

Міністерство освіти і науки України  
Львівський національний університет природокористування  
Факультет механіки, енергетики та інформаційних технологій  
Кафедра інформаційних технологій

# ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:

«АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ  
ОТРИМАННЯ СУМІШЕЙ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА  
ПРОДОВОЛЬЧИХ ТОВАРІВ»

Виконав: студент групи Акт-42сп  
спеціальності 151 «Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології»

Перун В.А.

Керівник роботи:

Запорожцев С.Ю.

ЛЬВІВ-2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
 ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
 ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
 КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Освітній ступінь «Бакалавр» за спеціальністю –  
 151 – „Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
 д.т.н., проф. А.М. Тригуба  
 “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 202\_ р.

## ***ЗАВДАННЯ***

на кваліфікаційну роботу студенту  
 Перун Владиславу Андрійовичу

### 1. Тема роботи

«Автоматизація технологічного процесу отримання сумішей під час виробництва продовольчих товарів»

Керівник роботи: Запорожцев Сергій Юрійович, к.т.н., доцент.

затверджена наказом по університету від “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 202\_ р., № \_\_\_\_\_.

2. Строк подання студентом роботи: 10.06.2024 р.

3. Початкові дані до роботи:

Технологічні вимоги та обмеження при розробці автоматики для пристроїв отримання сумішей; ДСТи, СНіПи; документація основних виробників ПЛК

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

### 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

1.1 Аналіз предметної області

1.2 Технології створення сумішей

1.3 Порівняльний аналіз змішувачів сипучих матеріалів

### 2 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ’ЄКТА КЕРУВАННЯ

2.1 Особливості керування нонміксевим обладнанням

2.2 Живильники

2.3 Інші види живильників

### 3 РОЗРАХУНКИ ТА ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Показники для розрахунку живильників

3.2 Розробка структурної схеми та вибір елементів

3.3 Розрахунок системи

### 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

### ВИСНОВКИ

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень):  
Класифікація пристроїв для виробництва сипучих сумішей. Вибір живильників.

Структурна схема автоматичного регулювання живильника. Моделювання системи. Розрахунок характеристик. Висновки.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 5	<i>Запорожцев С.Ю., доцент кафедри інформаційних технологій</i>		
4	<i>Городецький І.М., доцент кафедри управління проектами та безпеки виробництва</i>		

7. Дата видачі завдання \_\_ \_\_\_\_\_ 202\_\_ р.

***КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН***

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Написання першого розділу та означення головних завдань роботи</i>	10.02 - 21.03.24	
2	<i>Виконання другого розділу та формування початкових даних</i>	22.03 - 11.04.24	
3.	<i>Виконання третього розділу та узагальнення отриманих результатів роботи</i>	12.04 - 11.05.24	
4.	<i>Написання розділу: «Охорона праці»</i>	12.05 - 17.05.24	
5.	<i>Вартісне оцінення ефективності пропозицій роботи</i>	18.05 - 23.05.24	
6.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	24.05 - 10.06.24	

Студент \_\_\_\_\_ Перун В.А.  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Запорожцев С.Ю.  
(підпис)

## РЕФЕРАТ

УДК 004.942 : 664

Автоматизація технологічного процесу отримання сумішей під час виробництва продовольчих товарів

Перун В.А. Кафедра ІТ – Дубляни, Львівський НУП, 2024.

Кваліфікаційна робота: 58 с. текст. част., 14 рис., 1 табл., 10 арк. ілюстраційного матеріалу, 14 джерел.

Об'єкт дослідження – управління процесом отримання сумішей.

Мета роботи – розробка системи автоматизації технологічного процесу отримання сумішей.

Проведено аналіз предметної області та з'ясовано декілька технологій створення сумішей, наведена класифікація пристроїв для виробництва сипучих сумішей та зроблено порівняльний аналіз змішувачів сипучих матеріалів, на основі чого обрано в розробці нонміксевий тип змішувача. Розглянуті особливості керування нонміксевим обладнанням, описані різні типи живильників, обрано шнековий живильник. Зроблені розрахунки та вибір технічних засобів автоматизації, а саме - розраховані характеристики живильника, розроблена структурна схема автоматизації та виконані розрахунок системи та вибір елементів. Розроблені міри по охороні праці та навколишнього середовища, а також здійснений розрахунок економічної ефективності системи.

