 – Вентиль каплеподібний із дистанційним управлінням:

1 – цибулеподібний регульований орган; 2 – пневматичний двигун;

Краплеподібний клапан складається із корпусу, який виконує функцію регулюючого механізму, і пневматичного двигуна. Вся картонна маса практично повністю пропускається через подрібнювач, і лише невеликий її відсоток фактично пропускається через корпус, який регулює потік. Подрібнювач з'єднаний із корпусом, який паралельно регулює потік краплеподібним клапаном. Цьому допомагає керуючий орган, який визначає автоматизований потік маси в барокамеру. [10-15]

Витрата зазначеної маси точно регулюється корпусом, який встановлений на байпасі.

Об’єм маси, яка проходить через краплеподібний клапан, регулюється Отже, щоб RO, який знаходиться на байпасі та контролюється автоматичним регулятором тиску, завжди знаходився в середині діапазону та міг компенсувати відхилення маси. що подається в камеру напірну в тому чи іншому напрямку.

Дроселювання в зрівняльній (турбулентній) камері регулюється гвинтами, розташованими на торцях камери. Ступінь обмеження виявляється можливим змінювати за допомогою унікальної шкали.

Висота виходу змінюється шляхом регулювання верхньої кромки вхідного отвору за допомогою унікального пневматичного механізму або унікальної механічної системи. Значення висоти отвору розвантажувальної щілини можуть бути безпосередньо отримані із масштабів, які демонструють підйом і обертання верхньої розвантажувальної кромки. Перфоровані ролики і більший ролик в середині самого ящика - по 25 об/хв; перфоровані ролики перед розвантажувальним отвором складаються із 5-25 об./хв. Руху останнього сприяє окремий електродвигун, який збирає енергію. [10-15]

У розглянутій камері тиску, як правило, маса камери наповнення та тиск повітряної подушки автоматично змінюються за допомогою відповідних автоматичних регуляторів.

1.5 Висновки до першого розділу

У першому розділі проведено дослідження техпроцесу виготовлення картону у плоскосіткових картоноробній машині. Наведена загальна характеристика плоскосіткових картоноробних машин. Зроблено опис основного устаткування плоскосіткової картоноробної машини, до якого відносяться: ящик напірний для формування першого шару картону, ящик напірний для формування другого шару картону.

Провдено аналіз відомих систем автоматичного управління процесом формування картонного полотна на сітці плоскосіткової картоноробної машини: системи автоматичного управління процесом формування двошарового картону, системи автоматичного управління напірним ящиком із двома аналоговими регуляторам, автоматичний ящик напірний із масовим рівнем і регулятором тиску повітря, автоматичний ящик напірний із масовим рівнем і регулятором тиску повітря. Навдено опис спеціальних засобів автоматизації.

2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЛОСКОСІТКОВОЇ КАРТОНОРОБНОЇ МАШИНИ

2.1 Система подавання маси основи на сітку

2.1.1 Технологічна схема систем подавання маси основи на сітку машини

Технологічна схема системи, яка використовується для подавання тиску на решітку картоноробної машини із двома коробами тиску, представлена на рис.2.1.

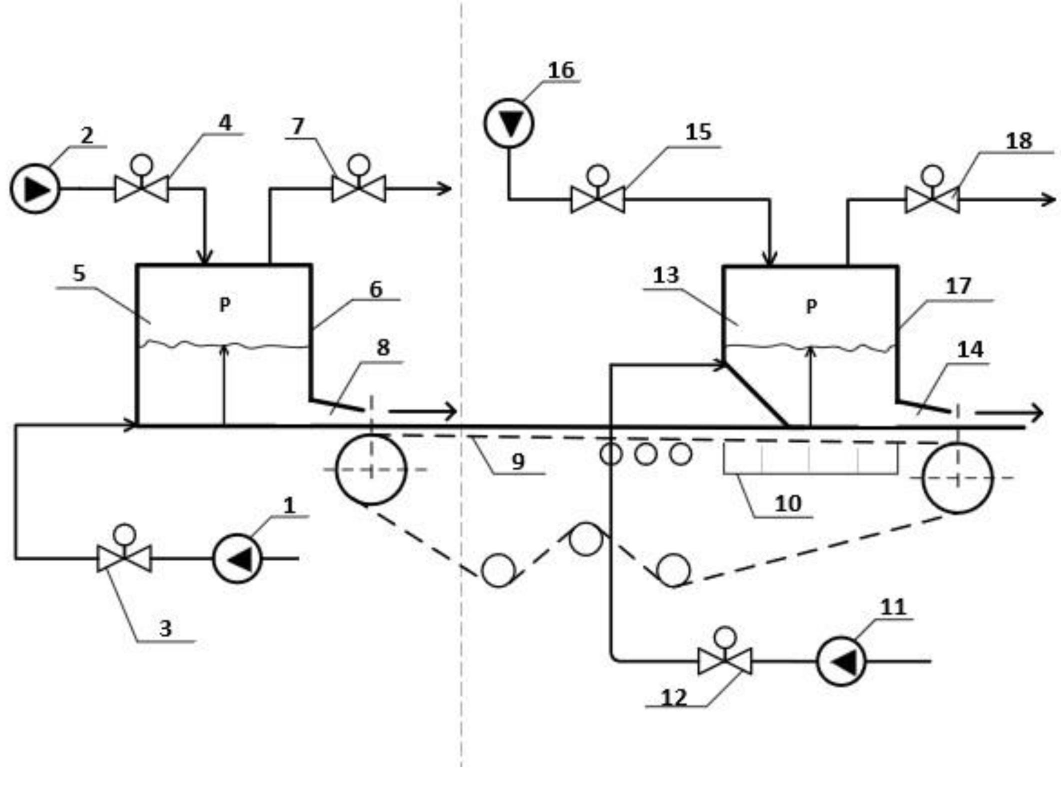

Рисунок 2.1 – Система подачу маси на сітку:
1-й насос змішувальний; 3,4,7,12,15 і 18 –органи регулювання; 5 – камера напускна I ящика напірного; 6 – подушка повітряна I ящика напірного; 9 – сітка; 10 – ящики відсмоктувальні; 14 – щілина випускальна II ящику напірного; 16 – 2-й компресор; 17 – повітряна подушка II ящика напірного

Розглянута система має дві герметичні ємності під тиском. Основна маса малоконцентрованої маси, призначена для створення 1-го шару картону, подається 1-м насосним механізмом 1 через регулюючий орган 3 у вхідну камеру 5, а потім через розвантажувальну щілину 8 на решітку 9. 1-й компресор нагнітає повітря в подушку повітря 6, регулюється 2-м і 4-м компресорами, потім повітря випускається в навколишнє середовище. Друга напірна камера, призначена для заповнення маси на першому шарі картону, створеного за допомогою першої напірної камери, розташована над всмоктувальними камерами 10. Основна маса низької концентрації, призначена для формування 2-го шару картону, подається 2-м насосом 11 через регульований корпус 12 в камеру 13, звідти надходить через випускний патрубок 14 до першого шару картону, який формується. на сітці. Повітря, яке стискається компресором 16, проходить через корпус 15 і виділяється в навколишнє середовище через корпус 18. Швидкість маси через випускний отвір цієї коробки. [16-25]

$$\nu_м = \sqrt{2gH} \quad , \tag{2.1}$$

де g – прискорення сили тяжіння.

Сумарна сила напору маси у напірному ящику

$$H = h + 10P \quad , \tag{2.2}$$

де h – висота рівня маси у напускній камері м. вод. ст, P – тиск повітряної подушки, кг/см^2.

Відомо [3] що для якісного формування двошарового картонного полотна на сітці необхідно, щоб коефіцієнт відношення

$$\alpha = \frac{V_М}{V_C} = 0.85 - 0.93 \quad (2.3)$$

,

Аналіз наведених формули ів (2.1) та (2.3) показує, що для збереження коефіцієнтів необхідно підтримувати швидкість руху маси через вихідну щілину, яка має залежність від загального тиску маси, який, у свою чергу, , має залежність від рівня маси у вхідній камері та тиску повітряної подушки.

2.1.2 Технологічна схема ящика напірного із повітряною подушкою

Схему технологічну напірного ящика цього типу, представлено на рис. 2.2.

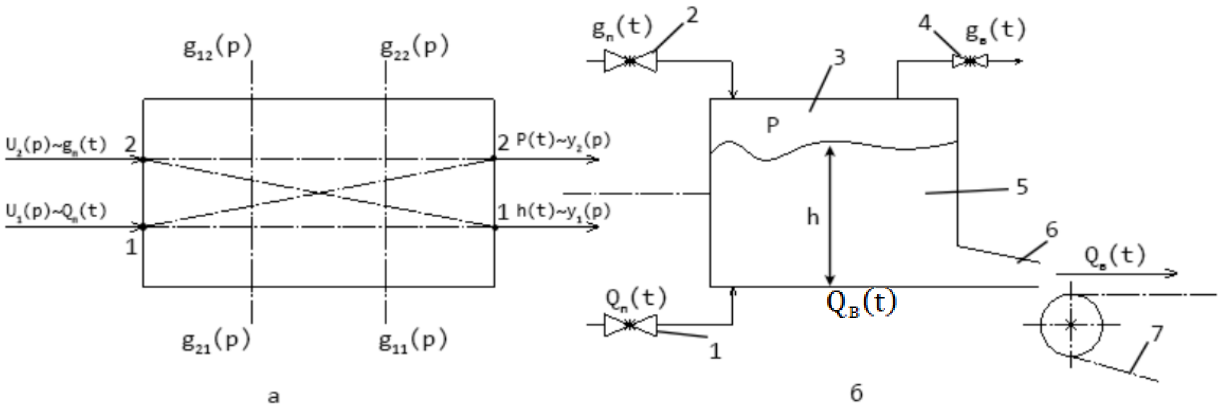

Рисунок 2.2 – Ящик напірний із подушкою повітря:
а – технологічна; б – загальна структурна схема:
1, 2 і 4 – органи регулювальні; 3 – повітряна подушка; 5 – камера напускна; 6 – щілина випускальна; 7 – сітка.

Математичне показання зміни рівня маси h у вхідній камері є комплексним диференціальним формулам, яке представлено його комплексними числами.

$$F\frac{dh}{dt} = Q_П(t) - Q_В(t) \quad (2.4)$$

,

де F – площа яку займає маса у впускній камері;

$Q_П(t)$ і $Q_в(t)$ – витрата об'єму маси, яка подається і видводиться із впускної повітряної подушки.

Математичний опис підвищення тиску Р повітряної подушки є складним диференціальним формулам, яке включає член третього порядку.

$$\frac{dy^*}{dt} = g_п(t) - g_в(t)\quad, \tag{2.5}$$

де y^* - кількість повітря у повітряної подушки; $g_п(t)$ і $g_в(t)$ – витрата повітря, яка підводиться та видводиться із повітряної подушки. [16-25]

Кількість спожитого повітря дорівнює кількості повітря, що виходить із подушки. Якщо атмосферний тиск в подушці:

$$P < \frac{3}{3-k} P_c\quad,$$

то витрата повітря

$$g_b = f_в \sqrt{\frac{2g}{R\theta}} \sqrt{(P - P_c)\left(\frac{3}{2K} P_c - \frac{3-2k}{2k} P\right)}\quad, \tag{2.6}$$

де К – показник адіабати;

$f_в$ – площа регулювального органа для випускання повітря із подушки;

P_c – тиск довкілля;

R – газова стала;

g – прискорення сили тяжіння.

Якщо тиск повітря у повітряній подушці

$$P \geq \frac{3}{3-K} P_c\quad,$$

то витрата повітря

$$g_в = f_в\sqrt{\frac{Kg}{R\theta}}P \quad (2.7)$$
.

Розхід маси із напірного ящика

$$Q_в(t) = a(t) = b\sqrt{2gH} \quad (2.8)$$
,

де а і в – висота і ширина щілини яерез яку випускається маса;

Н – загальний напір маси.

У відповідності до до формула Клапейорна

$$PV_п = g^*R\theta$$
,

де $V_п$ – об`єм подушки.

Із представленого формула випливає, що

$$g^* = \frac{P}{R\theta}V_п$$
.

Об`єм подушки $V_П = V_0 - V_М$, де $V_0$ – загальний об`єм напірного ящика, що складається із об`єму маси впускної камери $V_М$ та об`єму подушки.

Тому як об`єм впускної камери

$$V_М = Fh$$
,

то об`єм подушки

$$V_П = V_0 - Fh$$
,

Тож, кількість повітря у повітряній подушці

$$g^* = \frac{1}{R\theta}(V_0 - Fh)P \qquad (2.9)$$

.

Нелінійне диференційне рівняння (2.4) представляється можливим підмінити лінійним диференціальним формулам:

$$F\frac{d\Delta h}{dt} = \Delta Q_п(t) - \Delta Q_b(t) \qquad (2.10)$$

,

де Δh, $\Delta Q_n(t)$ і $\Delta Q_b(t)$ – прирости поточних значень відповідно рівня маси h(t), витрати маси, що подається у напускну камеру $Q_n(t)$ і витрата маси $Q_b(t)$, яка виводиться із напускної камери від їх встановлених (заданих) значень h_0, $Q_п^0$ і $Q_в^0$. [16-25]

У відповідності до до формули ому (2.8)

$$\Delta Q_b(t) = \left(\frac{\partial Q_b}{\partial H}\right)_0 \Delta H(t) \qquad (2.11)$$

,

де $\Delta H(t)$ – різниця поточного значення загального напору маси та його встановленого значення H_0.

Різниця поточного значення напору та його встановленого значення,

$$\Delta H(t) = \Delta h(t) + 10\Delta P(t) \qquad (2.12)$$

.

Частинна похідна

$$\left(\frac{\partial Q_b}{\partial H}\right)_0 = \frac{1}{2}ab\frac{2g}{\sqrt{2gH_0}}.$$

або після нескладних перетворень

$$\left(\frac{\partial Q_b}{\partial H}\right)_0 = \frac{1}{2}\cdot\frac{Q_b^0}{H_0} \qquad (2.13)$$

Тож, опис пристрою витрати маси через випускну щілину

$$\Delta Q_b(t) = \frac{1}{2}\frac{Q_b^0}{H_0}\Delta h(t) + \frac{1}{2}\cdot\frac{Q_b^0}{H_0}10\Delta P(t) \qquad (2.14)$$

.

Підставивши формулу (2.14) у лінійне диференційне рівняння (2.10) отримуємо

$$T_{11}\frac{d\Delta h}{dt} + \Delta h(t) = k_{11}\Delta Q_n(t) - k_{12}\Delta P(t), \qquad (2.15)$$

де

$$T_{11} = 2\frac{FH_0}{Q_b^0} \text{ –}$$

стала часу впускної камери;

$$K_{11} = 2\frac{H_0}{Q_b^0} \text{ –}$$

коефіцієнт підсилювання прямого каналу 11; $K_{12} = 10$ – коефіцієнт підсилювання перехресного каналу 21.

Якщо $\Delta h(t) \sim y_1(t)$, $\Delta P(t) \sim y_2(t)$; $\Delta Q_n(t) \sim U_1(t)$, а $\Delta g_n(t) \sim U_2(t)$, тоді у канонічній формі лінійне диференційне рівняння (2.15) виявляється можливим представити і так:

$$T_{11}\frac{dy_1}{dt} + y_1(t) = k_{11}U_{11}(t) - k_{12}y_2(f) \qquad (2.16)$$

.

Нелінійне диференційне рівняння (2.5) є можливим представити лінійним диференціальним рівнянням:

$$\frac{d\Delta_g^*}{dt} = \Delta g_n(t) - \Delta g_b(t) \qquad (2.17)$$

,

де $\Delta g^*(t)$, $\Delta g_n(t)$ і $\Delta g_b(t)$ – різниця поточного значення кількості повітря $g^*(t)$, що знаходиться у подушці, витрати повітря $g_n(t)$, яке подається

у подушку і витрати повітря $g_b(t)$, яке виводиться із подушки від їхніх встановлених значень g_0^*, $g_п^0$, $g_в^0$.

У відповідності до формули (2.9)

$$\Delta g^*(t) = \left(\frac{\partial g^*}{\partial P}\right)_0 \Delta P(t) + \left(\frac{\partial g^*}{\partial h}\right)_0 \Delta h(t) \quad (2.18)$$

,

де

$$\left(\frac{\partial g^*}{\partial P}\right)_0 = \frac{V_0 - Fh}{R\theta} = \frac{V_n^0}{R\theta} \quad (2.19)$$

.

$$\left(\frac{\partial g^*}{\partial h}\right)_0 = \frac{FP_0}{R} \quad (2.20)$$

.

Тож, приріст кількості повітря.

$$\Delta g(t) = \frac{V_n^0}{R\Theta}\Delta P(t) - \frac{FP_0}{R\Theta}\Delta h(t) \quad (2.21)$$

.

Знайшовши похідну формули у (2.21) отримуємо наступне диференційне рівняння:

$$\frac{d\Delta g^*}{dt} = \frac{V_n^0}{R\theta} \cdot \frac{d\Delta P}{dt} - \frac{FP_0}{R\theta} \cdot \frac{d_\Delta h}{dt} \quad (2.22)$$

.

У відповідності до до формули у (2.7)

$$\Delta g_b(t) = \left(\frac{\partial g_b}{\partial P}\right)_0 \Delta P(t) \quad (2.23)$$

Частинна похідна відповідно до формули у (2.7)

$$\left(\frac{\partial g_b}{\partial P}\right)_0 = f_b^0 \sqrt{\frac{Kg}{R\theta}} \quad (2.24)$$

;

$$\Delta g_b(t) = \left(\frac{\partial g_b}{\partial P}\right)_0 \Delta P(t).$$

Помножимо і поділимо формули (2.24) на P_0. Тоді

$$\left(\frac{\partial g_b}{\partial P}\right)_0 = \frac{g_b^0}{P_0} \qquad (2.25)$$

$$\Delta g_b(t) = \frac{\partial_b^0}{P_0}\Delta P(t). \qquad (2.26)$$

Підставимо формули и (2.21) і (2.26) у лінійне диференційне рівняння (2.22). Тоді отримуємо наступне лінійне диференційне рівняння:

$$\frac{V_n^0}{R\theta}\cdot\frac{d\Delta P}{dt} + \frac{g_b^0}{P_0}\Delta P(t) = \Delta g_n(t) + \frac{FP_0}{R\theta}\cdot\frac{d_\Delta h}{dt}. \qquad (2.27)$$

У відповідності до рівняння Клапейрона $p_0V_n^0 = g_0^*R\theta$. З цього рівняння виходить, що

$$\frac{V_n^0}{R\theta} = \frac{g_0^*}{P_0}.$$

Помножимо це рівняння на P_0F і поділимо на V_n^0, тому як $V_n^0 \neq 0$. Тоді

$$\frac{P_0F}{R\theta} = \frac{Fg_0^*}{V_n}. \qquad (2.28)$$

Підставимо рівняння (2.28) у лінійне диференційне рівняння (2.27). Тоді воно отримує вид:

$$\frac{g_0^*}{P_0}\cdot\frac{d\Delta P}{dt} + \Delta P(t) = \Delta g_n(t) + \frac{Fg_0^*}{V_n^0}\cdot\frac{d\Delta h}{dt}.$$

У канонічній формі таке диференційне рівняння буде мати вид:

$$T_{22}\frac{d_{\Delta}P}{dt} + \Delta P(t) = K_{21}\frac{d\Delta h}{dt} + K_{22}\Delta g_n(t) \qquad (2.29)$$

,

де $$T_{22} = \frac{g_0^*}{g_b^0} _$$

стала часу подушки;

$$K_{22} = \frac{P_0}{g_b^0} _$$

коефіцієнт підсилювання прямого каналу 22;

$$K_{21} = \frac{FP_0}{V_n^0}T_{22} _$$

коефіцієнт підсилювання перехресного каналу 12.

Нехай $\Delta g_n(t) \sim U_2(t)$. Тоді лінійне диференційне рівняння (2.29) у канонічній формі буде мати вид:

$$T_{22}\frac{dy_2}{dt} + y_2(t) = K_{21}\frac{dy_1}{dt} + K_{22}U_2(t) \qquad (2.30)$$

.

В результаті, коробка тиску із повітряною подушкою як об'єкт управління, подушка представлена системою двох лінійних рівнянь: (2.16) і (2.29):

$$\begin{cases} T_{11}\frac{dy_1}{dt} + y_1(t) = k_{11}U_1(t) - k_{12}y_2(t); \\ T_{22}\frac{dy_2}{dt} + y_2(t) = K_{21}\frac{dy_1}{dt} + K_{22}U_2(t). \end{cases} \qquad (2.31)$$

Аналіз диференціальних рівнянь цієї системи рівнянь свідчить, що у разі зміни керувального діяння $U_1(t)$ змінюється рівень маси $y_1(t)$, а також його

похідна $\frac{dy_1}{dt}$. Саме вона діє на зміну тиску повітряної подушки $y_2(t)$, хоча керувальне діяння $U_2(t)$ не змінювалось якщо змінюється керувальне діяння $U_2(t)$, то це призводить до зміни тиску $y_2(t)$ повітря подушки, який впливає на зміну рівня маси і його похідну $\frac{dy_1}{dt}$.

Представлення барокамери матрицею передавальних функцій, які направляють і перетинають канали разом.

Продемонструємо систему лінійних диференціальних формул (2.31) у практичних термінах (2.32).:

$$\begin{cases} (T_{11}p + 1)y_1(p) = kU_1(p) - k_{12}y_2(p); \\ (T_{22}p + 1)y_2(p) = k_{21}Py_1(p) + k_{22}U_2(p), \end{cases} \quad (2.32)$$

де $y_1(p)$ і $y_2(p)$ – зображення за Лапласом рівня маси і тиску подушки;

$U_1(p)$ і $U_2(p)$- зображення за Лапласом витрати маси і витрати повітря, яке подається в середину напірного ящика;

p – оператор Лапласа.

У відповідності до до системи операційних формулаів (2.32) будується структурна схема розглянутої коробки напірної, див.рис. 2.3.