**Ключові слова:** виробництво сумішей, нонміксингове обладнання, шнекові живильники, автоматизована система управління процесом отримання сумішей.

**Keywords:** production of mixtures, non-mixing equipment, screw feeders, automated control system for the process of obtaining mixtures.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	6
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ .....	8
1.1 Аналіз предметної області .....	8
1.2 Технології створення сумішей .....	14
1.3 Порівняльний аналіз змішувачів сипучих матеріалів .....	19
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ .....	22
2.1 Особливості керування нонміксовим обладнанням .....	22
2.2 Живильники .....	26
2.3 Інші види живильників .....	31
РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНКИ ТА ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	36
3.1 Показники для розрахунку живильників .....	36
3.2 Розробка структурної схеми та вибір елементів .....	39
3.3 Розрахунок системи .....	46
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ....	48
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	52
ВИСНОВКИ .....	56
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	57

## ВСТУП

У світі, де потреби споживачів та вимоги до продуктів харчування постійно зростають, виробники змушені впроваджувати інноваційні технології для отримання високоякісних сумішей. Це необхідно для забезпечення стабільності смаку, текстури та харчової цінності продуктів.

Однією з основних причин актуальності сучасних систем є потреба в стандартизації виробничих процесів. У великих масштабах виробництва дуже важливо забезпечити однорідність кожної партії продукту, адже це безпосередньо впливає на репутацію бренду та довіру споживачів. Використання сучасних систем дозволяє автоматизувати процеси змішування, зменшити вплив людського фактору та забезпечити точне дозування інгредієнтів.

Іншою важливою причиною є підвищення ефективності виробництва. Сучасні системи змішування дозволяють зменшити витрати на сировину завдяки більш точному використанню інгредієнтів. Це особливо актуально в умовах зростання цін на сировину та необхідності зменшення витрат. Крім того, автоматизація процесів змішування сприяє зниженню енергоспоживання та мінімізації відходів, що позитивно впливає на екологічну ситуацію.

Безпека харчових продуктів також є критичним аспектом, який визначає актуальність сучасних систем отримання сумішей. Використання автоматизованих систем знижує ризики контамінації продуктів, адже вони дозволяють більш точно контролювати всі етапи виробничого процесу. Впровадження таких систем також сприяє дотриманню суворих санітарних норм і стандартів, що є важливим для запобігання харчовим отруєнням та забезпечення здоров'я споживачів.

Окрім того, сучасні системи отримання сумішей сприяють розширенню асортименту продукції. Завдяки точному контролю над процесом змішування виробники можуть експериментувати з новими рецептурами, швидко адаптуватися до змін у споживчих вподобаннях та вимогах ринку. Це дозволяє

створювати нові продукти з унікальними властивостями та задовольняти різноманітні потреби споживачів.

Також варто відзначити, що впровадження сучасних систем змішування сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємств. Інноваційні технології дозволяють виробникам випускати продукти з високими споживчими характеристиками, що є ключовим фактором у боротьбі за ринок. Зниження виробничих витрат та підвищення якості продукції дозволяють компаніям пропонувати більш вигідні умови для споживачів, що в свою чергу сприяє збільшенню їх частки на ринку.

Нарешті, сучасні системи отримання сумішей мають важливе значення для розвитку галузі харчової промисловості в цілому. Вони сприяють поширенню передових технологій, підвищенню кваліфікації працівників та створенню нових робочих місць. Інвестиції у розвиток цих систем сприяють загальному підвищенню технологічного рівня галузі, що є важливим фактором економічного зростання.

Таким чином, актуальність сучасних систем отримання сумішей в харчовій промисловості визначається цілим рядом факторів, включаючи необхідність стандартизації виробничих процесів, підвищення ефективності виробництва, забезпечення безпеки харчових продуктів, розширення асортименту продукції та підвищення конкурентоспроможності підприємств. Впровадження цих систем є важливим кроком на шляху до сталого розвитку харчової промисловості та забезпечення високих стандартів якості харчових продуктів. Саме цьому напрямку і присвячена дана кваліфікаційна робота.