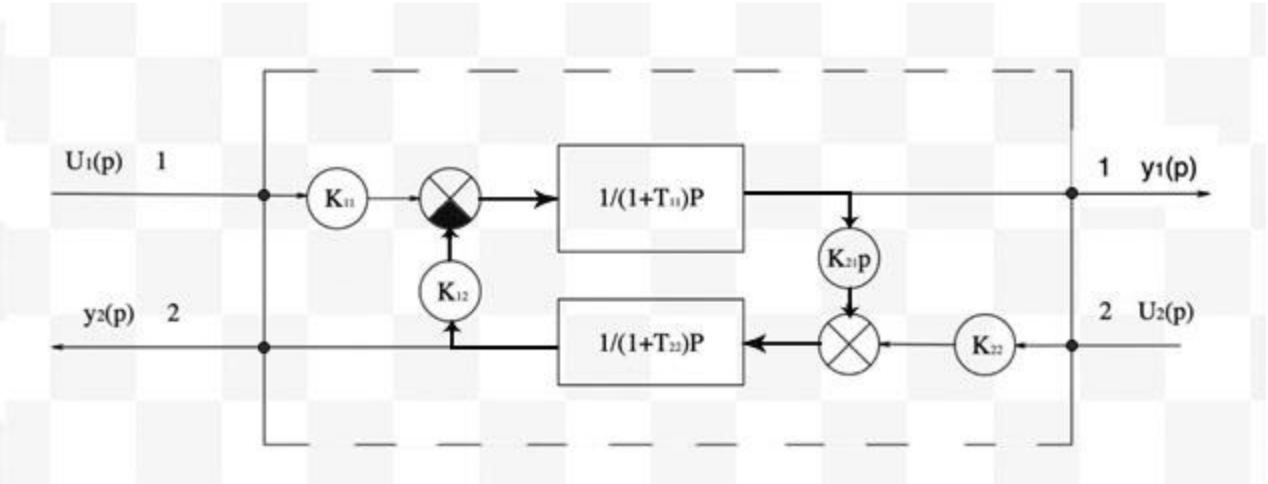

Рисунок 2.3 – Схема моделювання ящика напірного із подущкою повітря що є об`єктом управління рівнем маси та тиском подушки повітря

Аналіз наведеної структурної схеми свідчить про те, що в динамічному режимі роботи цього двовимірного об’єкта управління існує зв’язок маси об’єкта із тиском повітряної подушки через канали 12 і 21. Саме ці канали об'єднані із каналами 11 і 22 у внутрішньому контурі зв'язку між об'ємним рівнем і тиском подушки безпеки. Якщо тиск у подушці безпеки зменшується, гучність також збільшується. Зміна тиску в повітряній подушці не має залежність від зміни об’єму маси, а є похідною від неї. В результаті в постійному режимі роботи коробки напірної, тобто якщо , цей контур активний і навпаки, в динамічному режимі роботи коробки напірної він вимкнений. Щоб розглянути вплив схеми з’єднання на роботу системи автоматичного контролю рівня маси і тиску подушки, необхідно мати прямі канальні функції 11 і 22, а також перехресні канальні функції 12. і 21 (рис. 2.2, б). [16-25]

Щоб визначити зв'язок між каналами 11 і 21, спочатку підставимо перше формула системи операційних формул (2.32) у її друге формула. Тоді

$$\left\{\frac{(1+T_{11}p)(1+T_{22}p)+K_{12}K_{21}p}{1+T_{22}p}\right\}y_1(p) = K_{11}U_1(p) - \frac{K_{12}K_{22}}{1+T_{22}p}U_2(p).$$

Тож, Функція передачі прямого каналу 11

$$g_{11}(p) = \frac{y_1(p)}{U_1(p)} = \frac{K_{11}(1+T_{22}p)}{(1+T_{11}p)(1+T_{22}p)+K_{12}K_{21}p}. \quad (2.33)$$

Функція передачі перехресного каналу 21.

$$g_{12}(p) = \frac{y_1(p)}{U_2(p)} = -\frac{K_{12}K_{22}}{(1+T_{11}p)(1+T_{22}p)+K_{12}K_{21}p}. \quad (2.34)$$

Щоб з'ясувати комунікаційні функції каналів 22 і 12, візьмемо 1-е формула системи операційних формул (2.32) і підставимо його в її 2-е формула. Тоді

$$\left\{\frac{(1+T_{11}p)(1+T_{22}p)+K_{12}K_{21}p}{1+T_{11}p}\right\}y_2(p) = K_{22}U_2(p) + \frac{K_{11}K_{21}p}{1+T_{11}p}y_1(p).$$

Тож, Функція передачі прямого каналу 22

$$g_{22}(p) = \frac{y_2(p)}{u_2(p)} = \frac{K_{22}(1+T_{11}p)}{(1+T_{11}p)(1+T_{22}p)+K_{12}K_{21}p}. \qquad (2.35)$$

Функція передачі перехрестного каналу 12

$$g_{21}(p) = \frac{y_2(p)}{u_2(p)} = \frac{K_{12}K_{21}p}{(1+T_{11}p)(1+T_{22}p)+K_{12}K_{21}p}. \qquad (2.36)$$

Як наслідок, камера тиску, яка містить подушку повітря як об'єкт контролю над об'ємом і тиском подушки, виконує чотири функції: (2.33) – (2.36). У векторно-матричному форматі цей двовимірний об'єкт управління (система 2x2) виявляється можливим формули ити Отже:

$$Y(p) = [G(p)]U(p),$$

де

$$Y(p) = [y_1(p), y_2(p)]^T _ \qquad (2.37)$$

вектор вихідної змінної розмірності 2x1:

$$U(p) = [u_1(p), u_2(p)]^T _$$

вектор вхідної змінної розмірності 2x1:

$$[G(p)] = \begin{bmatrix} g_{11}(p) & g_{12}(p) \\ g_{21}(p) & g_{22}(p) \end{bmatrix} -$$

матриця передавальних функцій розмірністю 2x2. Знак «Т» позначає транспонування.

Зображення напірного ящика як систему векторно-матричних формул

Нехай $y_1(t) \approx x_1$, а $y_2(t) \approx x_2$. вважатимемо, що x_1 і x_2 – це параметри стану системи. В такому разі систему лінійних диференціальних формул (2.31) виявляється можливим представити Отже:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -\frac{1}{T_{11}}X_1 - \frac{k_{12}}{T_{11}}x_2 + \frac{k_{11}}{T_{11}}U_1; \\ \dot{x}_2 = -\frac{k_{21}}{T_{11}T_{22}}x_1 - \frac{T_{11} + K_{11}K_{21}}{T_{11}}x_2 + \frac{k_{11}K_{21}}{T_{11}T_{22}}u_1 + \frac{K_{22}}{T_{22}}U_2, \end{cases} \quad (2.38)$$

Загальноприйнята система, яка записується у виді лінійного диференціального формула першого порядку (2.38), має такий вид:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad (2.39)$$

де

$$x(t) = [x_1(t), x_2(t)]^T -$$

вектор параметрів стану системи розмірністю 2x1;

$$U(t) = [U_1(t), U_2(t)]^T -$$

вектор керувальної дії системи розмірності 2x1;

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{T_{11}} & -\frac{K_{12}}{T_{11}} \\ -\frac{K_{11}K_{21}}{T_{11}T_{22}} & -\frac{T_{11}+K_{12}K_{21}}{T_{11}T_{22}} \end{bmatrix} -$$

матриця стану системи розмірністю 2x2;

$$B=\begin{bmatrix}\frac{K_{11}}{T_{11}} & 0\\ \frac{K_{11}K_{21}}{T_{11}T_{22}} & \frac{K_{22}}{T_{22}}\end{bmatrix} -$$

матриця управління розмірністю 2x2.

Задокументовано, що основною вихідною змінною барокамери цього типу є об’єм потоку, який проходить через її вихідний отвір. Збільшення цієї швидкості відповідно до із формулами (2.1) і (2.2) виражається наступним чином:

$$\Delta V_{м}(t)=K_{31}\Delta h(t)+K_{33}\Delta P(t) \quad (2.40)$$

,

де $K_{31}=\frac{V_{м}^{0}}{2H_{0}}$ –

коефіцієнт підсилювання каналу що є «зміною швидкості маси у рівні маси у ящику»;

$$K_{32}=10K_{31}$$

–

коефіцієнт підсилювання каналу що є «зміною швидкості маси у тиск повітряної подушки».

Тому як $h(t)\sim y_1(t)\sim x_1(t)$; $p(t)\sim y_2(t)\sim x_2(t)$, а $V_M(t)\sim y(t)$, то формули (2.40) виявляється можливим представити і так:

$$y(t)=Cx(t) \quad (2.41)$$

,

де $C=[K_{31},K_{32}]$

вектор вимірювання розмірності 1x2.

В результаті напірна коробка, яка містить подушку повітря як об'єкт управління, представлена системою, яка складається із векторно-матричного формула параметрів стану системи (2.39) та алгебраїчного значення вихідної системи (2.41). Цей тип системи складається з:

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = A\dot{x}(t) + BU(t); \\ y(t) = Cx(t), \end{cases} \tag{2.42}$$

Представлення барокамери матрицею перших функцій, які спрямовують і перетинають канали.

Незважаючи на те, що передаточні функції імпульсів (IPF) контролера не використовуються безпосередньо для управління контролером, вони відіграють значну роль у розпізнаванні контролера. Тому ми визначимо IPF прямих каналів 11 і 22 і перехресних каналів 12 і 21.

Функція прямого каналу 11 (2.23) така ж, як диференційне рівняння другого порядку:

$$a_2 \frac{d^2y_1}{dt^2} + a_1 \frac{dy_1}{dt} + a_0 y_1(t) = K_{11}T_{22}\frac{dv_1}{dt} + k_{11}U_1(t) \tag{2.43}$$

.

де

$$a_0 = 1$$

;

$$a_1 = T_{11} + T_{22} + K_{12}K_{21}$$

$$a_2 = T_{11}T_{22}$$

Для перехресного каналу Функція передачі (2.34) має відповідність диференціальному рівнянню 2-го порядку:

$$a_2\frac{d^2y_1}{dt^2}+a_1\frac{dy_2}{dt}+a_0y_1(t)=-k_{12}k_{22}U_2(t) \quad (2.44)$$

Функція прямого каналу (2.35) така ж, як диференційне рівняння другого порядку.

$$a_2\frac{d^2y_1}{dt^2}+a_1\frac{dy_2}{dt}+a_0y_2(t)=K_{22}T_{11}\frac{dU_2}{dt}+K_{22}U_2(t) \quad (2.45)$$

У кінцевому підсумку функція перехресного каналу 12 (2.36) є диференційним рівнянням другого порядку.

$$a_2\frac{d^2y_2}{dt^2}+a_1\frac{dy_2}{dt}+a_0y_2(t)=K_{11}K_{21}\frac{dU_1}{dt} \quad (2.46)$$

Розв’язками диференціальних рівнянь (2.43)-(2.46) у випадку однократного стрибкоподібного вхідного впливу на входи каналів 11, 12, 21 і 22 є перехідні функції каналів 11 і 21, а також функції переходів 12 і 22. Тому як імпульсна перехідна функція є першою похідною функції переходу, то матриця імпульсних перехідних функцій для коробки напірної із повітрям буде нагадувати подушку.

$$[G(t)]=\begin{bmatrix} g_{11}(t) & g_{12}(t) \\ g_{21}(t) & g_{22}(t)\end{bmatrix}, \quad (2.47)$$

де $g_{11}(t), g_{12}(t), g_{21}(t)$ і $g_{22}(t)$ – імпульсні перехідні функції каналів 11, 12, 21 і 22.

Диференційне рівняння (2.43) представлено у стандартній формі:

$$T_2^2\frac{d^2y_1}{dt^2}+T_1\frac{dy_1}{dt}+y_1(t)=K_{11}\left[T_{22}\frac{dv_1}{dt}+U_1(t)\right], \quad (2.48)$$

де $T_2^2=a_2; T_1=a_1.$

В операційній формі диференційне рівняння має наступний вид:

$$(T_3p + 1)(T_4p + 1)y_1(p) = K_{11}(T_{22}p + 1)U_1(p) \quad (2.49)$$

,

де
$$T_3 = \frac{1}{2}\left(T_1 + \sqrt{T_1^2 - 4T_2^2}\right);$$

$$T_4 = \frac{1}{2}\left(T_1 - \sqrt{T_1^2 - 4T_2^2}\right).$$

Тож, Функція передачі каналу 11

$$g_{11}(p) = \frac{K_{11}(T_{22}p+1)}{(T_3p+1)(T_4p+1)}.$$

Отже перехідна функція напірного ящика по прямому каналу 11
$y_1(t) = K_{11}[1 + C_1e^{-\alpha_1 t} + C_2e^{-\alpha_2 t}]$,

де
$$C_1 = \frac{T_{22}-T_3}{T_3-T_4};$$

$C_2 = \frac{T_4-T_{22}}{T_3-T_4}$.

Тож, імпульсна перехідна функція каналу 11

$$g_{11}(t) = -K_{11}[\alpha_1C_1e^{-\alpha_1 t} + \alpha_2C_2e^{-\alpha_2 t}] \quad (2.50)$$

Диференційне рівняння (2.44) подамо в операційній формі:

$$(T_3p + 1)(T_4p + 1)y_1(p) = K_{11}(T_{22}p + 1)U_1(p) \quad (2.51)$$

.

Тож, Функція передачі каналу 21

$$g_{12}(p) = -\frac{K_{12}K_{22}}{(T_3p + 1)(T_4p + 1)}$$

Передавальній функції такого каналу відповідає імпульсивна перехідна функція,

$$g_{11}(t) = -K_{11}K_{22}[\alpha_1 C_3 e^{-\alpha_1 t} + \alpha_2 C_4 e^{-\alpha_2 t}], \quad (2.52)$$

де $C_3 = \frac{T_3}{T_3 - T_4}$;

$C_4 = \frac{T_4}{T_3 - T_4}$.

Диференційне рівняння (2.45) представимо в операційній формі:

$$(T_3p + 1)(T_4p + 1)y_2(p) = -K_{11}K_{21}U_1(p) \quad (2.55)$$

Тож, Функція передачі перех.каналу 12

$$g_{21}(p) = \frac{K_{11}K_{21}p}{(T_3p+1)(T_4p+1)}.$$

Цій передавальній функції відповідає імп. перехідна функція перехресного каналу 12

$$g_{21}(t) = -K_{11}K_{21}C_5[e^{-\alpha_1 t} + e^{-\alpha_2 t}], \quad (2.56)$$

$$C_5 = -\frac{1}{T_3 - T_4}.$$

2.2 Математична модель ящика напірного із повітряною подушкою

Технологічну схему ящику напірного представлено на рис. 2.4, а

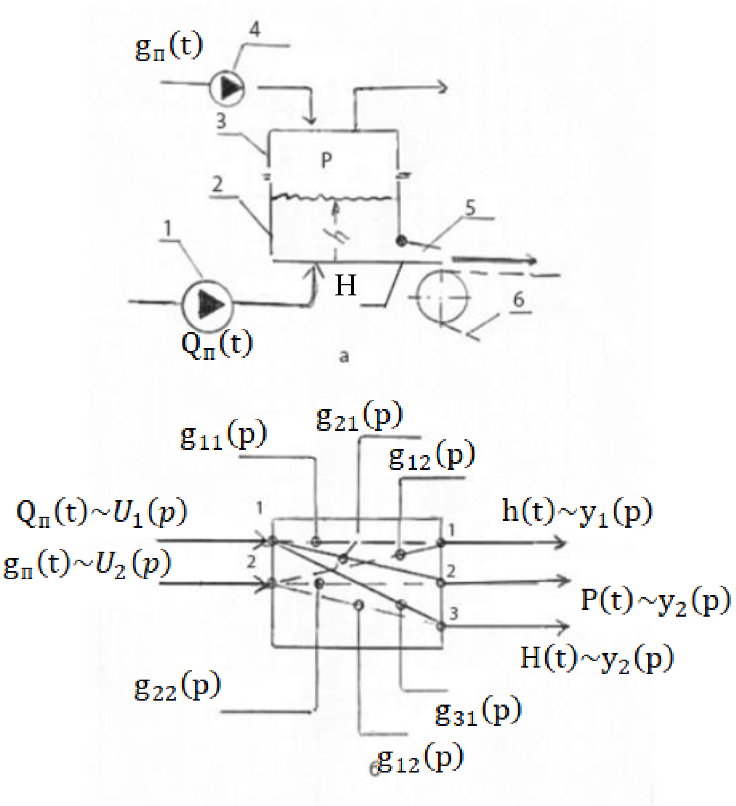

Рисунок 2.4 – Ящик напірний із подушкою повітря:

а – технол. схема; б –структурна схема: 1 – насос; 2 – камера напускна; 3 – подушка повітря; 4 – компресор; 5 –щілина випускальна; 6 – сітка

Маса змішувальним насосом 1 подається до напускної камери 2 звідки вона крізь випускальну щілину 5 витікає на безкінечну сітку 6. Стиснене повітря компресором 4 нагнітається у подушку повітря із якої воно виходить у довкілля. [16-25]

Загальну структурну схему ящику напірного наведено на рис. 2.4, б. У цьому об`єкті управління маємо два входи: витрата маси , що подається до напускної камери і витрата повітря , котре нагнітається компресором у подушку та три виходи: рівень маси у напускній камері, тиск повітряної подушки та загальний напір маси у випускальній щілині.

Отже маємо шість взаємопов`язаних каналів: «витрата маси рівень маси » (канал 11); «витрата маси тиск повітря » (канал 12); «витрата маси

загальний напір маси » (канал 13); «витрата повітря рівень маси » (канал 21); «витрата повітря загальний напір маси » (канал 13).

Створення математичних моделей коробки напірної як засобу управління загальним тиском маси.

Зрозуміло, що загальний тиск маси в розвантажувальному отворі коробки тиску складається із загального тиску маси у вхідній камері та тиску повітряної подушки. На зображеннях Лапласа загальний тиск маси постійний.

$$y_3(p) = y_1(p) + y_2(p). \quad (2.57)$$

Сьогодні існує два способи регулювання загального тиску маси в розглянутій напірній камері.

Спосіб 1. Загальний тиск маси змінюється шляхом зміни об’єму рідини, яка подається в барокамеру. Ось приклад цієї ситуації.

$$y_1(p) = g_{11}(p)\upsilon_1(p); \quad (2.58)$$

$$y_2(p) = g_{21}(p)\nu_1(p); \quad (2.59)$$

$$y_3(p) = [g_{11}(p) + g_{21}(p)]\nu_1(p). \quad (2.60)$$

Спосіб 2. Загальний тиск маси змінюється шляхом зміни об’єму повітря, що надходить у камеру напірну.

Ось приклад цієї ситуації.

$$y_1(p) = g_{12}(p)\nu_2(p); \quad (2.61)$$

$$y_2(p) = g_{22}(p)\nu_2(p) \quad ; \tag{2.62}$$

$$y_3(p) = [g_{12}(p) + g_{22}(p)]\nu_{2(p)}. \tag{2.63}$$

В результаті, якщо загальний тиск контролюється 1-м способом, функція каналу 13, що враховує функції (2.33) і (2.36), має вид:

$$g_{31}(p) = K_{11}\frac{1+(T_{22}+mK_{21})^{p}}{(1+T_{11}p)(1+T_{22}p)+K_{12}K_{21}p} \tag{2.64}$$

Якщо сумарне управління напором здійснюється 2-м способом, то функція каналу 23 із урахуванням функцій (2.34) і (2.35) видає наступним чином:

$$g_{32}(p) = -k_{22}\frac{(1+T_{11}K_{12})^{p}}{(1+T_{11}p)(1+T_{22}p)+K_{12}K_{21}p}. \tag{2.65}$$

У результаті математична модель камери тиску як засобу управління рівнем об’єму, тиском повітряної подушки та загальним тиском маси управляється першим методом – шляхом зміни швидкості потоку в коробі тиску це має ефект зміни набору передавальних функцій:

$$g_{11}(p) = K_{11}\frac{1+T_{22}p}{(1+T_{11}p)(1+T_{22}p)+K_{12}K_{21}p}. \tag{2.66}$$

$$g_{21}(p) = \frac{K_{12}K_{22}p}{(1+T_{11}p)(1+T_{22}p)+K_{12}K_{21}p}; \tag{2.67}$$

$$g_{31}(p) = K_{11}\frac{1+(T_{12}+mK_{21})p}{(1+T_{11}p)(1+T_{22}p)+K_{12}K_{21}p}. \tag{2.68}$$

У відповідності до функцій передачі (2.66)-(2.68) створюється структурна схема коробки тиску, що управляється першим способом, див.2.5.

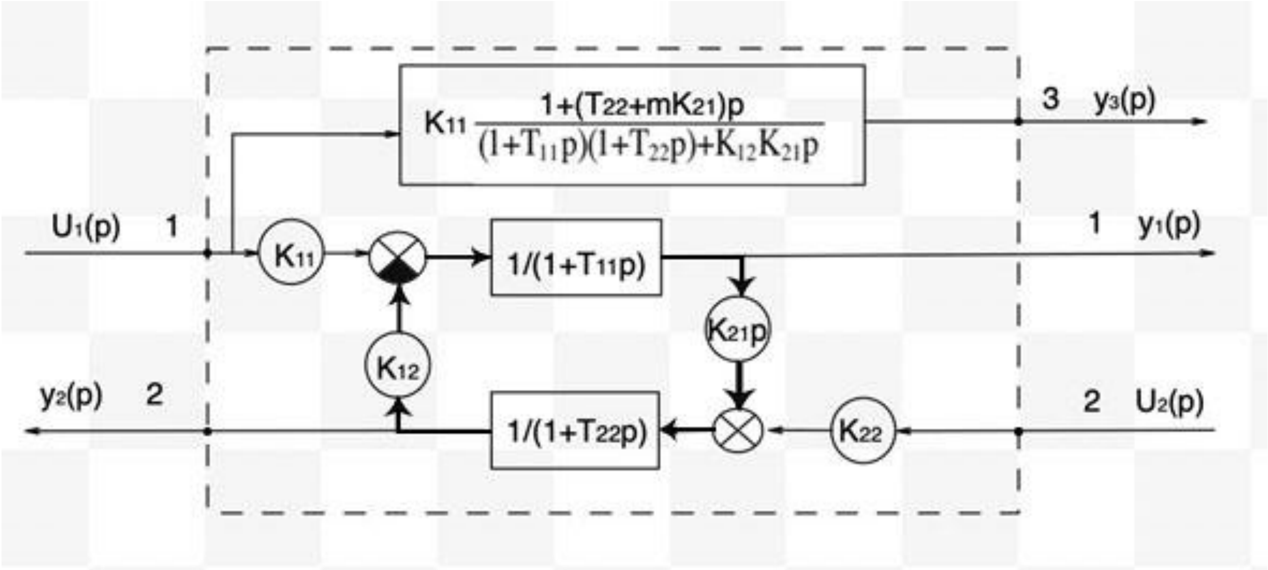

Рисунок 2.5 – Схема математичної моделі ящика напірного із подушкою повітря

Математичне показання камери напірної як засобу управління об’ємом, тиском і загальним тиском регулюється другим методом - змінюючи потік повітря в камеру напірну, це призводить до зміни вищезгаданих властивостей.

$$g_{22}(p) = K_{22}\frac{1+T_{11}p}{(1+T_{11}p)(1+T_{22}p)+K_{12}K_{21}p}; \qquad (2.69)$$

$$g_{12}(p) = -\frac{K_{12}K_{22}p}{(1+T_{11}p)(1+T_{22}p)+K_{12}K_{21}p}; \qquad (2.70)$$

$$g_{32}(p) = -K_{22}\frac{(1+T_{11}K_{12}p)}{(1+T_{11}p)(1+T_{22}p)+K_{12}K_{21}p}. \qquad (2.71)$$

У відповідності до функцій передачі (2.69)-(2.71) створено структурну схему коробки напірної, що управляється другим способом управління, див.2.6.

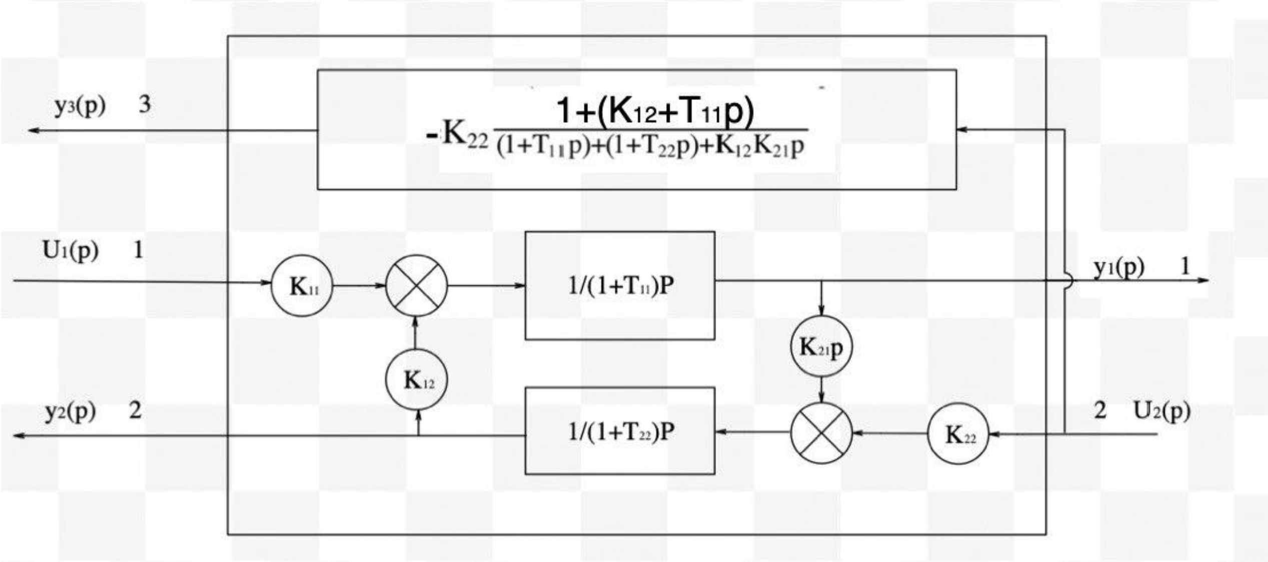

Рисунок 2.6 – Схема математичної моделі ящика напірного із подушкою повітря

Створення простої математичної моделі барокамери як засобу управління загальним тиском камери.

Використовувати передаточні функції (2.68) і (2.71) в аналітичному проектуванні регулятора загального масового тиску за методом, описаним у [4], надзвичайно складно. У результаті вони мусять бути зменшені без шкоди для властивостей каналів управління 13 і 23. Для прикладу розглянемо функцію (2.68). Передачу функції (2.68) виявляється можливим звести до стандартного формату, показавши формули, отже:

$$g_{31}(p) = \frac{K_{11}(1+T_5p)}{(1+T_3p)(1+T_4p)}, \qquad (2.72)$$

де
$$T_5 = T_{22} + mK_{21}.$$

Розв’язок диференціального формула, що відповідає передавальній функції (2.72) у випадку однократної стрибкоподібної дії управління із одним кінцем $\nu_1(t) = 1$ такий:

$$y_3(t) = k_{11}\left[1 - \frac{T_3 - T_5}{T_3 - T_4} e^{-\frac{1}{T_3}} + \frac{T_4 - T_5}{T_3 - T_4} e^{-\frac{1}{T_4}}\right] \tag{2.73}$$

Щоб побудувати залежність функції переходу каналу управління 13, яку ми будемо називати справжньою функцією переходу каналу управління 13, розглянемо камеру тиску, яка має такі властивості: $T_3 = 95{,}26$с; $T_4 = 94{,}13$с; $T_5 = 93{,}1$с; $K_{11} = 4{,}86$ м/м^3/с. Тому що $T_3 > T_4 > T_5$, то канал управління 13 має слабко виражені диференційні властивості. Залежність вірної перехідної функції каналу управління 13 наведено на рис. 2.7.

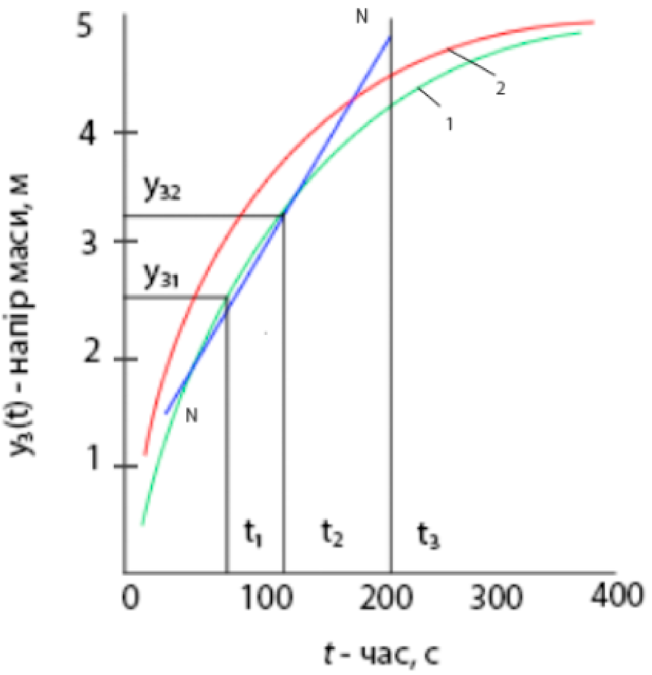

Рисунок 2.7 – Графік істинної (графік 1) та апроксимованої (графік 2) функцій перехідних 1 у каналі управління 13

Залежність істинної функції переходу наближено виводиться із розв’язку диференціального формула першого порядку. Це дозволяє приблизно представити функцію каналу управління.

$$y_3(t) = K_{11}\left[1 - e^{-\frac{t}{T_{13}}}\right], \tag{2.74}$$

де T_{13} – стала часу ящика напору по каналу 13.

Частоту, на якій працює цей канал, виявляється можливим визначити кількома способами [7]. Для графічного методу обробки фактичного графіка функції переходу вважається довжина відрізка, який завершує дотичну до фактичного графіка, або тривалість часу, протягом якого функція досягає свого значення $0{,}63y_3(\infty)$. Однак ці підходи не мають достатньої роздільної здатності і призводять до поширення об'єктивних помилок.

Для випадку машинної обробки графа, пов'язаного із реальною перехідною функцією каналу управління 13, практичніше використовувати наступний метод [6]. Визнано, що властивість експоненти полягає в тому, що довжина субдотичної в будь-якій точці дорівнює постійній часу (рис.2.7). З формули для прямої NN виявляється можливим вивести момент t_3:

$$t_3 = \frac{[y_3(\infty) - y_{32}](t_2 - t_1)}{\Delta y_3} + t_2.$$

Звідси випливає, що стала часу

$$T_{13} = t_3 - \frac{t_1 + t_2}{2}$$

або

$$T_{13} = \left(\frac{k_{11} - y_{32}}{\Delta y_3} + 0{,}5\right)\Delta t,$$

де $\Delta t = t_2 - t_1$; $\Delta y_3 = y_{32} - y_{31}$.

Пряма NN, яка проходить через дві точки на графіку фактичної функції переходу каналу 13, буде ближче до дотичної, чим ближче ці точки одна до одної. Як наслідок, підвищення точності апроксимації має залежність від взяття сусідніх точок. Можливі регулярні вимірювання графіка фактичної

перехідної функції. $\Delta t = t_{i+1} - t_1$ й обчислити сталу каналу 13 T_{13} із врахуванням відповідних точок y_{i+1} і y_i, отримаємо формули (2.75) так

$$T_{13i} = \left(\frac{K_{11} - y_{i+1}}{y_{i+1} - y_i} + 0{,}5\right)\Delta t \quad (2.76)$$

В результаті такого обрахунку для n пар сусідніх точок візьмемо n значення сталої часу T_{13i}, за якими обраховується її середнє значення:

$$T_{13C} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} T_{13i} \quad (2.77)$$

Розглянемо ілюстрований приклад. Нехай відповідно до із рис. 2.7 $t_2 = 120c$, а $t_1 = 80c$. Тоді $\Delta t = 120 - 80 = 40c$.

Якщо $y_{i+1} = y_{32} = 3{,}4$, а $y_i = y_{31} = 2{,}6$, то $y_{i+1} - y_i = 3{,}4 - 2{,}6 = 0{,}8$. Тож стала часу напірного ящика за каналом управління

$$T_{13i} = \left(\frac{K_{11} - y_{i+1}}{y_{i+1} - y_i} + 0{,}5\right)\Delta t = \left(\frac{4{,}86 - 3{,}4}{0{,}8} + 0{,}5\right)40 = 73c$$

Підставимо в формули (2.74) числові данні ($K_{11} = 4{,}86$ м вод. ст./м^3/с і $T_{13} = 73c$) отримаємо апроксимовану перехідну функцію

$$y_3(t) = 4{,}86[1 - \exp(0{,}013t)] \quad (2.78)$$

У відповідності до до формули у (2.79) побудовано графік наближеної перехідної функції каналу 13 (рис. 2.7, графік 2). З наведених вище графіків видно, що вони майже ідентичні. В результаті канал управління 13, який представлений істинною функцією переходу (2.73), може бути представлений функцією передачі аперіодичної ланки першого порядку:

$$g_{31}(p) = \frac{k_{11}}{1 + T_{13}p} \quad (2.79)$$

Подібним чином знижується функція каналу управління 23 (2.71). Аналіз наведених графіків перехідної функції по каналу управління 13 «масова витрата, що подається в ящик напірний – загальний тиск маси в нагнітальний отвір» може бути представлена ланкою першого порядку, яка є аперіодичною. і постійна часу якого визначається графіком справжньої функції переходу. [16-25]

Схема конструкції камери тиску, що контролюється за першим способом контролю.

У відповідності до до функцій передачі (2.66), (2.67) і (2.79) створюється схема коробки тиску, яка управляється першим методом, це представлено на рисунку 2.8

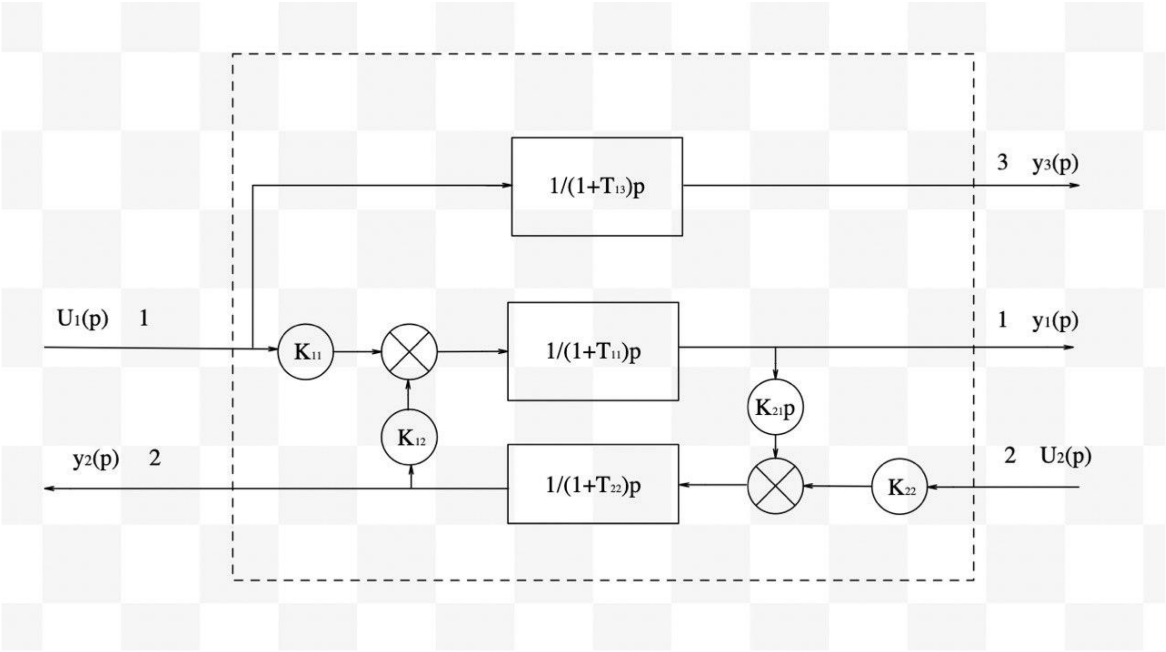

Рисунок 2.8 – Схема моделювання ящика напірного

Аналіз наведеної структурної схеми вказує на те, що при зміні об’єму маси в напірній камері даного типу будуть змінюватися всі три її вихідні величини: початковий об’єм маси в камері, тиск повітряної подушки , а загальний тиск маси. Зміна потоку повітря до повітряної подушки також

призводить до зміни об’єму вмісту камери, тиску повітряної подушки та загального тиску маси.

2.3 Висновки до другого розділу

Другий розділ присвячений питанням математичного моделювання складових плоскосіткової картоноробної машини.

У розділі розглянуто систему подавання маси основи на сітку із забезпеченням постійного темпу. Описано технологічну схему системи подавання маси основи на сітку машини. Також наведено опис технологічної схеми ящика напірного із повітряною подушкою.

Розглянуто математичні моделі ящика напірного із повітряною подушкою. Представлено схеми математичної моделі, а також математичні формули що описують процеси які відбуваються у складових картоноробної машини.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК У СТАТИЦІ І ДИНАМІЦІ СИСТЕМ ПОДАВАННЯ МАСИ ПЛОСКОСІТКОВОЇ КАРТОНОРОБНОЇ МАШИНИ

3.1 Система подавання маси на сітку

Сучасна система розподілу маси для сітки плоскосіткової картонажної машини, призначеної для виробництва двошарової упаковки із картону, складається із двох контейнерів під тиском (рис. 2.1). Перша камера тиску впорскує волокнисту суспензію (додатковий об’єм) на сітку машини, щоб створити перший шар картонної тканини, який називається підшаром. Друга камера тиску впорскує ту саму суспензію на сформований підшар, щоб створити другий (покривний) шар. Це полегшує підключення обох напірних камер до мережі машини.

3.2 Характеристика у статиці ящика напірного із подушкою повітря

Загальний тиск маси має залежність від швидкості сітки машини.

Задокументовано [3], що швидкість усієї маси, що протікає через випускний отвір коробки.

$$V_м = \mu\sqrt{2gH} \quad (3.1)$$

.

де H – загальний напір маси;

g – прискорення сили тяжіння;

μ – коефіцієнт витрати.

Коефіцієнт швидкості струменя маси через випускальну щілину до швидкості сітки

$$\alpha = \frac{V_м}{V_C}, \tag{3.2}$$

Тож

$$V_м = \alpha V_C \,. \tag{3.3}$$

Підставимо формули (3.3) у формули (3.1). Тоді

$$\alpha^2 v_c^2 = \mu^2 2gH \,.$$

Звідси випливає, що

$$H = \frac{\alpha^2}{2g\mu^2} v_c^2 \,. \tag{3.4}$$

Наведемо приклад. Якщо $\alpha = \mu = 1$, а $g = 9{,}81$м/с^2 , тож теоретичний загальний напір маси

$$H = 5 \cdot 10^{-2} V_c^2 \,. \tag{3.5}$$

Залежність залежності (3.5) наведено на рис. 3.1.

Аналіз даної статичної характеристики показує, що вона є нелінійною. З його допомогою виявляється можливим визначити загальний тиск маси в розвантажувальному жолобі кожного напірного бака. Припускаючи швидкість сітки $v_c = 600\ ^{м}/_{х}$, то загальний напір маси у ящику повинен бути 5 м вод. ст. [26-29]

Відомий загальний тиск маси всередині напірної камери із повітряною подушкою

$$H = h + 10p \qquad (3.6)$$

,

де h – рівень маси у напускній камері, м вод. ст; P – надлишковий тиск подушки, кгс/см^2.

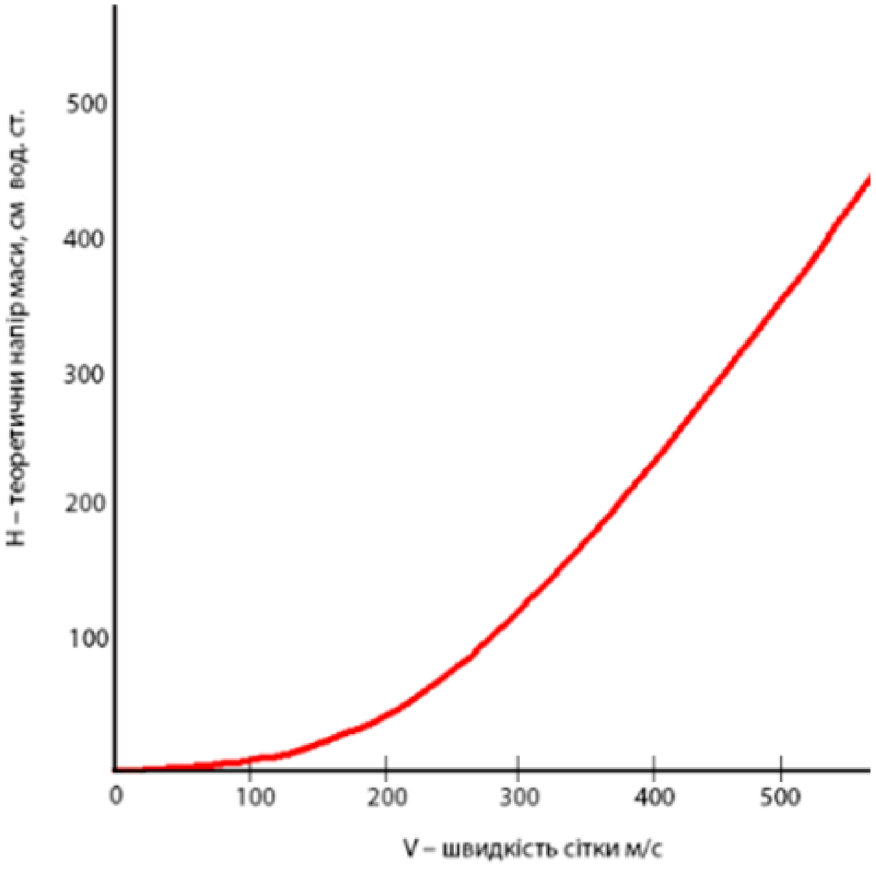

Рисунок 3.1 – Графік загального напору маси від швидкості руху сітки

У напірних ящиках із подушкою рівень маси у напускній камері є сталий і лежить у межах 0,8-1,0 м. Тож, тиск подушки при $h = 0{,}8$м виявляється можливим знайти за формулою.

$$P = 0{,}1 \cdot H - 0{,}08. \qquad (3.7)$$

Залежність (3.7) наведено на рис. 3.2

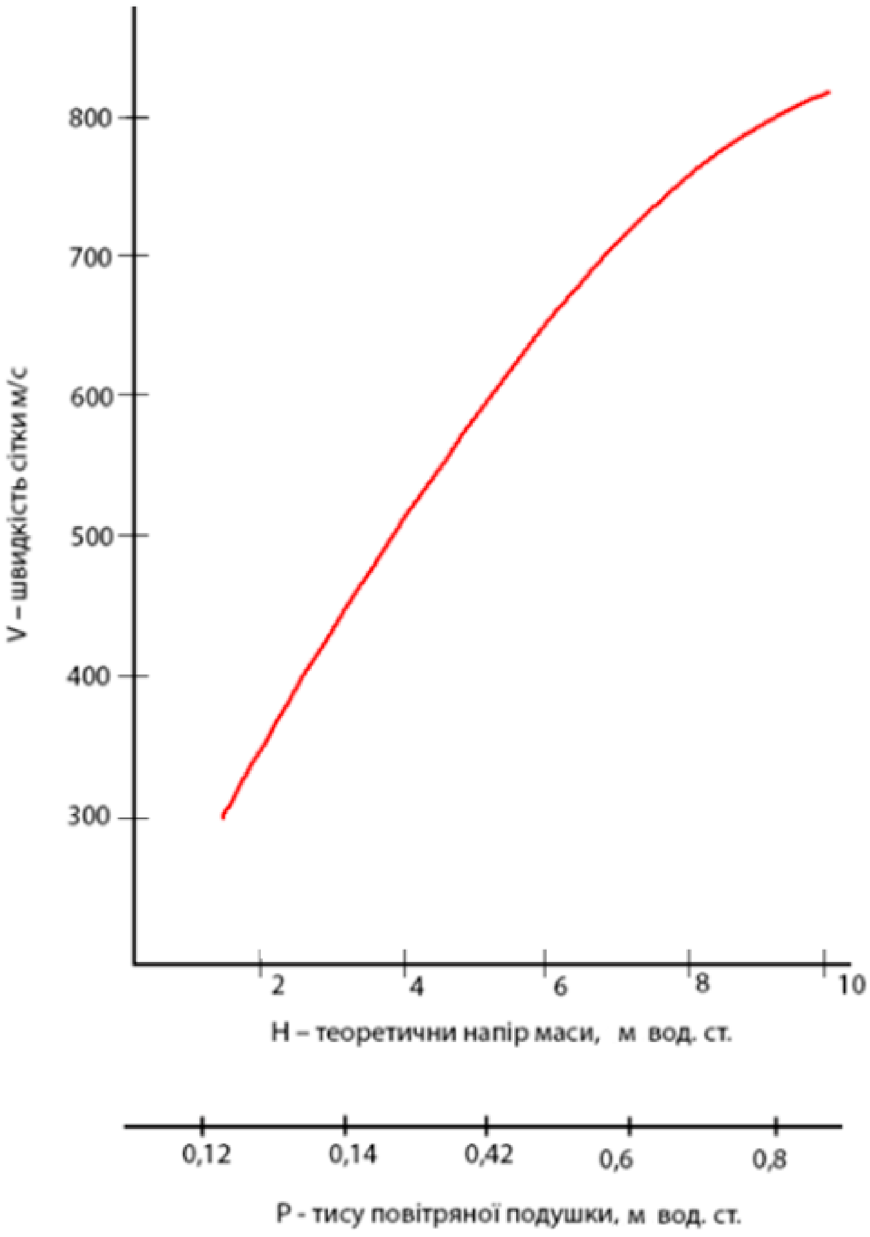

Рисунок 3.2 – Графік напору маси та тиску подушки повітря від швидкості руху сітки при сталому рівні маси h=0,85м

За допомогою наведених діаграм (рис. 3.1 і 3.2) виявляється можливим визначити загальний тиск маси і тиск повітряної подушки в напірній камері за швидкістю руху мережі. Так, припускаючи швидкість сітки $v_c = 600\ ^{М}/_{Х}$, то загальний напір маси має бути 5 м. вод. ст., а тиск подушки 0,42 кгс/см^2. Ці розрахунки дійсні, коли рівень маси в ящику становить 0,8 м. [26-29]

Залежність висоти розвантажувального жолоба коробки напірної від масової концентрації в напірній коробці та маси 1 квадратного метра картону.

Розрядний зазор і висоту першого та другого баків під тиском визначали за допомогою номограми, як представлено на рисунку 3.3.

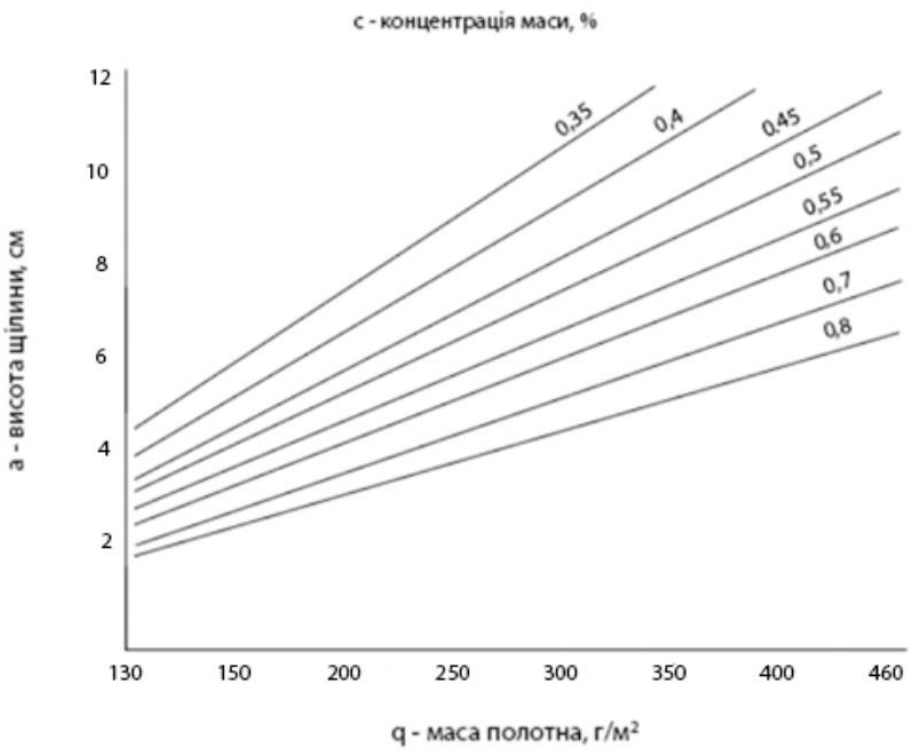

Рисунок 3.3 – Номограма для знаходження висоти щілини випускальної першого і другого ящиків напірних

Щоб скористатися цією номограмою, спочатку потрібно визначити товщину першого і другого шарів двошарового картонного полотна. Припустимо товщину другого шару $l_2 = 0{,}15$мм. Тож товщина I-го шару

$$l_1 = 1 - l_2 = 1 - 0{,}15 = 0{,}85\text{мм}.$$

Якщо концентрація маси першому напірному ящику $C = 0{,}5\%$, а у другому напірному ящику $C = 0{,}7\%$, то для знаходження висоти випускальної

щілини із цих ящиків необхідно скористатись представленою вище номограми.

Якщо, картоноробна машина повинна робити двошаровой тарний картон масою $q = 300\ г/м^2$, то відповідно до наведеної номограми висота випускальної щілини першого напірного ящика повинна бути 6,03 см, якщо $7{,}1 \cdot 0{,}85 = 6{,}03см$, а висота випускальної щілини другого напірного ящика повинна бути 0,765 см, тому як $5{,}1 \cdot 0{,}15 = 0{,}765см$.

3.3 Характеристики у динаміці напірного ящика як об`єкту управління рівнем маси і тиском повітряної подушки

Основною динамічною поведінкою камери тиску на повітряній подушці є перехідна функція вздовж двох каналів 11 і 22 і двох перехресних каналів 12 і 21. Для їх Знаходження необхідно використати математичну модель камери тиску як об’єкта контролю якості та рівня тиску повітряної подушки, розроблену в розд. 2.

Математична модель коробки напірної

Резервуар під тиском із повітряною подушкою представлений наступною системою лінійних диференціальних формул:

$$\begin{cases} T_{11}\frac{dy_1}{dt}+y_1(t)=K_{11}U_1(t)-K_{12}y_2(t)' \\ T_{22}\frac{dy_2}{dt}+y_2(t)=K_{21}\frac{dy_1}{dt}+K_{12}V_2(t), \end{cases} \quad (3.8)$$

де
$$T_{11} = 2\frac{FH_0}{Q_b^0}, \quad (3.9)$$

стала часу напускної камери;

$$K_{11} = 2\frac{FH_0}{Q_b^0} \text{ –} \qquad (3.10)$$

коефіцієнт підсилювання каналу 11;

$$K_{11} = 10 \text{ –} \qquad (3.11)$$

коефіцієнт підсилювання каналу 21;

$$T_{22} = \frac{g_0^*}{g_b^0} \text{ –} \qquad (3.12)$$

стала часу повітряної подушки;

$$K_{22} = \frac{P_0}{g_b^0} \text{ –} \qquad (3.13)$$

коефіцієнт підсилювання каналу 22;

$$K_{21} = \frac{F_0^p}{v_n^0} T_{22} \text{ –} \qquad (3.14)$$

коефіцієнт підсилювання каналу 12;

$y_1(t)$ – висота рівня об’єму маси у напускній камері; $y_2(t)$ – тиск подушки; $U_1(t)$ – витрата об’єму маси, що поступає у напускну камеру; $U_2(t)$ – витрата повітря, яке поступає у ящик напірний.

Технічна характеристика першого напірного ящика:

1. Витрата маси, що відводиться із напірного ящика $Q_b^0 = 1{,}527\,{}^{м^3}/_{с}$;

2. Витрата повітря, що відводиться із повітряної подушки $q_b^0 = 0{,}139\,{}^{кг}/_{с}$;

3. Висота рівня маси у напускній камері $h^0 = 0{,}89м$.

4. Тиск повітряної подушки $p_0 = 0{,}289кг/см^2$;

5. Загальний напір маси $H_0 = 3{,}711$ м вод. ст.;

6. Площа поверхні маси у напускній камері $F = 16{,}35м^2$;

7.Об`єм повітряної подушки $v_{п}^{0} = 12{,}3м^{3}$;

8.Об`єм наупскної камери $v_{М}^{0} = 14{,}55м^{3}$;

9. Висота випускальної щілини $a = 2{,}635см$;

10. Довжина випускальної щілини $b = 6{,}3м$;

11. Кількість повітря у подушці $g_{0}^{*} = 15{,}13кг$.

Знаходження постійної часу та коефіцієнта підсилювання математичної моделі бака тиску. Стала часу напускної камерами відповідно до формули у (3.9)

$$T_{11} = 2\frac{FH_{0}}{Q_{b}^{0}} = 2\frac{16{,}35\cdot 3.711}{1.527} = 79{,}46c$$.

Коефіцієнт підсилювання каналу 11 відповідно до формули у (3.10)

$$k_{11} = 2\frac{H_{0}}{Q_{b}^{0}} = 2\frac{3{,}711}{1{,}527}\frac{м}{\frac{м^{3}}{с}}$$.

Коефіцієнт підсилювання каналу 21 відповідно до формули у (3.11)

$$k_{12} = 10\frac{м}{\frac{кг}{см^{2}}}$$.

Стала часу повітряної подушки відповідно до формули у (3.12)

$$T_{22} = \frac{g_{0}^{*}}{g_{b}^{0}} = \frac{15{,}13}{0{,}139} = 108{,}84c$$.

Коефіцієнт підсилювання каналу 22 відповідно до формули у (3.13)

$$k_{22} = \frac{p_{0}}{g_{b}^{0}} = \frac{0{,}289}{0{,}139} = 2{,}07\frac{\frac{кг}{см^{2}}}{\frac{кг}{с}}$$.

Наприкінець, коефіцієнт підсилювання каналу 12 відповідно до формули у (3.14)

$$k_{21} = \frac{Fp_0}{V_п^0} T_{22} = \frac{16{,}35 \cdot 0{,}289}{12{,}3} \cdot 108{,}84 = 0{,}11 \frac{\frac{м^2 кг}{см^2 с}}{м^3}.$$

Знаходження перехідної функції прямого каналу 11

Функція передачі каналу 11.

$$g_{11}(p) = \frac{K_{11}(1+T_{22}p)}{(1+T_{11}p)(1+T_{22}p)+K_{12}K_{21}p}. \quad (3.15)$$

Передавальній функції (3.15) відповідає диференційне рівняння:

$$a_2 \frac{d_g^2}{dt^2} + a_1 \frac{dy_1}{dt} + a_0 y_1(t) = b_1 \frac{dU_1}{dt} + b_0 U_1(t), \quad (3.16)$$

де $a_2 = T_{11}T_{22} = 79{,}46 * 108{,}84 = 8648{,}42c^2$,

$a_1 = T_{11} + T_{22} \vdash K_{12}K_{21} = 79{,}46 + 108{,}84 + 10 * 0{,}11 = 189{,}4c$;

$a_0 = 0$;

$b_1 = K_{11}T_{22} = 4{,}86 * 108{,}84 = 528{,}96\ м/{}^{м^3}/_{с}$;

$b_0 = K_{11} = 4{,}86\ м/{}^{м^3}/_{с}$.

Нехай $T_2^2 = a_2 = 8648{,}42c^2$. Тоді

$T_2 = 92{,}99c$;

$T_1 = a_1 = 189{,}4c$;

$T_5 = \frac{b_1}{b_0} = \frac{528{,}96}{4{,}86} = 108{,}83c$.

Диференційне рівняння (3.16) у зображеннях Лапласа має вид:

$$y_1(p)(1 + T_3p)(1 + T_4p) = K_{11}(T_5p + 1)U_1(p). \quad (3.17)$$

Тому як $T_1 > T_2$, то стала часу

$T_3 = \frac{1}{1}\left(T_1 + \sqrt{T_1^2 - 4T_2^2}\right)$,

а стала часу

$T_4 = \frac{1}{1}\left(T_1 - \sqrt{T_1^2 - 4T_2^2}\right).$

Тому як $T_1^2 = 189{,}4c$, то $T_1^2 = 3582{,}36c^2$. Тому як $T_2^2 = 8648{,}42c^2$, то $4T_2^2 = 34593{,}68c^2$.

Тож $T_1 - 4T_2^2 = 35872{,}36 - 34593{,}68 = 1{,}278c^2$, а $\sqrt{T_1^2 - 4T_2^2} = \sqrt{1{,}278} = 1{,}13c$.

Отже

$T_3 = \frac{1}{2}\left(T_1 + \sqrt{T_1^2 - 4T_2^2}\right) = 0{,}5(189{,}4 + 1{,}13) = 95{,}26c.$

$T_4 = \frac{1}{2}\left(T_1 - \sqrt{T_1^2 - 4T_2^2}\right) = 0{,}5(189{,}4 - 1{,}13) = 94{,}13c.$

Розв`язок диференційного рівняння (3.17):

$$y_1(t) = K_{11}(1 + C_1 e^{-\alpha_1 t} + C_2 e^{-\alpha_2 t});\qquad (3.18)$$

де $\alpha_1 = \frac{1}{T_3} = \frac{1}{95{,}26} = 1{,}04 * 10^{-2} c^{-1}$,

$\alpha_2 = \frac{1}{T_4} = \frac{1}{94{,}13} = 1{,}06 * 10^{-2} c^{-1};$

$T_5 = \frac{b_1}{b_0} = \frac{528{,}96}{4{,}86} = 108{,}83c.$

$C_1 = \frac{T_5 - T_3}{T_3 - T_4} = \frac{108{,}83 - 95{,}26}{95{,}26 - 94{,}13} = 12{,}01;$

$C_2 = \frac{T_4 - T_5}{T_3 - T_4} = \frac{94{,}13 - 108{,}83}{95{,}26 - 94{,}13} = -13{,}01.$

Підставивши отримані числові значення у формули (3.18) маємо

$$y_1(t) = 4{,}86(1 + 12.01e^{-1.04\cdot 10^{-2}} \cdot t - 13{,}01e^{-1.06\cdot 10^{-2}}) \cdot t\ . \qquad (3.19)$$

Знаходження перехідної функції перехресного каналу 12

Функція передачі каналу 12

$$g_{21}(p) = \frac{K_{11}K_{21}}{(1+T_3p)(1+T_4p)}. \qquad (3.20)$$

Передавальній функції (3.20) належить перехідна функція каналу 12

$$y_2(t) = K_{11}K_{11}C_3(e^{-\alpha_1 t} - e^{-\alpha_2 t}), \qquad (3.21)$$

де
$$C_3 = \frac{1}{T_3 - T_4} = \frac{1}{95{,}26-94{,}13} = 0{,}88c^{-1}.$$

Підставивши отримані числові значення у формули (3.21) маємо:

$$y_2(t) = 0{,}53\left(e^{-1{,}04*10^{-2}t} - e^{-1{,}06*10^{-2}t}\right). \qquad (3.22)$$

Згідно із формулами (3.19) і (3.22), криву зміни рівня рідини у вхідній камері та тиску повітряної подушки виявляється можливим накреслити, коли масова швидкість потоку в напірному резервуарі збільшується одним стрибком, як представлено на рисунку 3.4. [30-34]

Огляд наведеного графіка показує, що при одноразовій стрибковій зміні масової витрати, що подається у вхідну камеру напірного бака, рівень маси у вхідній камері напірного бака зростає і досягає нового стабільного значення за час, приблизно рівний 400 секунд. При цьому тиск повітряної подушки спочатку збільшується протягом приблизно 100 с, потім повільно знижується, досягаючи попереднього значення приблизно через 500 с.

Знаходження передаточної функції прямого каналу 22

Функція передачі каналу 22

$$y_{22}(p) = -\frac{K_{22}(T_5p+1)}{(1+T_3p)(1+T_4p)}. \qquad (3.23)$$

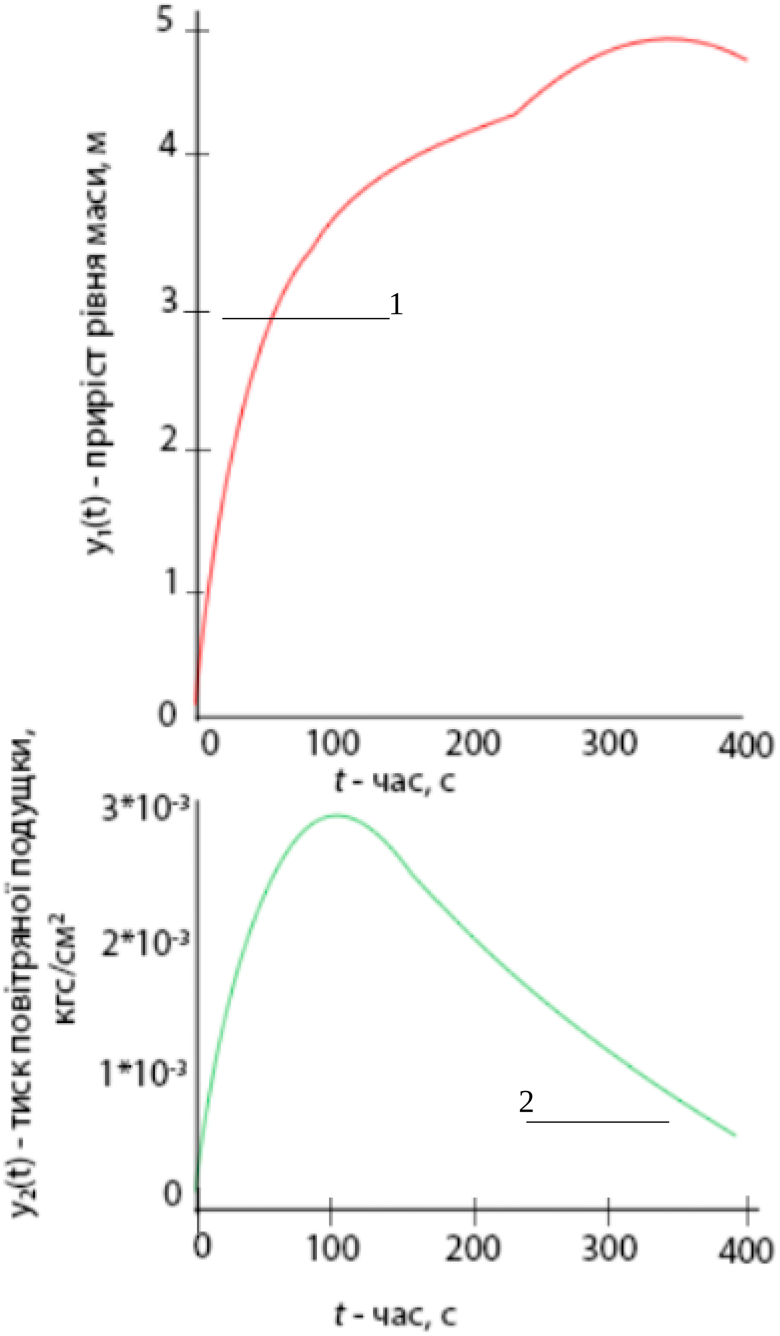

Рисунок 3.4 – Графік приросту рівня маси (графік 1) та тиску подушки повітря (графік 2) у разі приросту витрати маси, яка подається у ящик напірний

Передаточній функції (3.23) відповідає перехідна функція каналу 22

$$y_2(t) = k_{22}(1 + C_1 e^{-\alpha_1 t} + C_2 e^{-\alpha_2 t}) \tag{3.24}$$
.

Підставивши отримані числові значення параметрів передавальної функції (3.23) у формули (3.24) получили:

$$y_2(t) = 2{,}07(1 + 12{,}01e^{-1{,}04*10^{-2}t} - 13{,}01e^{-1{,}06*10^{-2}t}) \tag{3.25}$$
.

Знаходження перехідної функції перехрестного каналу 21

Функція передачі каналу 21

$$g_{12}(p) = -\frac{k_{22}k_{12}}{(T_3p+1)(T_4p+1)} \tag{3.26}$$
.

Передаточній функції (3.26) відповідає перехідна функція каналу 21,

$$y_1(t) = -k_{22}k_{12}(1 + C_4 e^{-\alpha_1 t} + C_5 e^{-\alpha_2 t}) \tag{3.27}$$
;

де $$C_4 = -\frac{T_3}{T_3 - T_4} = -\frac{95{,}26}{95{,}26 - 94{,}13} = -84{,}3$$
,

$$C_5 = \frac{T_5}{T_3 - T_4} = -\frac{94{,}13}{95{,}26 - 94{,}13} = 83{,}3$$
.

Підставивши отримані числові значення коефіцієнтів передавальної функції (3.26) у формули (3.27) маємо:

$$y_1(t) = -20{,}7(1 - 84{,}3e^{-1{,}04*10^{-2}t} + 83{,}3e^{-1{,}06*10^{-2}t}) \tag{3.28}$$
.

Згідно із формулами (3.25) і (3.28), криву зміни тиску повітряної подушки та рівня маси в повітрозабірній камері, коли швидкість подавання повітря в напірній камері збільшується за один стрибок, виявляється можливим намалювати, як представлено на фігура. 3.5.

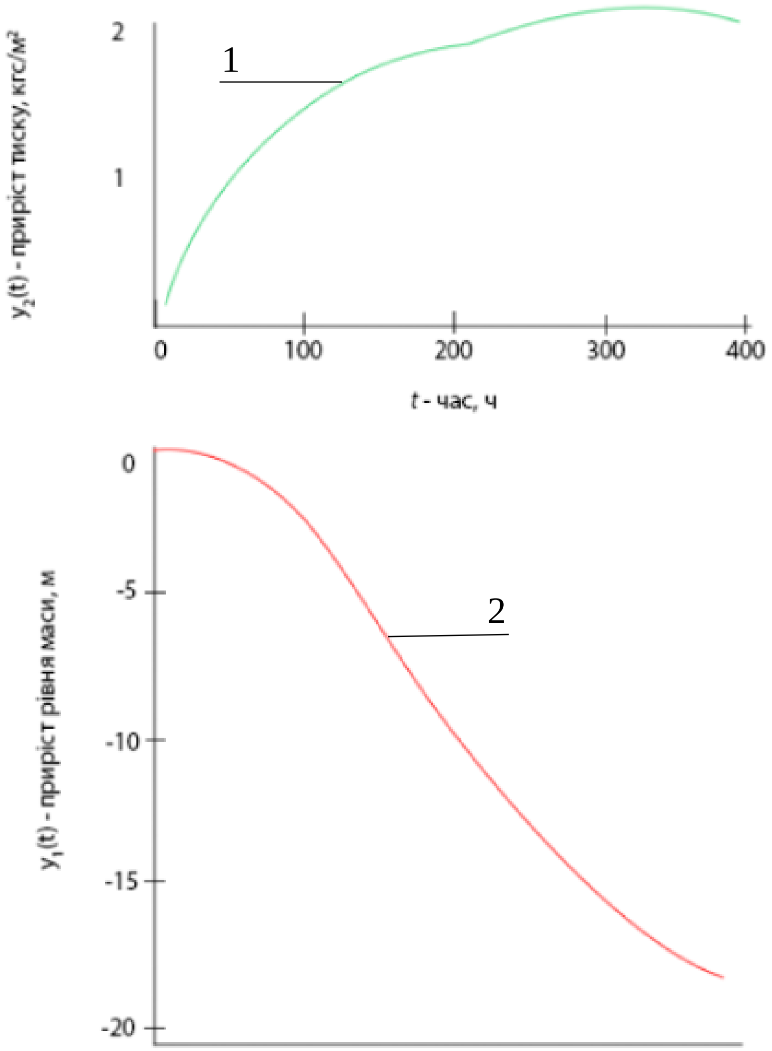

Рисунок 3.5 – Графік приросту тиску подушки повітря (графік 1) та рівня маси (графік 2) у разі витрати маси, яка подається у ящик напірний

Аналіз наведеного графіка (рис. 3.5) показує, що при одноразовій стрибковій зміні витрати повітря тиск повітряної подушки зростає і досягає нового стабільного значення приблизно через 400 секунд. При цьому рівень маси у вхідній камері різко падає вниз. Це свідчить про те, що напірна коробка

із повітряною подушкою як об'єкт управління є нестабільним об'єктом управління через канал «витрати повітря, що подається (або відводиться) до масового рівня повітряної подушки в камері повітрозабірника». Ось чому цей тип резервуара під тиском повинен бути оснащений відповідною автоматичною системою регулювання. [30-34]

3.4 Динамічні характеристики ящика напірного як об`єкту управління загальним напором маси

Для знаходження динаміки осередку тиску по каналу «обтиральна маса, що подається в осередок тиску – загальний тиск маси» (канал 13), скористаємося його передаточною функцією (2.72):

$$g_{31}(p) = K_{11}\frac{1+T_5p}{(1+T_3p)(1+T_4p)}. \qquad (3.29)$$

У разі одноступеневої дії управління на вході каналу 13 розв’язок відповідного диференціального формула передатної функції (3.29) відомий:

$$y_3(t) = k_{11}\left[1 - \frac{T_3-T_5}{T_3-T_4}e^{-\frac{1}{T_3}} + \frac{T_4-T_5}{T_3-T_4}e^{-\frac{1}{T_4}}\right]. \qquad (3.30)$$

Залежно від комбінації сталих T_3, T_4 і T_5 залежності перехідних функцій будуть мати різний вид. Розглянемо чотири випадки.

Випадок 1. $T_5 = 0$. Тож, знайшовши похідну властивості каналу 13 відсутні.

Випадок 2. $T_3 > T_4 > T_5$. У такому разі канал управління 13 має незначні диференціюючі властивості.

Випадок 3. $T_3 > T_5 > T_4$. У такому разі канал управління 13 має достатньо виражені диференціальні властивості.

Випадок 4. $T_5 > T_3 > T_4$. У такому разі канал управління 13 має сильно виражені диференціюючі властивості.

Продиференціюємо передатну функцію (3.30) по t і прирівнюємо її другу похідну до нуля, щоб знайти точку перегину графіка передавальної функції (3.30). Час, що відповідає поворотному моменту

$$t_n = \frac{T_3 T_4}{T_3 - T_4} l_n \frac{T_3^2}{T_4^2} \cdot \frac{T_4 - T_5}{T_3 - T_5}. \qquad (3.31)$$

Із формули у (3.31) випливає, якщо $T_3 > T_5 > T_4$ (випадок 3), то під знаком логарифму з`являється від`ємна величина. Тож, звідси виявляється можливим зробити висновок про те, що за цих умов не має точки перегину графіка перехідної функції (3.30). Саме цей факт дає підставу апроксимувати такий графік графіком перехідної функції аперіодичної ланки 1-го порядку. [35-37]

Для вибору першого значення сталої часу каналу управління 13 будемо вимагати, щоб площі, обмежені графіком істинної (S_1) і графіком апроксимованої (S_2) перехідних функцій, були рівні на ділянці $0 \le T \le 5T_{13}$. Прийнявши для Знаходження сталої часу каналу управління 13 інтегральний критерії, маємо: $\Delta S = S_1 - S_2$.

Або
$$\Delta S = \int_0^{5T_{i5}} \left[1 - \frac{T_3 - T_5}{T_3 - T_4} e^{-\frac{t}{T_3}} + \frac{T_4 - T_5}{T_3 - T_4} e^{-\frac{t}{T_4}} - 1 + e^{-\frac{t}{T_3}}\right] dt = 0.$$

Звідки випливає, що стала часу каналу управління 13

$$T_{13} = T_3 + T_4 - T_5 . \qquad (3.32)$$

Для побудови графіка перехідної функції, яку назвемо апроксимованою перехідною функцією каналу управління 13, розглянемо ящик напірний, який має такі динамічні характеристики: $T_3 = 95{,}26с$; $T_4 = 94{,}13с$; $T_5 = 109{,}94с$. Тож, стала часу каналу управління 13 відповідно до формули у (3.32)

$T_{13} = T_3 + T_4 - T_5 = 95{,}26 + 94{,}13 - 109{,}94 = 79{,}45c.$

Отже апроксимована перехідна функція каналу 13.

$$y_3(t) = K_{11}\left[1 - \exp\left(-\frac{t}{T_{13}}\right)\right]. \tag{3.33}$$

Підставивши у формули (3.33) $K_{11} = 4{,}86\frac{м}{\frac{м^3}{с}}$ і $T_{13} = 79{,}45c$ маємо:

$$y_3(t) = 4{,}86[1 - \exp(-0{,}0125t)].$$

У відповідності із цими формули побудовано графік апроксимованої перехідної функції каналу управління 13. рис. 3.6.

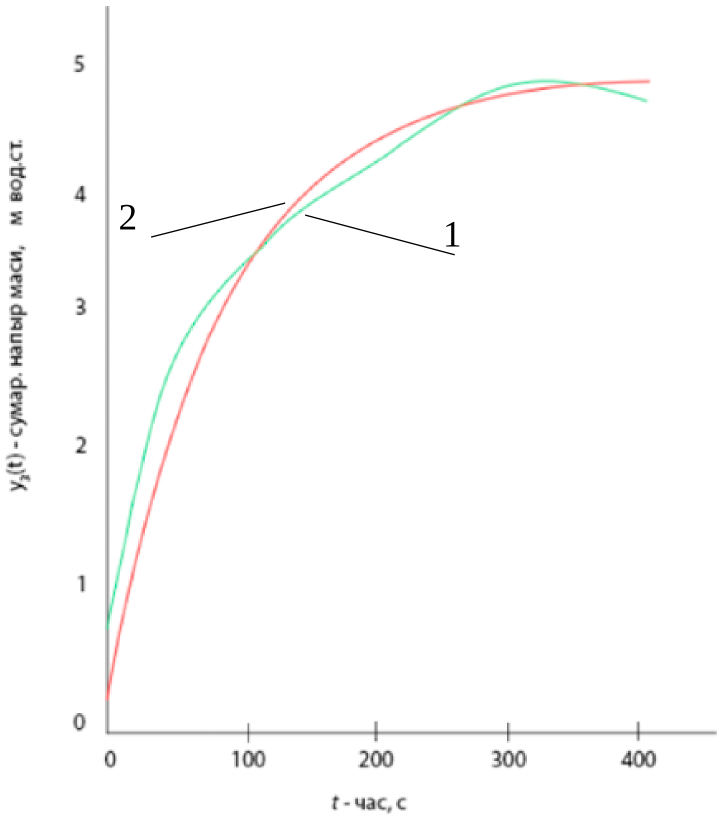

Рисунок 3.6 – Графіки перехідної функції (графік 1) і апроксимованої функції (графік 2) канала управління

Істину перехідну функцію каналу управління 13 визначимо як суму перехідних функції (3.19) і (3.22). Залежність такої перехідної функції наведено на рис. 3.6, графік 1.

3.5 Дослідження характеристик у динаміці подушки повітря ящика напірного

У розділі 2 було одержано лінійний диференційне рівняння (2.17), яке описує динаміку процесу в повітряній подушці. Воно має такий вид

$$\frac{d\Delta g^*}{dt} = \Delta g_n(t) - \Delta g_b(t) \quad (3.34)$$

Тому як об`єм повітряної подушки

$$V_п = V_0 - V_м ,$$

де V_0 – загальний об`єм напірного ящика, що складається із об`єму маси $V_м$ у напускній камері та об`єму $V_п$ повітряної подушки, то $\Delta V_п = -\Delta V_м$. Об`єм маси у ящику $V_м = Fh$, де F – площа поверхні маси у ящику; h – висота гідростатичного рівня маси. Саму тому $\Delta V_м = F_\Delta h$.

Отже

$$\Delta g^* = \frac{1}{R\theta}(v_п^0 \Delta P - P_0 F_\Delta h) .$$

З точністю, достатньою для практичних розрахунків, будемо вважати, що

$$\begin{cases} g_n(t) = g_n(x, p, p_2); \\ g_в(t) = g_b(p, p, f_b), \end{cases} \quad (3.35)$$

де x – координата положення регулювального органа подавання повітря у подушку; f_b – прохідна площа регулювального органа випускання повітря із подушки.

Функції (3.35) загальному виді нелінійні, а тому, розклавши їх у ряд Тейлора, у першому наближенні одержимо;

$$\begin{cases} \Delta g_n = \left(\frac{\partial g_n}{\partial x}\right)_0 \Delta x + \left(\frac{\partial g_n}{\partial p}\right)_0 \Delta p + \left(\frac{\partial g_n}{\partial p_2}\right)_0 \Delta p_2; \\ \Delta g_b = \left(\frac{\partial g_b}{\partial p}\right)_0 \Delta p + \left(\frac{\partial g_e}{\partial p_c}\right)_0 \Delta p_c + \left(\frac{\partial g_в}{\partial f_b}\right)_0 \Delta f_b. \end{cases} \quad (3.36)$$

Будемо вважати, що $\Delta p, \Delta p_c$ і f_b є збурювальним діянням, які не залежать від умов роботи системи напуску маси. Тоді, підставивши формули (3.36) у формули (3.34), одержимо

$$\frac{v_п^0}{R\Theta}\frac{d\Delta P}{dt} + \left[\left(\frac{\partial g_b}{\partial P}\right)_0 - \left(\frac{\partial g_п}{\partial P}\right)\right]\Delta^P = \left(\frac{\partial g_п}{\partial x}\right)_0 \Delta x + \frac{P_0 F}{R\theta}\frac{d\Delta h}{dt} + f(t), \quad (3.37)$$

де

де $$f(t) = \left(\frac{\partial g_n}{\partial p_2}\right)_0 \Delta P_2 - \left(\frac{\partial g_b}{\partial p_c}\right)_0 \Delta p - \left(\frac{\partial g_b}{\partial f_b}\right)\Delta f_b,$$

Коефіцієнти $\left(\frac{\partial g_n}{\partial p}\right)_0$, $\left(\frac{\partial g_b}{\partial p_c}\right)_0$, $\left(\frac{\partial g_b}{\partial f_b}\right)_0$ і $\left(\frac{\partial g_п}{\partial x}\right)_0$, можуть бути визначені як тангенси кутів дотичних до експериментальних статичних характеристик. Теоретичний шлях їхнього Знаходження наведено у дод. А.

Поділимо всі частини формула (3.37) на g_n^0, окрім цього, ліву частину помножимо і поділимо на P_0, а праву частину на h^0 і x_0, де P_0 і g_n^0 означають відповідно умовне номінальне значення тиску повітряної подушки та секундну розрахункову витрату повітря, що подається у подушку, а h^0 і x_0 – відповідно умовний номінальний рівень маси у ящику і деяке умовне номінальне значення, що має розмірність координати регульованого органа

подавання повітря. Тож, повітряна подушка може бути представлена таким диференціальним формулам:

$$T_n \frac{dy_2}{dt} + \beta y_2(t) = U_2(t) + k_{12} \frac{dy_1}{dt} + f(t) \qquad (3.38)$$

,

де $y_1(t) \sim h$ – рівень маси у напускній камері; $y_2(t) \sim P$ – тиск повітряної подушки; k_{12} – коефіцієнт підсилювання каналу «тиск повітряної подушки – рівень маси у напускній камері»; $U_{2(t)} \sim g_n$ – витрата повітря, що подається до повітряної подушки; T_n – стала заповнення подушки

$$\beta = \frac{p_0}{g_n^0}\left[\left(\frac{\partial g_b}{\partial p}\right)_0 - \left(\frac{\partial g_n}{\partial p}\right)_0\right] \qquad (3.39)$$

– коефіцієнт самовирівнювання тиску повітряної подушки; P^0 і g_n^0 – усталене значення тиску Р повітряної подушки і витрати повітря що подається до неї.

Розв`язок диференціального формула (3.38) права частина якого у загальному випадку є деяка функція $\varphi(t)$

$$y_2(t) = Ce^{-\frac{\beta}{T_n}t} + e^{-\frac{\beta}{T_n}t} + \frac{1}{T_n}\int_0^t \varphi(t)\, e^{-\frac{\beta}{T_n}t'} dt' \qquad (3.40)$$

$0 \leq t' \subseteq t$ – холостий час, С – стала інтегрування.

Отже, дослідження динамічних властивостей СПП по сутті зводиться до дослідження розв`язку (3.40). Справді, в залежності від знака відношення β/T_n величина $\exp(-\beta / T_n)$ при $t \to \infty$ необмежено зростає, якщо $\beta / T_n < 0$, або прямує до нуля, якщо $\beta/T_n > 0$. Тож, характер зміни $y_2(t)$ і його кінцеве значення має залежність від величини і знака β / T_n. Тому як стала заповнення T_n величина стала, то знак відношення β / T_n визначається тільки знаком β. Для Знаходження знака цього коефіцієнта наведемо частинні похідні, що входять у формули (3.39).

При докритичному відношені тисків повітря, коли $P_c / P > (3 - k) / 3$ (де P_c – тиск навколишнього середовища)

$$\left(\frac{\partial g_b}{\partial P}\right)_0 = g_b^0 \frac{\frac{3-K}{2K}P_C - \frac{3-2K}{2K}P}{(P-P_c)\left(\frac{3}{2K}P_c - \frac{3-2K}{2K}P\right)} > 0 \quad (3.41)$$

При закритичному відношені тисків, коли $P_c / P \leq (3 - K) / 3$

$$\left(\frac{\partial g_b}{\partial P}\right)_0 = g_b^0 \frac{1}{p} > 0 \quad (3.42)$$

Отже, із формул (3.41) і (3.42) випливає, що при будь-яких умовах витікання повітря із подушки, завжди $(\partial g_b / \partial P) > 0$. Аналогічно, при докритичному відношенні тисків повітря, коли $P / P_2 > (3 - K) / 3$ (де P_2 – тиск повітря, що подається компресором) завжди

$$\left(\frac{\partial g_п}{\partial P}\right)_0 = g_п^0 \frac{\frac{3-2K}{2K}P_2 - \frac{3}{2K}P}{(P_2-P)\left(\frac{3}{2K}P - \frac{3-2K}{2K}P_2\right)} \leq 0 \quad (3.43)$$

При закритому відношенні тисків повітря, коли $P / P_2 \leq (3 - K) / 3$

$$\left(\frac{\partial g_п}{\partial P}\right)_0 \leq 0 \quad (3.44)$$

Тому як зі збільшенням Р праві частини формули ів (3.41) і (3.42) спадають, то частинні похідні (3.41) і (3.42) є спадні функції тиску Р, а отже і швидкості картоноробної машини. Зі збільшенням Р знаменник формули у (3.43) спадає, а абсолютна величина його чисельника зростає. Тож, частинна похідна (3.43) є спадна функція тиску Р, а отже і швидкості картоноробної машини.

Отже коефіцієнт самовирівнювання із боку подавання повітря у подушку є зростаюча функція тиску Р, а коефіцієнт самовирівнювання із боку випускання повітря із ящика – є спадна функція. Це означає, що більше

відношення тисків P_c / P і P / P_2, то більше коефіцієнти самовирівнювання (3.39).

Із виразів (3.41) – (3.43) випливає, що зі збільшенням кількості повітря g_b^0 і g_n^0, що протікають в одиницю часу крізь подушку значення частинних похідних (3.41) – (3.43) зростає, а це веде до збільшення як із боку його випускання із подушки, так і із боку його подачі, а отже і до збільшення коефіцієнтів самовирівнювання тиску повітряної подушки (3.39).

3.6 Висновки до третього розділу

Третій розлділ присвячено дослідженню характеристик у статиці і динаміці систем для подавання маси на сітку плоскосіткової картоноробної машини. Описано склад системи подавання маси на сітку. Визначено характеристики у статиці напірного ящик із повітряною подушкою. Також встановлено характеристики у динаміці напірного ящика як об`єкту управління рівнем маси і тиском повітряної подушки. Досліджено динамічні характеристики напірного ящика як об`єкта управління сумарним напором маси. Проведено дослідження властивостей у динаміці повітряної подушки ящика напірного.

4 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ВИГОТОВЛЕННЯ БАГАТОРІВНЕВОГО КАРТОНУ

4.1 Система автоматичного управління

Система автоматичного управління процесом формування багатошарового картону на сітці плоскосіткової картоноробної машини складається із декількох напірних ящиків із повітряною подушкою, пов`язаних між собою картонним полотном, сформованим на сітці машини. Система управління кожним напірним ящиком складається із системи автоматичного регулювання рівня маси у напускній камері ящика і системи автоматичного управління сумарним напором маси у випускальній щілині.

У відповідності зі спрощеною структурною схемою цього об`єкта управління (рис. 2.8) вказані автоматичні системи виявляється можливим розглядати як незалежні системи. Систему автоматичного регулювання рівнем маси досить докладно розглянуто у розділі 3. А тому подалі будемо розглядати тільки систему автоматичного управління сумарним напором маси. [38-45]

4.2 Пошук дискретної передавальної функції регулятору загального напору маси без фільтрації змінної входу регулятору

Структурну схему дискретної системи автоматичного управління сумарним напором маси наведено на рис. 4.1.

На схемі $D(z)$ – дискретна Функція передачі регулятора загального напору маси; $g_e(p)$ – Функція передачі екстраполятора нульового порядку; $g_{31}(p)$ – Функція передачі напірного ящика по каналу управління 13; $g_\Phi(p)$ – Функція передачі експоненціального фільтра

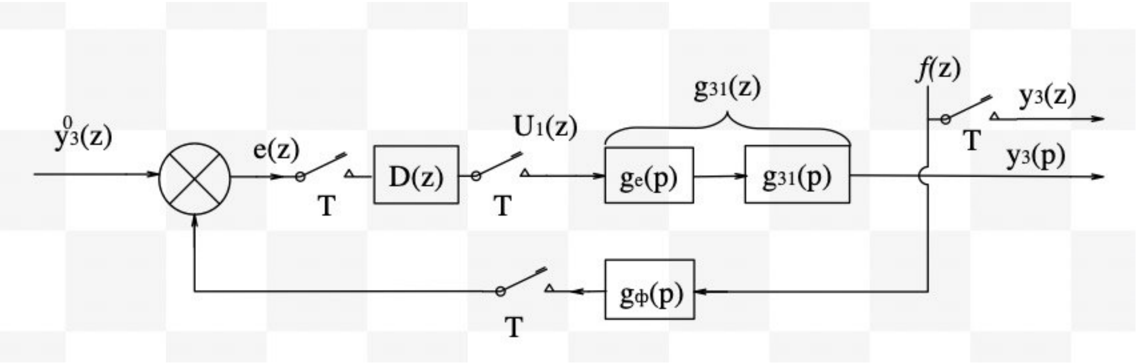

Рисунок 4.1 – Схема моделювання дискретної системи управління і регулювання загальним напором маси

Припустимо спочатку, що Функція передачі фільтра

$$g_\Phi(p) = 1 \quad (4.1)$$

Тоді відповідно до із рис. 4.1 зображення загального напору маси у z-формі.

$$y_3(z) = D(z)g_{31}[y_3^0(z) - y_3(z)] \quad (4.2)$$

Дискретна функція передачі ящика напірного по каналу управління 13

$$g_{31}(z) = K_{11}\frac{1-a_p}{1-a_p z^{-1}}z^{-(k+1)}, \quad (4.3)$$

де $a_p = \exp\left(-\frac{T}{T_{13}}\right); k = \frac{\tau}{T}$.

Тож, дискретна Функція передачі регулятора загального напору маси відповідно до формули у (4.2)

$$D(p) \models \frac{1}{g_{31}(z)} \cdot \frac{y_3(z)/y_3^0(z)}{1-y_3(z)/y_3^0(z)} \quad (4.4)$$

Відомо, що відношення $y_3(z) \,/\, y_3^0(z)$ – це дискретна функція передачі замкнутої системи:

$$\Phi(z) = \frac{y_з(z)}{y_з^0(z)}.$$

Нехай функція передачі замкнутої системи

$$\Phi(z) = \frac{\exp(-p\tau)}{1+T_з p}, \tag{4.5}$$

де $T_з$ – стала часу замкнутої системи; τ – час запізнення у системі, який дорівнює часу запізнення, що існує у каналі управління 13. [38-45]

У z-формі функція передачі (4.5) має вид

$$\Phi(z) = \frac{1-a_з}{1-a_з z^{-1}} z^{-(k+1)}, \tag{4.6}$$

де $a_з = \exp\left(-\frac{T}{T_з}\right)$; $k = \frac{\tau}{T}$; T – період дискретності системи.

Підставивши формули (4.3) і (4.6) у формули (4.4), одержимо дискретну передавальну функцію регулятора загального напору маси у такому виді:

$$D_1(z) = \frac{(1-a_з)(1-a_p z^{-1})}{K_{11}(1-a_p)[1-a_з z^{-1}-(1-a_з)z^{-(K+1)}]}, \tag{4.7}$$

де $$a_з = \exp\left(-\frac{T}{T_з}\right) \text{ –}$$

параметр налаштування регулятора.

Регулятор, представлений дискретною передавальною функцію (4.7) будемо надалі називати дискретним регулятором загального напору маси без фільтрації його вхідної змінної. Його ще називають дискретним регулятором Даліна типу ІІІ [4]

4.3 Знаходження передавальної функції регулятора загального напору маси із фільтрацією вхідної змінної регулятора

Якщо на виміряний загальний напір маси діють сили, які спотворюють виміряний напір, то їх потрібно відфільтрувати за допомогою скажімо експоненціального фільтра, який розміщують так, як представлено на рис. 4.1. У такому разі неперервна частина представляється передавальною функцією:

$$g_{31}(p) = \frac{1-e^{-pT}}{p}\frac{K_{11}e^{-p\tau}}{1+T_{13}p}\frac{1}{1+T_{\phi}p}. \quad (4.8)$$

де T_{ϕ} – стала часу експоненціального фільтра.

У z-формі дискретна функція передачі каналу управління 13 має такий вид:

$$g_{13}(z) = K_{11}\frac{\alpha+\beta z^{-1}}{(1-a_p z^{-1})(1-a_{\phi} z^{-1})}, \quad (4.9)$$

де $a_p = \exp\left(-\frac{T}{T_{13}}\right)$; $a_{\phi} = \exp\left(-\frac{T}{T_{\phi}}\right)$; $\alpha = 1 - \frac{a_{\phi}T\phi - apT_{13}}{T\phi - T_{13}}$;

$\beta = a_p a\phi - \frac{a_p T\phi - a\phi T_{13}}{T\phi - T_{13}}$.

Підставимо дискретні передавальні функції (4.6) і (4.9) у формули (4.4). Тоді шукана дискретна функція передачі регулятора загального напору

$$D_2(z) = \frac{(1-a_з)(1-a_p z^{-1})(1-a_{\phi} z^{-1})}{K_{11}[(1-a_p z^{-1})(1-a_{\phi} z^{-1}) - \frac{1-a_з}{1-a_p}(\alpha+\beta z^{-1})z^{-(k+1)}}. \quad (4.10)$$

Регулятор, представлений дискретною передавальною функцією (4.10) будемо надалі називати дискретним регулятором загального напору маси із фільтрацією його поточної вхідної змінної. Його ще називають дискретним регулятором ділан IV. Властивості цього регулятора детально вивчені у роботах [46-52].

Тому якщо $T_{\phi} \to 0$, то $a_{\phi} = \exp\left(-\frac{T}{T_{\phi}}\right) \to 0$ і отже, $\alpha \to 1 - a_p$, а $\beta \to 0$. Тоді функція передачі (5.10) перетвориться на дискретну передавальну функцію (4.7).

4.3 Знаходження функції програмування дискретного регулятора загального напору маси

Дискретну передавальну функцію (4.7) подамо у загальноприйнятому виді

$$D_1(z) = \frac{U_1(z)}{e(z)} = \frac{a_0 + a_1 z^{-1}}{1 - b_1 z^{-1} + b_2 z^{-(K+1)}} \tag{4.11}$$

е $\quad a_0 = \frac{1 - a_з}{K_{11}(1 - a_p)}$;

$a_1 = -a_0 a_p$;

$b_1 = a_з$;

$b_2 = 1 - a_з$.

Із формули у (4.4) випливає, що $U_1(z) = a_0 e(z) + a_1 e(z) z^{-1} + b_1 v_1(z) z^{-1} + b_2 v_1(z) z^{-(K+1)}$.

Отже, різницеве формула дискретного регулятора Даліна типу III або його програмувальна функція матиме досить компактний вид:

$$u_1[i] = a_0 e[i] + a_1 e[i-1] + b_1 U_1[i-1] + b_2 v U_1[i-k-1]. \tag{4.12}$$

Аналогічно визначається програмувальна функція дискретного регулятора Даліна типу IV.

4.4 Дослідження дискретної системи управління і регулювання сумарним напором маси за методом z-перетворення

Технічна характеристика ящика напірного:

– стала часу напірного ящика по каналу управління 13 $T_{13} = 20$c

– коефіцієнт підсилювання каналу управління $K_{11} = 0,63$ м вод. ст./м^3/с.

– час запізнення у каналі управління 13 $\tau = 80$c.

Вимоги до дискретної системи автоматичного управління і регулювання сумарним напором маси

Система автоматичного управління сумарним напором маси має бути дискретною. [53-62]

У разі зміни задавального діяння, сформованого на виміряному значені швидкості сітки, вихідна змінна системи (загальний напір маси) повинна виходити на задане значення відповідно до із аперіодичним перехідним процесом, при цьому стала замкнутої системи $T_з = 25$c, а час допустимого управління $t_k^{доп}$ не має бути більший, ніж 200с, якщо вихідна змінна системи досягне 10% допустимої зони управління.

У разі дії на систему автоматичного регулювання загального напору маси одиничного стрибкоподібною збурювального діяння допустимий час регулювання не може перевищувати 200с, якщо вихідна змінна системи досягає 10% допустимої зони управління.

Знаходження дискретної передавальної функції напірного ящика по каналу управління 13.

Функція передачі напірного ящика по каналу управління (2.79) у дискретній формі має вид:

$$g_{31}(z) = K_{11}\frac{1-a_p}{1-a_p z^{-1}} z^{-K}, \tag{4.13}$$

де $a_p = \exp\left(-\frac{T}{T_{13}}\right)$; $k = \frac{\tau}{T}$.

З урахуванням технічних характеристик розглядуваного напірного ящика вона має такий вид:

$$g_{31}(z) = \frac{0,398}{1-0,368z^{-1}} z^{-5} \quad (4.14)$$

Розрахунок і побудова графіка перехідного процесу в дискретній системі автоматичного управління сумарним напором маси. [53-62]

У відповідності із Технічними вимогами до побудови дискретної системи автоматичного управління сумарним напором маси дискретна Функція передачі замкнутої системи (4.6) має вид:

$$\Phi(z) = \frac{y_3(z)}{y_3^0(z)} = \frac{0,551}{1-0,449z^{-1}} z^{-5} \quad (4.15)$$

Якщо на задавальне діяння цієї автоматичної системи подати одиничне стрибкоподібне завдання, то вихідна змінна системи

$$y_3(z) = \frac{0,551}{1-1,449z^{-1}+0,449z^{-2}} z^{-5} \quad (4.16)$$

Поділивши чисельник на знаменник формули у (4.16) маємо наступне

$$y_3(z) = 0,551z^{-5} + 0,801z^{-6} + 0,908z^{-7} + 0,956z^{-8} + 0,982z^{-9} + 0,991z^{-10} + \cdots \quad (4.17)$$

У відповідності формули у (4.17) побудовано графік перехідного процесу в замкнутій системі, якщо на її задаване діяння подано одиничне стрибкоподібне діяння, рис. 4.2.

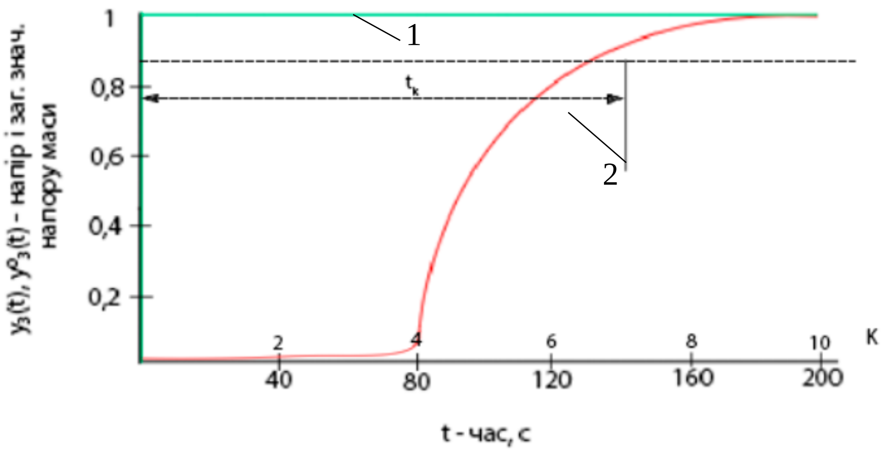

Рисунок 4.2 – Графік зміни загального напору маси (графік 2) в установці напором маси у разі одиничного стрибка задавального впливу (графік 1)

Аналіз графіка перехідного процесу приросту загального напору маси свідчить, що загальний напір маси плавно виходить на задане значення за час управління $t_K = 140$с із урахуванням допустимої зони управління (0,9 - 1,1).

Розрахунки і побудова графіку перехідного процесу в дискретній системі автоматичного регулювання загального напору маси. [63-64]

З метою розрахунку і побудови перехідного процесу в розглядуваній автоматичній системі (рис. 4.1) треба мати передавальну функцію системи щодо заданого збурення. У даному випадку дискретна Функція передачі щодо цього збурення

$$\Phi_f(z) = \frac{y_з(z)}{f(z)} = \frac{1}{1+g_{31}(z)D_1(z)}. \tag{4.18}$$

Нехай у якості регулятора загального напору маси використано дискретний регулятор Даліна типу ІІІ, який представлено передавальною функцією (4.7). Підставимо дискретні передавальні функції (4.7) і (4.13) у знаменник формули у (4.18). Тому як $a_з = 0{,}551$; $1 - a_з = 0{,}449$, а К=4, то

$$1 + g_{31}(z) \cdot D_1(z) = 1 + \frac{0{,}449 \cdot z^{-5}}{1-0{,}551z^{-5}-0{,}449z^{-5}}. \quad (4.19)$$

Підставимо формули (4.19) у формули (4.18). Тоді

$$\Phi_f(z) = \frac{y_з(z)}{f(z)} = \frac{1}{1+\frac{0{,}449 \cdot z^{-5}}{1-0{,}551z^{-5}-0{,}449z^{-5}}}. \quad (4.20)$$

У разі дії на розглядувану автоматичну систему одиничного стрибкоподібного збурювального діяння

$$f(z) = \frac{1}{1 - z^{-1}} \quad (4.21)$$

зображення вихідної змінної системи

$$y_3(z) = \frac{1 - 0{,}551z^{-1} - 0.449z^{-5}}{1 - 155z^{-1} + 0{,}551z^{-2}} \quad (4.22)$$

Поділивши чисельник на знаменник формули у (4.22), одержимо наступний односторонній ряд Лорана:

$$y_3(z) = z^0 + z^{-2} + z^{-3} + z^{-4} + 0{,}449z^{-5} + 0{,}201z^{-6} + \\ +0{,}081z^{-7} + \cdots \quad (4.23)$$

У відповідності до формули у (4.23) побудовано графік перехідного процесу в замкнутій системі, якщо на неї діє одиничне стрибкоподібне збурювальне діяння (рис. 4.3) 1

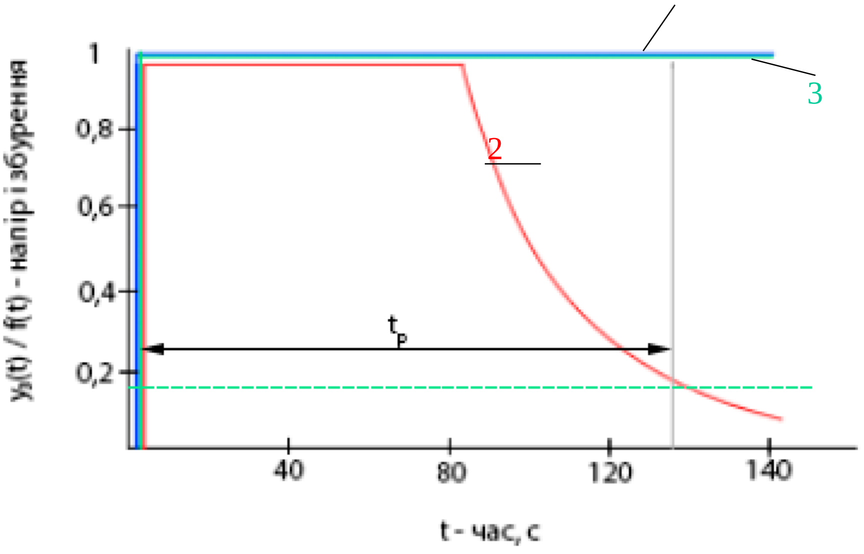

Рисунок 4.3 – Графік зміни загального напору маси (графік 2) у ДСАК напором маси у разі одиничного стрибка збурення (графік 1) та у разі вимкнення регулятора (графік 3)

Аналіз графіка перехідного процесу зміни загального напору маси свідчить, що загальний напір маси після нанесення вказаного збурення повертається до свого початкового стану за час регулювання $t_p = 140$с із урахуванням допустимої 10% зона регулювання (0-0,1). [65-70]

Розрахування і побудова графіка перехідного процесу в розімкнутій системі.

Якщо в дискретній системі автоматичного регулювання (рис. 4.1) вимкнути регулятор, а на систему буде діяти збурювальне діяння (4.21), то вихідна змінна система:

$$y_3(z) = z^0 + z^{-1} + z^{-2} + z^{-3} + z^{-4} + \cdots \tag{4.24}$$

У відповідності до формули у (4.24) побудовано графік перехідного процесу в незамкнутій системі, що відповідає дії одиничного стрибкоподібного збурювального діяння (рис. 4.3, графік 3).

Аналіз наведеного графік свідчить, що загальний напір маси, як і слід було очікувати, не повертається до свого початкового значення.

4.5 Висновки до четвертого розділу

Аналіз графіка перехідного процесу управління сумарним напором маси свідчить, що загальний напір маси входить в 10% допустиму зону управління (0,9 -1,1) за час управління $t_K \leq 140$с. Тож, система автоматичного управління сумарним напором маси за цим показником якості управління задовольняє поставлені до неї вимоги, тому як відповідно до із Вимогами до ДСАК $t_k^{доп}$ має бути меншим, ніж 200с.

Аналіз графіка перехідного процесу регулювання загального напору маси свідчить, що загальний напір маси входить в 10% зону регулювання (0-0,1) за час регулювання $t_p = 140$с. Тож, ДСАР сумарним напором маси за цим показником якості регулювання задовольняє поставлені до неї вимоги, тому як відповідно до із вимогами до ДСАР $t_k^{доп}$ має бути меншим, ніж 200с.

Якщо регулятор загального напору маси вимкнено чи він відсутній взагалі, то вихідна змінна системи не повертається до свого попереднього значення.

ВИСНОВКИ

Основним компонентом плоскорешітного верстата є притискна коробка із повітряною подушкою, від якої має залежність якість стабільного процесу насипання матеріалу на сітку такого верстата.

Цей тип резервуара під тиском є складною системою управління із трьома вихідними змінними (рівень маси на вході в камеру, маса повітряної подушки та загальний тиск маси у вихідному резервуарі) і двома вхідними змінними (маса, що подається в резервуар під тиском, споживання та споживання повітря подушок безпеки).

Динаміка напірної ємності із повітряною подушкою представлена системою лінійних диференціальних формулаів першого порядку, коефіцієнти яких визначаються відповідно до розрахункових розмірів напірної ємності та параметрів прийнятого процесу.

У камері тиску із повітряною подушкою як об’єктом управління вихідною змінною існує динамічний зв’язок між рівнем якості та тиском повітряної подушки тиск повітряної подушки та рівень якості Присутній як у перехідному, так і в усталеному режимах роботи коробки.

У разі підключення автоматичного регулятора до напірної ємності, що розглядається, метою є забезпечення стабільності рівня маси та загального тиску маси, при цьому вказане з’єднання в одних випадках відіграє позитивну роль, а в інших – негативну. У першому випадку вказані з’єднання створюють додаткові канали управління і тому можуть розглядатися як паралельні гілки еквівалентних авторегуляторів, у другому випадку вони функціонують як канали, через які заважаюча поведінка впливає на вихідні відповідні стабільні контурні змінні. Використання наведених вище співвідношень при проектуванні систем автоматичної стабілізації рівня маси та систем стабілізації загального масового тиску дозволяє вибрати більш прості, а отже, надійніші автоматичні регулятори. Ефект перехресного зв’язку може бути

значно посилений або послаблений зміною деяких конструктивних елементів або параметрів напірної ємності, зокрема вирівнюванням повітряного потоку черезподушку повітря або збільшенням об'єму повітряної подушки.

Автоматична система управління резервуарами під тиском із повітряними подушками, в яких рівень маси регулюється дією регулятора рівня маси на потік повітря, що подається на повітряну подушку, і стабілізує загальний тиск маси, яка подається в резервуар під тиском регулятор масового загального тиску Ефект масової витрати досягається і є оптимальним. У таку автоматизовану систему досить легко передавати сигнали від датчиків швидкості мережі.

У процесі проектування системи автоматичного управління напірним резервуаром із повітряною подушкою необхідно передбачити встановлення датчика рівня маси, загального тиску маси та витрати маси, що надходить у напірний бак, а також механізм регулювання, який виявляється можливим використовувати для зміни маси, що надходить у резервуар, і витрати повітря, що проходить через вихідний отвір. Наявність призначених засобів автоматизації дозволяє реалізувати систему автоматичного управління, за допомогою якої виявляється можливим переводити картонну машину із одного режиму роботи в інший.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Pirgac N.S. Application of mathematical simulation methods when selecting optimum parameters of stock inlet systems of paper and board machines // Papers 2nd International Conference on Iastrumentation and Automatic in the paper, Rubber and plastics Industries an IFAC – Conference – Brussels, 24-28 May 2001. P.7.3/1-7.3/8.
2. Lebeau B. Commande par calculateur numeriguc dune unite pilote de fabrication de papier // These de Docteur ingenier. Grenoble. 2001. – p. 253.
3. Cho H., Sanborn I.B. Headbox Control. Papers from the Fourth fundamental research Symposium. Papermaking system and their control. Oxford, September, 2009, p. 367 – 405.
4. Дубчак В. М. Вища математика в прикладах та задачах. Навчальний посібник / В.М.Дубчак, В.М.Пришляк, Л.І.Новицька. – Вінниця: ВНАУ, 2018. – 254 с
5. Харченко А.П. Вища математика в прикладах і задачах, частина I: Навчальний посібник / А.П.Харченко, В.О.Гаєвська, Г.В.Лисянська. – Х:НТМТ, 2017. – 194 с
6. Харченко А.П. Вища математика в прикладах і задачах, частина II: Навчальний посібник / А.П.Харченко, В.О.Гаєвська, Г.В.Лисянська. – Х:НТМТ, 2017. – 233 с
7. Вища математика: базовий підручник для вузів / В.С.Пономаренка. – Х.: Фоліо, 2016. – 669 с
8. Герасимчук В. С. Вища математика. Повний курс у прикладах і задачах / В.С.Герасимчук, Г.С.Васильченко, В.І.Кравцов. – К.: Книги України ЛТД, 2015. – 470 с
9. Практикум з вищої математики: Навчальний посібник / За ред. В.О.Коваля. – Ж: ЖДТУ, 2008. – 448 с

10. Вища математика. Загальний курс: Збірник задач та вправ. / А.Д.Тевяшев, О.Г.Литвин. URL: https://www.twirpx.com/file/277182/ (дата звернення 12.05.2021)

11. Вища математика. Збірник задач: Навчальний посібник / В.П.Дубовик. URL: https://issuu.com/erudytnet/docs/1dubovik_v_p_yurik_i_i_vishcha_mate (дата звернення 12.11.2024)

12. Коруд В.І., Електротехніка: Підручник / В.І. Коруд, О.Є. Гамола, С.М. Малинівський; За заг. ред. В.І. Коруда. – 3-є вид., переробл. і доп. – Львів: Магнолія Плюс, 2006. – 447 с.

13. Михайленко В.Є., Інженерна та комп’ютерна графіка: Підручник / В.Є. Михайленко, В.В. Ванін, С.М. Ковальов; За ред. В.Є. Михайленка. – 6-е вид. – К.: Каравела, 2012. – 368 с.

14. Титаренко М.В., Електротехніка: Навчальний посібник/ М.В. Титаренко. – К.: Кондор, 2013. – 240 с.

15. Будіщев М. С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка : Підручник / М. С. Будіщев. – Львів : Афіша, 2001. – 424 с.

16. Колонтаєвський Ю. П. Промислова електроніка і мікросхемотехніка / Ю. П. Колонтаєвський, А. Г. Сосков. під ред. А. Г. Соскова. – Вид. 2-ге, виправл. і доповн. – Харків : ХДАМГ, 2003. – 281 с.

17. Теорія електропривода : Підручник / [М. Г. Попович, М.Г. Борисик, В.А. Гаврилюк та ін.] ; за ред. М. Г. Поповича. – Київ : Вища шк., 1993. – 454 с.

18. Руденко В. С. Промислова електроніка / В. С. Руденко, В. Я. Ромашко, В. В. Трифонюк. – Київ : Либідь, 1993. – 432 с.

19. Костін М. О. Теоретичні основи електротехніки [Текст]: підручник у 3 т. / М. О. Костін, О. Г. Шейкіна. – Дніпро: Вид-во ДНУЗТ, 2006. – Т. 1. – 336 с; 2007.- Т.2.- 276 с; 2011. – Т.3, Ч.1. – 224 с; 2012.– Т.3, Ч.2. – 352 с.

20. Качан Ю. Г. Лінійна електротехніка (теоретичні основи) [Текст]: навч. посібник / Ю. Г. Качан.– Запоріжжя: Вид-во Запорізької держ. інж. академії, 1995. – 206 с.

21. Гуржій А. М. Електротехніка та основи електроніки : підручник для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти / А. М. Гуржій, С. К. Мещанінов, А. Т. Нельга, В. М. Співак. - Київ : Літера ЛТД, 2020. - 288 с.

22. Електрика та магнетизм : підручник / Л. Д. Дідух. - Тернопіль : Підручники і посібники, 2020. - 464 с. - Режим доступу : http://elartu.tntu.edu.ua/handle/ lib/31412..

23. Автоматика та електропривод техніки реєстрації інформації [Електронний ресурс] : навч. посіб. / Г. Г. Власюк, В. М. Співак, К. О. Трапезон, В. Б. Швайчен-ко. - Київ : Освіта України, 2010. - 159 с. - Режим доступу: http://ela.kpi.ua/ handle/123456789/19129.

24. Колонтаєвський Ю. П. Електроніка і мікросхемотехніка : підручник / Ю. П. Колонтаєвський. - Київ : Каравела, 2006. - 384 с.

25. Макаренко В. В. Цифрова та імпульсна схемотехніка. Моделювання та аналіз : навч. посіб. для студентів, які навчаються за напрямом підготовки «Акустотех-ніка» [Електронний ресурс] / В. В. Макаренко, В. М. Співак ; НТУУ «КПІ». -Київ : НТУУ «КПІ», 2015. - 314 с. - Режим доступу: https://ela.kpi.ua/ handle/123456789/19099.

26. Панчевний Б. І. Загальна електротехніка: теорія і практика / Б. І. Панчевний, Ю. Ф. Свергун. - 2-ге вид. - Київ : Каравела, 2004. - 440 с.

27. Воробйова О. М. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. / О. М. Воробйо- ва, Ю. В. Флейта. - Одеса : ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2018. - 208 с.

28. Бойко В. І. Мікрокомп'ютерна техніка / В. І. Бойко, А. Т. Нельга. - 2-ге вид. - Київ : Науково-методичний центр вищої освіти, 2008. - 254 с.

29. Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, Ю.М. Лавріненко,

О.С. Марченко, Д.Г. Войтюк; За ред. Є.Л. Жулая. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.: іл.

30. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник /Барало О.В., Самойленко П.Г.,Гранат С.Є., Ковальов В.О. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.

31. Експлуатація машин і обладнання: Навчальний посібник / Ружицький М.А., Рябець В.І., Кіяшко В.М. та ін. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 617 с.

32. Матвійчук А. Я. Електротехніка: навчально-методичний посібник/ Матвійчук А. Я., В. Л. Стінянський; Вінницький державний педагогічний університет ім. М.Коцюбинського.– Вінниця, 2017. -270 с.

33. Загальна електротехніка з основами автоматики: Навчальний посібник / Т.В.Левченко. – К., 2010. – 358 с.

34. Технічний сервіс в агропромисловому комплексі: навчальний посібник / Коновалюк О.В., Кіяшко В.М., Колісник М.В. – К.: Аграрна освіта, 2013. – 404 с.

35. Електричні машини і апарати: навчальний посібник / Ю.М. Куценко,В.Ф. Яковлєв та ін. – К.: Аграрна освіта, 2011. – 449 с.

36. Електроніка та мікросхемотехніка: Навчальний посібник / За ред. проф. В.Ф. Яковлєва. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 329 с.

37. Паначевний Б.І., Свергун Ю.Ф. Загальна електротехніка: теорія і практикум. - К.: Каравела, 2003. – 440 с.

38. Монтаж електрообладнання і систем керування / За заг. ред. проф. Яковлєва В.Ф. – К.: Аграрна освіта, 2009. – 348 с.

39. Довідникова книга з електроенергетики: навчальний посібник/ П.В. Волох, М.П. Цоколенко, Л.В. Ревенко, В.А. Грічаненко та ін. –К. : Аграрна освіта, 2014. – 506 с.

40. Електроніка і мікропроцесорна техніка / Сенько В.І., Лисенко В.П., Юрченко О.М., Лукін В.Є., Руденський А.А. — К. : «Агроосвіта», 2015. — 676 с.

41. Електропостачання агропромислового комплексу :підруч. / Козирський В.В., Каплун В.В., Волошин С.М. – К. : Аграрна освіта, 2011. – 448 с.

42. Ремонт машин та обладнання : підручник / [Сідашенко О.І. та ін.].; за ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. – К. : Агроосвіта, 2014. – 665 с.

43. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва : підруч. у 2 т : Т 1 / А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін. ; за ред. А.В. Рудя. – К. : Агроосвіта, 2012. – 584 с.

44. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва : підруч. у 2 т : Т 2 / А.В. Рудь, І.М. Бендера, Д.Г. Войтюк та ін. ; за ред. А.В. Рудя. – К. : Агроосвіта, 2012. – 434 с.; іл.

45. Комп’ютери та комп’ютерні технології : навч. посіб. Ч. 1. Програмування в математичному пакеті MathCAD / В.П. Лисенко. І.М. Болбот. – К. : Аграрна освіта, 2010. – 229 с.

46. Костинюк Л.Д. Моделювання електроприводів/ Л.Д. Костинюк, В.І. Мороз, Я.С Паранчук.. - Львів: НУ “Львівська політехніка”, 2004. - 404 с.

47. Ткачук В.І. Електромеханотроніка. Підручник/ В.І. Ткачук. - Львів: НУ “Львівська політехніка”, 2006. - 440 с.

48. Мілих В.І. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка : підручник / В.І. Мілих, О.О. Шавьолкін; за ред. В.І.Мілих. – Київ : Каравела, 2012. – 688 с.

49. Мілих В.І. Електротехніка та електромеханіка / В.І. Мілих. – Київ :"Каравела", 2006. – 376 с.

50. Андрієнко В.М. Електричні машини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навч. за напрямом підгот. «Електротехніка та електротехнології» / В.М. Андрієнко, В.П. Куєвда. – К. : НУХТ, 2010. – 366 с.

51. Загірняк М.В. Електричні машини : підручник / М. В. Загірняк, Б. І. Невзлін. – Київ : Знання, 2009. – 399 с.

52. Електричні машини : підручник / Б.Т. Кононов, Г.І. Лагутін, О.Б. Котов та ін.; за заг. ред. Б.Т. Кононова. – Харків : ХУПС, 2015. – 493 с.

53. Яцун М.А. Електричні машини : навч. посіб. для студ. базового напряму «Електромеханіка» / М.А. Яцун – 2-ге вид., стер. – Львів : Видво Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2004. – 440 с.

54. Вольдек А.И. Электрические машины / А.И. Вольдек – Л. : Энергия, 1974. – 840 с. 11. Кацман М.М. Электрические машины : учеб. для студентов сред. проф. учебных заведений / М.М. Кацман - 3-е изд., испр. – М. : Высшая школа, 2001. – 463 с.

55. Щерба А.А., Поворознюк Н.І. Електротехніка. Частина І. Електричні кола.: Посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Київ: ТОВ "Лазурит-Поліграф", 2011. – 384 с.

56. Бойко В. С., Бойко В. В., Видолоб Ю. Ф. та ін. Теоретичні основи електротехніки. Підручник: У 3 т.; Т. 1: Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. – К.: ІВЦ "Видавництво «Політехніка»", 2004. – 272 с.

57. Бойко В. С., Бойко В. В., Видолоб Ю. Ф. та ін. Теоретичні основи електротехніки. Підручник: У 3 т.; Т. 2: Перехідні процеси у лінійних електричних кіл із зосередженими параметрами. – К.: ІВЦ "Видавництво «Політехніка»", 2008. – 224 с.

58. Петренко І.А. Основи електротехніки та електроніки: Навч. посібник для дистанційного навчання: у 2 ч. – Ч.1: Основи електротехніки. – К.: Університет «Україна», 2006. – 411с. Ч.2: Основи електроніки. – К.: Університет «Україна», 2006. – 307 с.

59. Малинівський С.М. Загальна електротехніка. – Львів: Видавництво Національного ун-ту “Львівська політехніка”, 2001. – 594 с.

60. Електротехніка та електроніка. Теоретичні відомості, розрахунки та дослідження за підтримкою комп’ютерних технологій: Навчальний посібник. / А.А. Щерба, В.М. Рябенький, М.Є. Кучеренко, К.К. Побєдаш. В.І. Чибеліс, А.Т. Кінаш, Л.В. Солобуто: За заг. ред. А.А. Щерби та В.М. Рябенького. – К.: «Корнійчук», 2007. – 488 с.

61. Васильєва Л.Д., Медведенко Б.І., Якименко Ю.І. Напівпровідникові прилади: Підручник. – К.: ІВЦ, “Видавництво «Політехніка» ”, 2003. – 388 с.

62. Електроніка і мікросхемотехніка: Підручник для студентів вищ. закл. освіти у 4-х т. Під ред. В. І. Сенька. – Т.1: Елементна база електронних пристроїв. – К.: ТОВ “Видавництво Обереги”, 2000.– 300 с.

63. Навчально-методичний посібник з курсу “Електротехніка”. Розділ “Розрахунок лінійних кіл постійного струму” / укл. Щерба А. А., Грудська В. П., Спінул Л.Ю - К.: ІВЦ «Політехніка».- 2004.

64. Навчально-методичний посібник з курсу “Електротехніка”. Розділ “Розрахунок лінійних кіл однофазного синусоїдного струму” / укл. Щерба А.А.,Грудська В. П., Спінул Л.Ю. - К.: ІВЦ «Політехніка».- 2004.

65. Навчально-методичний посібник “Взаємна індукція у колах змінного струму ”. / укл. Щерба А.А., Грудська В. П., Чибеліс В.І., Спінул Л.Ю. - К.: ВПЦ «Політехніка».- 2006.

66. Розрахунок електричних кіл постійного струму. Навчальне видання. / Уклад.: І.А. Курило, І.Н. Намацалюк, А.А. Щерба. – К.: НТУУ “КПІ”, ФЕА, 2006. – 51 с.

67. Розрахунок електричних кіл синусоїдного однофазного струму. Методичні вказівки до виконання розрахункових робіт. / Уклад.: І.А. Курило, І.Н. Намацалюк, А.А. Щерба. – К.: НТУУ “КПІ”, 2004. – 82 с.

68. Методичні вказівки до лабораторних робіт з теоретичних основ електротехніки: цикл 1./ Укл. А.А. Щерба, В.С. Бойко, В.І. Чибеліс, І.А. Курило.– К., НТУУ "КПІ", 2008. – 28 с.

69. Методичні вказівки до лабораторних робіт з теоретичних основ електротехніки: цикл 2./ Укл. А.А. Щерба, В.С. Бойко, В.І. Чибеліс та інші. – К., НТУУ "КПІ", 2008. – 36 с.

70. Метельский В.П. Електричні машини та мікромашини/ В.П. Метельский. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2001. – 600 с.

Додаток А
Стаття у фаховому журналі (подана до редакції «Вісник Хмельницького національного університету»)

УДК 681.621.53
DOI:

ФОРКУН Ірина
Хмельницький національний університет
hhttps://orcid.org/0000-0002-4588-6349
ivforkun@khmnu.edu.ua
МАКАРИШКІН Денис
Хмельницький національний університет
https://orcid.org/0000-0003-3447-811X
makaryshkinde@khmnu.edu.ua
ТКАЧУК ВАСИЛЬ
Вінницький технічний фаховий коледж
ГАДЖУК Я.І.
Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСОБІВ ТА МЕТОДІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА КАРТОНУ

Проведено дослідження технологічної схеми та системи автоматичного виготовлення картону та складових системи. Визначено основні задачі виготовлення картону. Описано основні етапи роботи технологічного обладнання і системи автоматичного регулювання і контролю, що забезпечують якість виготовлення готової продукції. Показано, що для покращення якості виготовлення картону, необхідно удосконалювати як схемні рішення так більш точно настроювати технологічні параметри системи.

Ключові слова: картон, довгосіткова картоноробна машина, напірний ящик, система керування.

FORKUN Iryna, MAKARYSHKIN Denys, TKACHUK Vasyl, HAJUK Y.I.
Khmelnytsky National University

STUDY OF MEANS AND METHODS OF AUTOMATED CONTROL OF CARDBOARD PRODUCTION

The technological scheme and system of automatic cardboard production and components of the system were studied. The main tasks of cardboard production were determined. The main stages of the technological equipment and the automatic regulation and control system that ensure the quality of the finished product are described. It is shown that to improve the quality of cardboard production, it is necessary to improve both the circuit solutions and more precisely adjust the technological parameters of the system.

Keywords: cardboard, long-wire cardboard machine, pressure box, control system.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Виготовлення картону є важливою галуззю папероробних виробництв. Картон застосовується у багатьох сферах людського життя: пакування продуктів харчування та промислових товарів, декоративно-прикладні задачі, поліграфія, живопис, дитячі іграшки тощо. Тому швидкості і якості виготовлення картону необхідно приділити особливу увагу. Потрібно дослідити технічні характеристика картону, встановити особливості картоноробних машин, та вказати напрямки покращення систем автоматизації цих машин, для покращення виробничих спроможностей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Картон — це твердий аркуш матеріалу вагою понад 250 г/м², за класифікацією колишнього СРСР його товщина 0,3-5 мм і більше. За кордоном мінімальна вага 1 м² картону становить 150-200г.

За поширеною раніше в Україні класифікацією картон поділяють на групи: пакувальний, поліграфічний, офісний, електроізоляційний, будівельний, покрівельний, гідроізоляційний, підкладковий, декоративно-оббивний, фільтрувальний, текстильний, взуттєвий.

Сировиною, необхідною для виробництва картону, є в основному продукти напівфабрикату з більш грубих волокон, ніж для виробництва паперу: коричнева деревна маса, целюлоза, яка є напівпористою, макулатура. Картон складається з попередньо підготовленої (подрібненої, іноді склеєної, наповненої та розфарбованої) маси на машинах для картону, які часто бувають плоскими або циліндричними, а також на машинах, які приймають окремі аркуші води. Листи формують на гідравлічних пресах, які притискають, сушать в каналах, стрічках та інших пристроях, що сушать, глазурують і ущільнюють на каландрах, сортують і пакують.

Завдання стосується створення атмосферостійкого картону (крафт-картон, лайнер). Це складний картон, з якого виготовляють коробки, з яких виготовляють контейнери. Він стійкий до впливу вологи при зберіганні контейнерів, які можуть переміщатися на великі відстані. Він складається з сульфатованої целюлози, яка склеєна смолою.

Машина для виробництва картону - це машина, яка виробляє безперервний лист картону вагою до 1200 г/м². Основні різновиди картонажних машин: плоскосітчасті, круглосітчасті, багатоциліндрові та комбіновані. Машини для картону з плоским екраном підходять для виробництва одно- або багатошарових карток вагою до 500 г/м². [1, 2]

Формулювання цілей статті

Метою статті провести ґрунтовний аналіз існуючих пристроїв виробництва картону, а також особливу увагу приділити засобам автоматизації, що застосовану у даних машинах. На основі отриманих досліджень запропонувати напрямки покращення систем автоматичного контролю та керування.

Виклад основного матеріалу

Типова принципова діаграма типової картонної машини з плоскою сіткою з двома контейнерами під тиском зображена на рисунку 1.

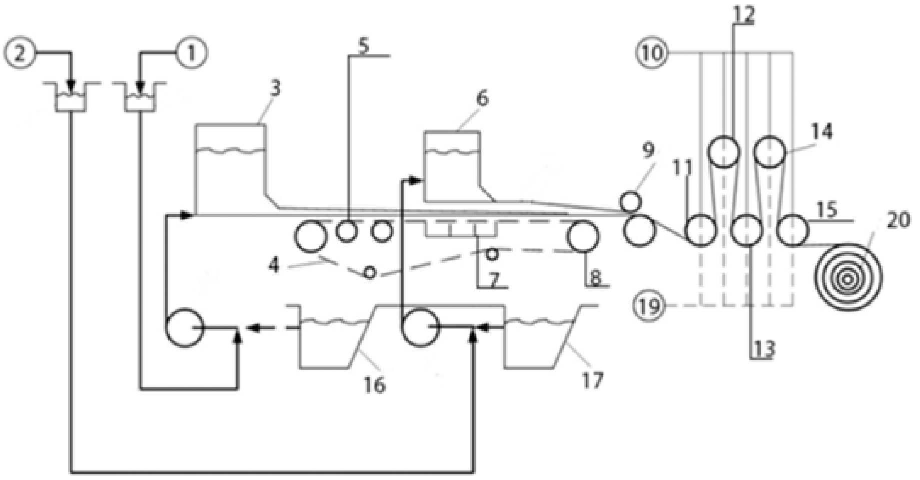

Рис. 1. Принципова схема типової плоскосіткової картоноробної машини із двома напірнми ящиками:
1 – трубопровід маси 1-го шару; 2 – трубопровід маси 2-го шару; 3 – перший напірний ящик; 4 – сітка; 5 – регістрові валики; 6 – другий напірний ящик; 7 – відсмоктуючі ящики; 8 – гауч-вал; 9 – пресова частин; 10 – трубопровід пари; 11 – попередня сушильна група; 12 – перша сушильна група; 13 – друга сушильна група; 14 – третя сушильна група; 15 – четверта сушильна група; 16 – 18 – водовідділювачі; 19 – накат

Розбавлена і спеціально розшарована маса (малої концентрації) 0,5% подається по трубопроводу в перший напірний бокс ємністю 1, з якого через вихідний патрубок цього ящика витікає в сітку. Ця коробка заповнена роликами реєстратора 5 і коробками всмоктування 7. Нескінченна сітка відповідає за функцію швидкохідного фільтра. Тонкий шар волокна відразу осідає на сітці, а потім сам служить тонким фільтром, який призупиняє волокна. На ділянці регістра волокниста суспензія знижується до концентрації 0,4-2,0%, іноді менше.

Друга барокамера 6 призначена для розливання розчину розведеної маси з концентрацією 0,7% на вже сформований перший шар двошарового картону. Ця барокамера знаходиться під всмоктувальними ящиками № 7. Отримане картонне полотно сушиться на цих ящиках до 8-10% за рахунок підвищення міцності вакууму вздовж картонного полотна в діапазоні від 5-25 до 10-300 мм рт.ст. і ковзайте в стрижень дивана. Сучасні плоскоекранні картонні машини використовують всмоктувальні шари, ці шари зневоднюються за допомогою всмоктувальної камери, яка має тиск 600-650 мм рт.ст. Сухість картонного полотна після крейдування 18-22%. [3, 4]

На машинах, які ріжуть зі швидкістю 400-450 м/год і не мають автоматичного переміщення аркуша картону з сітки на полотно першого преса, сітка охоплює вал кушетки і повертається до скрині по кількох сітках. ролики, які керуються GPS. Привід — одноциліндровий двигун; всі інші компоненти двигуна, які є частиною сітчастої частини машини, мають власні ротори. На сучасних високошвидкісних картоноробних машинах, які, як правило, оснащені вакуумними відсмоктувачами, крім валу кушетки, приводом також є первинний вал сітки. Вода, яка проходила через сітку машини (вода, яка називається циркулюючою водою), мала в собі волокна, вона потрапляла у ванну з підсіткою та повторно використовувалася для розведення основної маси високої концентрації, яка подавалася до змішувача.

Після проходження сітчастої частини сформований картонний лист досягне пресової частини машини № 9, ця частина містить кілька пресів, які послідовно зневоднюють лист до сухості 27-40%. Як правило, прес має два однакових за розміром вала, нижній є приводним. На машинах, які використовують всмоктування для ущільнення картону, полотно зневоднюється під дією розрідження у всмоктувальних камерах, а також за рахунок тиску між валами. Всмоктувальні камери з'єднані з вакуумною системою типу Sulzer. На звичайних (невсмоктуючих) пресах картон зневоднюється тільки тиском між валами. Між притискними роликами простягається тканина, яка ніколи не зупиняється, на цій тканині розташоване картонне полотно.

Сітчасті та пресові частини машин називаються вологою частиною картонної машини з плоскими сітками. Він може мати як один, так і два насосних механізми. Із загального об'єму води, видаленої з картонного полотна на машині, 94-96% видаляється з сітчастої частини, а 3-4% - з пресової частини. Подальше зневоднення (сушіння) картону здійснюється в сушильній частині машини.

Частина сучасної машини для плоского картону, яка передбачає сушку, складається з тонкостінних чавунних циліндрів, які нагріваються зсередини за допомогою трубопроводу довжиною 10 дюймів. Вони організовані в шаховому форматі, зазвичай у два яруси. Вологий аркуш картону проходить через сушильні циліндри, торкаючись спочатку нижніх, потім верхніх циліндрів, то однієї поверхні, то іншої. Щоб сприяти більшій взаємодії між циліндрами та картонним полотном, а також покращити процес наповнення полотна після його пошкодження, у сушильній частині машини, яка покриває циліндри, використовуються висушені тканини. Загалом ці тканини мають 180 градусів покриття. Тканина частково відповідає за воду, яка випарувалася з картонного полотна. Для відводу цієї води з полотен встановлені циліндри для сушіння; ці циліндри схожі на ролики, які направляють полотна, вони також обертаються разом з полотном. Вологість аркуша картону після висихаючої частини досягає 92-95%, а температура 80-95°C. Конденсат з попереднього процесу сушіння та першого процесу 12 сушіння обидва вводяться в перший водяний сепаратор 16, додатково конденсат з другого процесу сушіння 13 вводиться в другий водовіддільник 17. Крім того, він отримує конденсат з четвертого Сушильний клан 15. Зрештою, конденсат третього процесу сушіння 14 надходить у третій водорозподільник 18.

Водовіддільник являє собою вертикальну ємність діаметром 800-1000 мм і висотою 1500-2000 мм циліндричної форми. Потім суміш пари та конденсату подається до верхньої частини цього циліндра та перетинає перегородку, прикріплену до кришки, яка знаходиться приблизно посередині циліндра. Тиск в

циліндрах менше тиску суміші пари і конденсату, тому з них виділяється вторинна пара, яка разом з парою, що виділяється з конденсату, пропускається через сопло, розташоване у верхній кришці циліндра. сепаратор води. Це призводить до того, що вода відділяється від інших рідин. Водовіддільники мають пневматичні механізми контролю рівня конденсату прямої дії. Ці контролери постачаються разом з картонною машиною.

Основне обладнання картоноробної машини з плоскими сітками, яка призначена для виробництва, наприклад, двошарового картону, складається з двох пресових коробок, які окремо піддаються тиску: перша пресувальна коробка, яка створює перший шар, і друга пресувальна камера коробка, яка створює другий шар (покриття). Вони мають унікальні атрибути та різні структурні конструкції.

Схема барокамери з повітряною подушкою, призначеної для створення першого шару двошарового картону, зображена на рис.1.2.

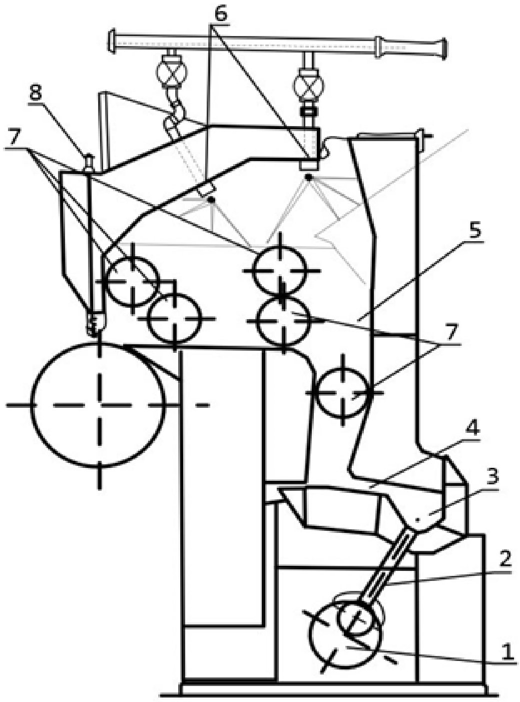

Рис. 2. Конструктивна схема напірного ящику з повітряною подушкою, призначеного для формування першого шару двошарового картону (приводний бік):

1 – конусний потокорозподілювач; 2 – патрубки (24 шт.); 3 – турбулентна камера; 4 – вузька щілина; 5 – напускна камера; 6 – випускальна щілина; 7 – перфоровані валики; 8 – пристрій для тонкого регулювання висоти (профілю) випускальної щілини; 9 – спорски.

Маса розбавляється першим насосом і далі подається в конічний розподільник 1, який веде в турбулентну камеру 3 через 24 сопла і вхідну камеру 5 через вузьку щілину 4. У цій конфігурації розміщені 5 перфорованих роликів 7. З камери, в яку надходить маса, вона 6 разів протікає через вихідний отвір і потрапляє на решітку машини. Підйом вихідного отвору в горизонтальному напрямку змінюється переміщенням верхньої губки, пов'язаної з пристроєм, для точного налаштування висоти випускного отвору. Точне значення висоти розетки можна визначити за шкалою, розташованою над верхньою кромкою розетки. Для видалення піни з поверхні маси заливної камери через шпори нагнітають воду до 9.

Перфоровані ролики в цій барокамері мають різні швидкості обертання: у турбулентній камері вони складають 8 об/хв; в центрі камери вони становлять 25 об/хв. Руху перфорованих роликів сприяють окремі колектори. [3, 4]

Проведемо аналіз існуючих систем автоматичного керування процесом формування картонного полотна на сітці плоскосіткової картоноробної машини.

Принципова схема системи, яка керує процесом формування двошарового картону з двома притискними коробами, проілюстрована на рис.3.

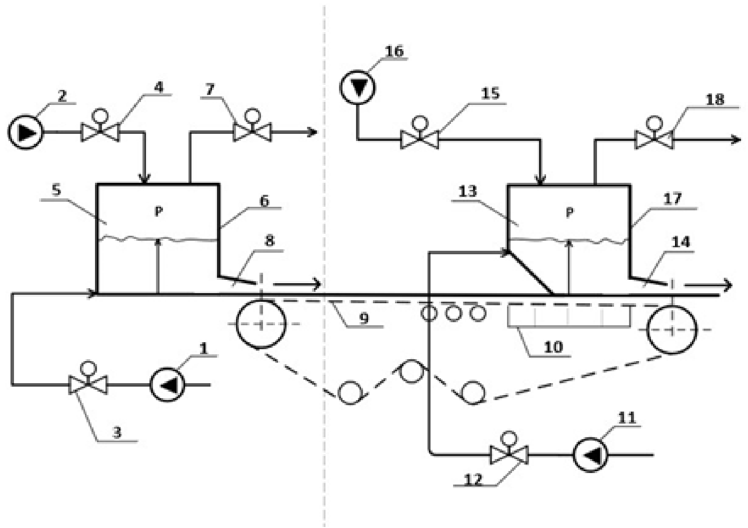

Рис. 3. Система автоматичного керування процесом формування полотна картону на сітці плоскосіткової картоноробної машини з двома напірними ящиками:

1 і 11 – 1-й і 2-й змішувальні насоси; 2 і 16 – 1-й і 2-й компресори; 3,4,12 і 15 – регулювальні органи; 5 і 13 – напускні камери; 6 і 17 – повітряні подушки; 9 – сітка; 10 – відсмоктуючі ящики; 19 і 20 – труби Хорнбостела;

Основна маса низькоконцентрованої маси, призначеної для створення 1-го шару картону, подається 1-м насосним механізмом 1 через регулюючий орган 3 у вхідну камеру 5, а більша частина маси (близько 90%) буде потік через вихідний отвір 8 до нескінченної сітки 9. Близько 10% загального об'єму проходить через так звану трубу Hornbostel (контролер Hornbostel) 19 на вхід 1-го насоса. Повітря, яке всмоктується компресором, подається через корпус, який регулює потік, у повітряну подушку, потім через трубу Hornbostel у навколишнє середовище.

Друга напірна коробка; цей ящик призначений для розливу маси на шар, утворений за допомогою першого напірного ящика, він розміщений на 10 дюймів над всмоктувальними ящиками. Розведена маса призначена для другого (покривного) шару картону, подається другим насосом 11 через регулюючий орган 12 в наповнювальну камеру 13. Звідти надходить більша частина маси (близько 95%). через випускний отвір 14 в перший шар картону, сформований на сітці. Менша частина загальної маси (близько 5%) направляється через трубу Hornbostel на вхід другого насоса потужністю 11. Повітря, яке стискається компресором 16, проходить через регулюючий орган 15 і закачується в повітряну подушку, потім вона залишає подушку через трубу Hornbostel 20 у навколишнє середовище. [3, 4]

Розглянемо системи автоматичного керування напірним ящиком з двома аналоговими регуляторам.

Комбінований тиск маси в зоні нагнітання напірної камери.

$$H = h + mP, \tag{1}$$

де h - загальний об'єм вхідної камери; P - тиск повітряної подушки;

м — відношення тиску води до її об'єму в кПа.Ст.

Визнано, що для запобігання флокуляції та осідання волокон у вхідній камері об'єм не повинен перевищувати 1 метр. Ст.. Якщо картонна машина працюватиме зі швидкістю, скажімо, 600 м/год, загальний тиск маси становив би 5,1 м вод. ст. В результаті в повітряній подушці за допомогою компресора необхідно створити додатковий тиск 0,41 кПа (або 4,1 м вод. ст.).

Аналіз вираження у (1) демонструє, що стабілізація рівня маси та загального тиску маси теоретично може бути здійснена за допомогою двох автоматичних регуляторів, які регулюють тіла, що змінюють потік маси та повітря, ці регулятори поставляються разом із комплексним об'єктом. Оскільки ми маємо три вихідні

змінні та дві керуючі дії, теоретично можна створити шість різних варіантів автоматичного керування коробкою тиску.

Автоматичний напірний ящик з масовим рівнем і регулятором тиску повітря, принципова схема якого зображена на рисунку 4. описана нижче.

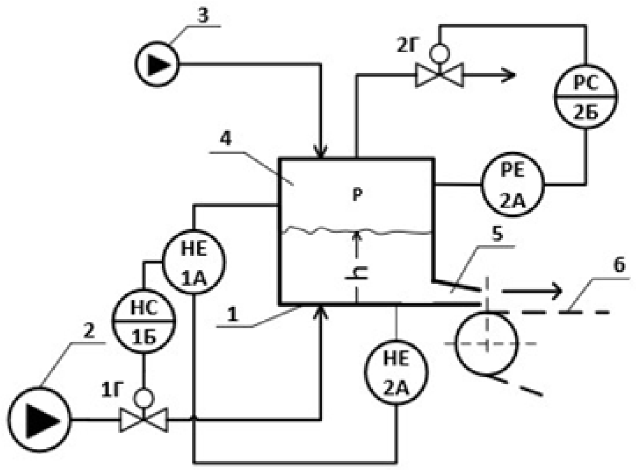

Рис. 4. Принципова схема системи автоматичного керування напірним ящиком, реалізованої на базі аналогових регуляторів рівня маси і тиску повітря (варіант I):

1 – напускна камера; 2 – змішувальний насос; 3 – компресор; 4 – повітряна подушка; 5 – випускна щілина; 6 – сітка

У цій конструкції об'єм маси вимірюється датчиком об'єму 1А, сигнал 3 якого подається на автоматичний регулятор об'єму 1В, останній змінює положення регулюючого органу 1G, що відповідно змінює потік маси в камеру. 1, а потім через нагнітальний отвір 5 на сітку 6. Тиск повітряної подушки оцінюється датчиком тиску 2А, сигнал від якого надходить на автоматичний регулятор тиску 2В, який регулює рух регульованого корпусу 2G, і, як наслідок, потік повітря в подушку 4 контролюється компресором 3. В результаті очікується, що якщо маса та рівень тиску повітряна подушка підтримується постійною відповідно до виражения у (1), загальний тиск маси, що витікає з неї, буде стабільним. [5-7]

Наступним розглянемо автоматичний напірний ящик з масовим рівнем і регулятором тиску повітря. Принципова схема системи автоматичного керування напірної камери з масовим рівнем і регулятором тиску повітря зображена на рисунку 5.

У цій системі сигнал від датчика рівня 1А передається на автоматичний регулятор рівня 1В, який своєю керуючою дією змінює положення регульованого корпусу 1G, в результаті чого змінюється потік повітря в подушці. Сигнал від датчика тиску 2А є входом до автоматичного регулятора тиску 2В, який за допомогою своєї керуючої дії змінює потік маси, що подається в напірну коробку за допомогою регулюючого органу 2G.

Проаналізуємо автоматичний контроль тиску в напірній камері за допомогою регулятора рівня маси та загального тиску маси. Принципова схема автоматичної системи регулювання тиску коробки з регулятором масового рівня та загального масового тиску (варіант III) зображена на рисунку 6.

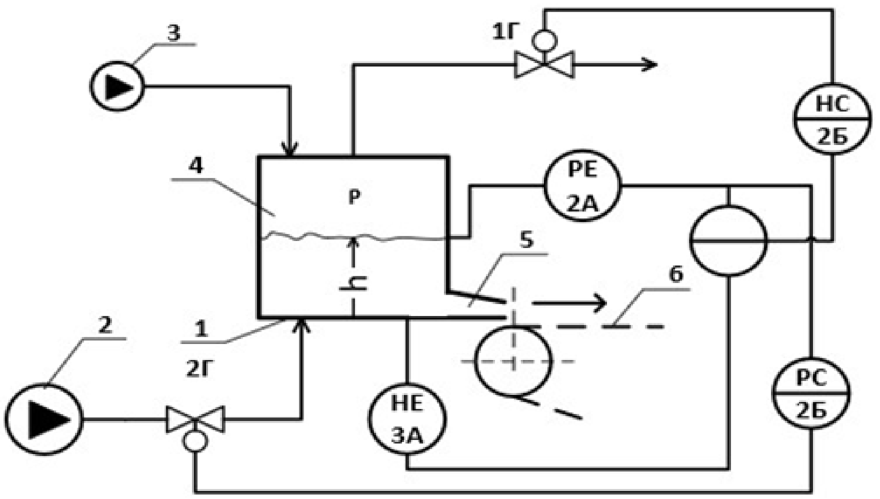

Рис. 5. Принципова схема системи автоматичного керування напірним ящиком, реалізованої на базі аналогових регуляторів рівня маси і тиску повітря (варіант II):
1 – напускна камера; 2 – змішувальний насос; 3 – компресор; 4 – повітряна подушка; 5 – випускальна щілина; 6 – сітка

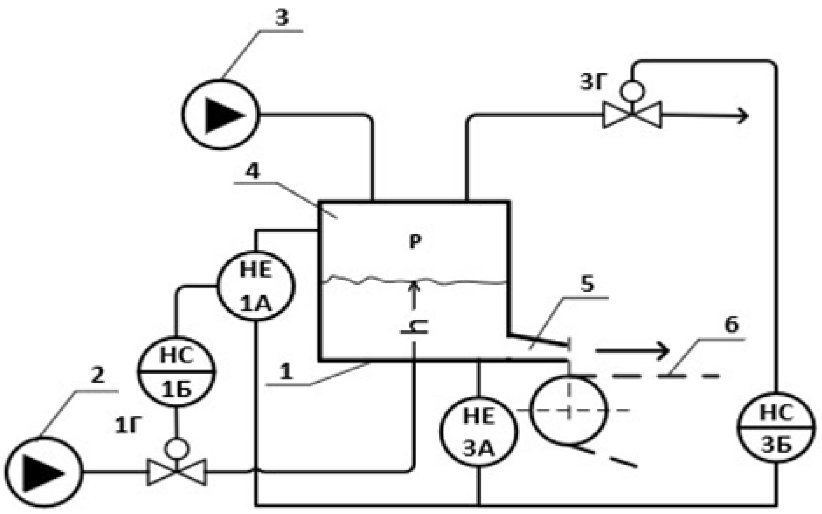

Рис. 6. Принципова схема системи автоматичного керування напірним ящиком, реалізованої на базі аналогових регуляторів рівня маси і сумарного напору маси (варіант III):
1 – напускна камера; 2 – змішувальний насос; 3 – компресор; 4 – повітряна подушка; 5 – випускальна щілина; 6 – сітка

У цій системі датчик тиску загального тиску маси 3A видає сигнал, який надсилається на автоматичний контролер загального тиску маси 3B, цей контролер впливає на положення тіла 3Г, який, в результаті, змінює потік повітря з коробки в навколишнє середовище. На виході датчика рівня маси 1A формується сигнал, який надходить на автоматичний регулятор рівня маси 1B, цей сигнал контролює положення регулюючого органу 1G, який, як наслідок, впливає на потік маси до входу в камеру.

Дослідимо автоматичний контроль тиску напірної камери за допомогою регулятора тиску повітря та загального тиску маси. Принципова схема автоматичної системи керування напірною камерою з регулятором тиску як повітря, так і загальної маси (варіант V) зображена на рисунку 6.

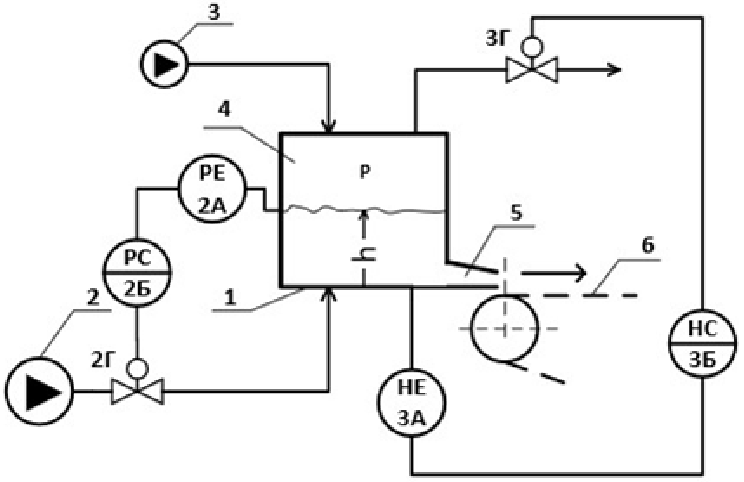

Рис. 6. Принципова схема системи автоматичного керування напірним ящиком, реалізованої на базі аналогових регуляторів тису повітря і сумарного напору маси (варіант V):

1 – напускна камера; 2 – змішувальний насос; 3 – компресор; 4 – повітряна подушка; 5 – випускальна щілина; 6 – сітка

У цій системі датчик тиску загальної маси 3А видає сигнал на автоматичний регулятор загальної маси 3В, цей контролер діє на положення корпусу 3G, який за допомогою свого керування змінює потік повітря в навколишнє середовище від подушка безпеки. Датчик тиску повітря 2А з'єднаний з автоматичним регулятором тиску 2В, який, у свою чергу, з'єднаний з масовим витратоміром 3. [5-7]

Принципова схема автоматичної системи керування напірною коробкою з регуляторами тиску повітря та регулятором загального тиску (Варіант VI) зображена на рисунку 7.

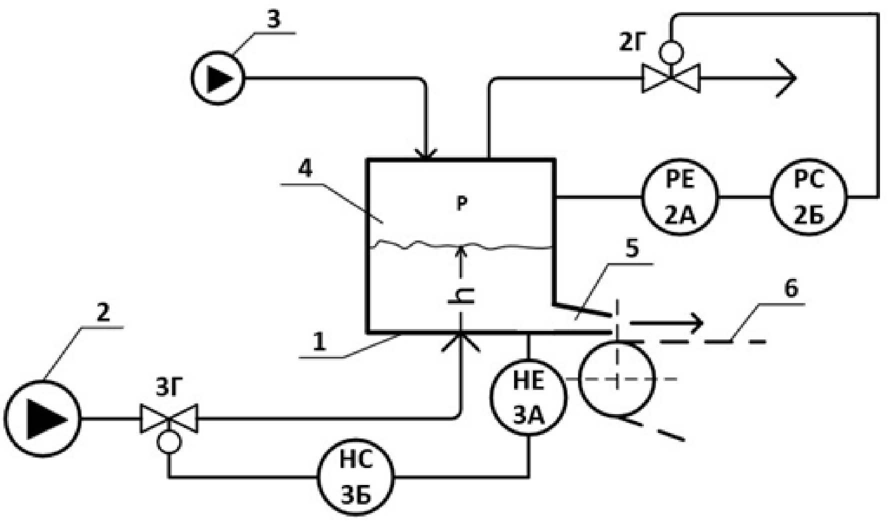

Рис. 7. Принципова схема системи автоматичного керування напірним ящиком, реалізованої на базі аналогових регуляторів тиску повітря і сумарного напору маси (варіант VI):

1 – напускна камера; 2 – змішувальний насос; 3 – компресор; 4 – повітряна подушка; 5 – випускна щілина; 6 – сітка

У цій системі датчик масового тиску 3А виробляє сигнал, який надсилається на автоматичний регулятор тиску маси 3В, який своєю керуючою дією змінює положення тіла 3G, що, як наслідок, змінює швидкість потоку маси, яка подається на вхід камери. Датчик тиску повітря 2А пов'язаний з автоматичним контролером тиску 2G, який, таким чином, призводить до повітряного потоку, який залишає середовище подушки в атмосферу.

Унікальною характеристикою автоматизованих напірних боксів є так званий краплеподібний клапан з дистанційним керуванням.

Краплеподібний клапан складається з корпусу, який виконує функцію регулюючого механізму, і пневматичного двигуна. Вся картонна маса практично повністю пропускається через подрібнювач, і лише невеликий її відсоток фактично пропускається через корпус, який регулює потік. Подрібнювач з'єднаний з корпусом, який паралельно регулює потік краплеподібним клапаном. Цьому допомагає керуючий орган, який визначає автоматизований потік маси в барокамеру.

Витрата зазначеної маси точно регулюється корпусом, який встановлений на байпасі.

Об'єм маси, яка проходить через краплеподібний клапан, регулюється таким чином, щоб RO, який знаходиться на байпасі та контролюється автоматичним регулятором тиску, завжди знаходився в середині діапазону та міг компенсувати відхилення маси. що подається в напірну камеру в тому чи іншому напрямку.

Дроселювання в зрівняльній (турбулентній) камері регулюється гвинтами, розташованими на торцях камери. Ступінь обмеження можна змінювати за допомогою унікальної шкали.

Висота виходу змінюється шляхом регулювання верхньої кромки вхідного отвору за допомогою унікального пневматичного механізму або унікальної механічної системи. Значення висоти отвору розвантажувальної щілини можуть бути безпосередньо отримані з масштабів, які демонструють підйом і обертання верхньої розвантажувальної кромки. Перфоровані ролики і більший ролик в середині самого ящика - по 25 об/хв; перфоровані ролики перед розвантажувальним отвором складаються з 5-25 об./хв. Руху останнього сприяє окремий електродвигун, який збирає енергію.

У розглянутій камері тиску, як правило, маса камери наповнення та тиск повітряної подушки автоматично змінюються за допомогою відповідних автоматичних регуляторів. [5-7]

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Проведено дослідження технологічної схеми та системи автоматичного виготовлення картону та складових системи. Описано основні етапи роботи технологічного обладнання і системи автоматичного регулювання і контролю, що забезпечують якість виготовлення готової продукції. Показано, що для покращення якості виготовлення картону, необхідно удосконалювати як схемні рішення так більш точно настроювати технологічні параметри системи.

Література

1. Pirgac N.S. Application of mathematical simulation methods when selecting optimum parameters of stock inlet systems of paper and board machines // Papers 2nd International Conference on Iastrumentation and Automatic in the paper, Rubber and plastics Industries an IFAC – Conference – Brussels, 24-28 May 1971. P.7.3/1-7.3/8.
2. Lebeau B. Commande par calculateur numeriguc dune unite pilote de fabrication de papier // These de Docteur ingenier. Grenoble. 1971. – p. 253.
3. Cho H., Sanborn I.B. Headbox Control. Papers from the Fourth fundamental research Symposium. Papermaking system and their control. Oxford, September, 1969, p. 367 – 405.
4. Жидецький В.Ц. Поліграфічні матеріали / В.Ц. Жидецький, О.В. Лазаренко, Н.Д. Лотошинська. – Львів : ПТВФ Афіша, 2001. – 115 с.
5. Павленко Д. Технологія виготовлення та склад паперу. [Електронний ресурс]. – Доступний з http://www.vybory.org/articles/525.html
6. Астратов М.С. Технологія переробки паперу та картону: навчальний посібник. Ч. 1. [для студ. інженерних спеціальностей вищ. навч. закл.] / М.С. Астратов, М.Д. Гомеля, О.М. Мовчанюк. – К.: ВПІ ВПК «Політехніка", 2007. – 236 с.
7. Примаков С.П. Технологія паперу і картону: навч. посібник [для студ. вищ. навч. закл.] / С.П. Примаков, В.А. Барбаш. – друге вид., переробл. – Київ: ЕМКО, 2008. – 425 с.

References

1. Pirgac N.S. Application of mathematical simulation methods when selecting optimum parameters of stock inlet systems of paper and board machines // Papers 2nd International Conference on Iastrumentation and Automatic in the paper, Rubber and plastics Industries an IFAC – Conference – Brussels, 24-28 May 1971. P.7.3/1-7.3/8.
2. Lebeau B. Commande par calculateur numeriguc dune unite pilote de fabrication de papier // These de Docteur ingenier. Grenoble. 1971. – p. 253.
3. Cho H., Sanborn I.B. Headbox Control. Papers from the Fourth fundamental research Symposium. Papermaking system and their control. Oxford, September, 1969, p. 367 – 405.
4. Zhydetskyi V.Ts. Polihrafichni materialy / V.Ts. Zhydetskyi, O.V. Lazarenko, N.D. Lotoshynska. – Lviv : PTVF Afisha, 2001. – 115 s.
5. Pavlenko D. Tekhnolohiia vyhotovlennia ta sklad paperu. [Elektronnyi resurs]. – Dostupnyi z http://www.vybory.org/articles/525.html
6. Astratov M.S. Tekhnolohiia pererobky paperu ta kartonu: navchalnyi posibnyk. Ch. 1. [dlia stud. inzhenernykh spetsialnostei vyshch. navch. zakl.] / M.S. Astratov, M.D. Homelia, O.M. Movchaniuk. – K.: VPI VPK «Politekhnika", 2007. – 236 s.
7. Prymakov S.P. Tekhnolohiia paperu i kartonu: navch. posibnyk [dlia stud. vyshch. navch. zakl.] / S.P. Prymakov, V.A. Barbash. – druhe vyd., pererobl. – Kyiv: EMKO, 2008. – 425 s.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Гаджук Ярослав Іванович

Тема: Метод автоматизованого управління виробництва картону

Спеціальність: 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість сторінок записки 95

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою роботи є створення схеми автоматизації виробництва картону на довгокартоноробній машині та дослідження системи автоматичного управління барокамерою із повітряною подушкою.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проведено дослідження техпроцесу виготовлення картону у плоскосіткових картоноробній машині. Наведена загальна характеристика плоскосіткових картоноробних машин. Зроблено опис основного устаткування плоскосіткової картоноробної машини, до якого відносяться: ящик напірний для формування першого шару картону, ящик напірний для формування другого шару картону. Другий розділ присвячений питанням математичного моделювання складових плоскосіткової картоноробної машини. Третій розділ присвячено дослідженню характеристик у статиці і динаміці систем для подавання маси на сітку плоскосіткової картоноробної машини. Описано склад системи подавання маси на сітку. Визначено характеристики у статиці напірного ящик із повітряною подушкою. Також встановлено характеристики у динаміці напірного ящика як об`єкту управління рівнем маси і тиском повітряної подушки. Досліджено динамічні характеристики напірного ящика як об`єкта управління сумарним напором маси. Проведено дослідження властивостей у динаміці повітряної подушки ящика напірного. У четвертому розділі наведено результати аналізу якості процесу управління і регулювання сумарним напором маси.

4. Позитивні сторони роботи: створено схему автоматизації виробництва картону на довгокартоноробній машині та досліджено систему автоматичного управління барокамерою із повітряною подушкою

5. Негативні сторони роботи: у роботі недостатньо уваги приділяється огляду існуючих технічних рішень, наявні стилістичні недоліки у оформленні роботи

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

8. Інші зауваження: відсутні

9. Оцінка дипломної роботи: добре (4,00/С)

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Мічкан Віктор Володимирович доцент каф. ТМПТ

"19" 12 2024 р.

(підпис)

Завідувачу кафедри АКІТтаР
д-ру техн.наук, проф. Мартинюку В.В.

Гаджук Ярослав Іванович

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 2 курс, групи АКІТРм-23-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність плагіату ознайомлений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

ГІВ — 02.12.2024

дата — підпис

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Ярослав ГАДЖУК

Співавтор:

Назва: МКР Гаджук

Науковий керівник: Ірина ФОРКУН

Підрозділ: Кафедра автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Коефіцієнт подібності 1:23.2%

Коефіцієнт подібності 2:8.4%

Мікропробіли: 5

Заміна букв: 2

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2024-12-19 10:09:22.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

☒ **Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.**

☐ **Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.**

☐ **Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.**

Обгрунтування:

2024-12-19

Дата — М.В. Федула — експерт

Thu Dec 19 10:38:02 EET 2024, Федула Микола Васильович, Хмельницький національний університет, ХН

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальне співпадіння з одним документом 6.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. **Помилок в документах: 10%**

ID: 161263 Назва: МКР Метод автоматизованого управління виробництва картону Додано в БД: 2024-12-19 Автора: Ярослав ГАДЖУК Керівники: Ірина ФОРКУН Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	76209	661	4422 (6%)	46 (7%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ АВТОМАТИЗАЦІЇ, КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА РОБОТОТЕХНІКИ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Метод автоматизованого управління виробництва картону

Автор: Гаджук Ярослав Іванович

Спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Освітня програма: Освітньо-професійна програма «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Науковий керівник: Форкун Ірина Валеріївна, кандидат технічних наук, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	**відповідає**
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої й електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того, як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті кваліфікаційної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальновживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка, відомість документів), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо, у назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

3) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 23,2% і адресується до 5 джерела, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Завідувач кафедри ____________ Валерій МАРТИНЮК

Гарант освітньої програми ____________ Валерій МАРТИНЮК

Керівник кваліфікаційної роботи ____________ Ірина ФОРКУН