## РОЗДІЛ 1

### ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

#### 1.1 Аналіз предметної області

Окремі чисті речовини рідко зустрічаються в повсякденному житті. Ми частіше зустрічаємо їх суміші. Приклади включають як харчові продукти, так і вироби, якими ми користуємось повсякденно: чай, молоко, сплави тощо. Коли дві або більше речовин поєднуються фізичними засобами без хімічних зв'язків, це називається сумішшю.

Згідно Вікі [1], суміш — фізико-хімічна система, до складу якої входять дві або кілька хімічних сполук (компонентів). Оригінальні компоненти все ще присутні в суміші. У той же час суміші мають різні фізичні властивості порівняно з окремими чистими вихідними речовинами, тому часто неможливо відрізнити вихідні речовини. Однак змішування не створює нових речовин.

Певні властивості суміші, такі як густина, температура кипіння та колір, визначаються пропорціями (масовими співвідношеннями) компонентів суміші. Суміш, отримана плавленням і змішуванням двох металів, називається сплавом. Суміш, яка утворена через механічне перемішування, називається конгломератом. Різні види сумішей можна розділити на дві групи:

- гетерогенні суміші не є повністю змішаними і існують у вигляді чистих речовин із чітко визначеними фазами (таким чином, вони є багатофазними матеріалами);

- однорідні або гомогенні суміші складаються з чистих речовин, змішаних на молекулярному рівні (тобто це однофазні матеріали).

Колоїдні розчини є проміжними між гомогенними і гетерогенними сумішами. Ці рідини змішані з твердими частинками, що складаються з невеликої кількості молекул. Тому така суміш поводить себе як розчин.

Однорідні суміші поділяються на три групи залежно від стану агломерації:

- газова суміш;



- розчин;
- твердий розчин.

Гетерогенні суміші двох речовин можна класифікувати за такими групами залежно від їхнього агрегатного стану. [2] Це показано в табл.1.1.

Таблиця 1.1 - Класифікація гетерогенних сумішей

Суміші	Тверді частинки	Краплі рідини	Бульбашки газу
У твердому тілі	Сплав	Капілярна система	Тверда піна, порошок
У рідині	Суспензія	Емульсія	Піна
У газі	Аерозоль	Туман	Нестійкий

Концентрація - це міра частки речовини в суміші. Різниця між чистою речовиною та сумішшю наступна.

Найпростіша з цих відмінностей стосується газів. Чиста складна речовина (наприклад, вода) складається з одного типу молекул, тоді як суміш газів складається з кількох типів (наприклад, молекули кисню та водню). Газові суміші можна розділити фізичними методами (наприклад, дифузією), але складні речовини — ні. Коли мова йде про суміші рідин і твердих речовин, не все завжди очевидно.

Відмінною рисою однорідної суміші (або суміші) є її нездатність візуально виявити неозброєним оком або за допомогою звичайних оптичних інструментів, таких як спеціальні збільшувальні окуляри.

Фізичні процеси, відомі як змішування та розділення, допомагають перетворити окремі речовини в однорідну суміш або навпаки, відокремлюючи практично кожен компонент суміші. Властивості кожної речовини в суміші зберігаються на всьому протязі часу. Між ними відсутні хімічні зв'язки, що є їх визначальною ознакою. Однак компоненти однорідної суміші можуть мати різні агрегатні стани.

Прикладом такої однорідної суміші є розчин. Основним елементом суміші є розчинник, який розчиняє або розкладає інші компоненти. Стан розчинника в рідких розчинах відрізняється від того, що спостерігається в газоподібних розчинах, тоді як він відрізняється для рідких і твердих розчинів.

Якщо говорити про розділення сумішей, то це залежить від стану вихідної суміші. Фізичні характеристики суміші, що використовується для її розкладання на чисті речовини, визначають, які методи використовуються.

Для газів ці методи базуються на відмінностях у швидкості або масі молекул речовин у суміші.

Дистиляція є ефективним методом розділення рідких компонентів однорідної суміші. При дистиляції компоненти повинні мати низькі точки кипіння і достатню термічну стабільність, щоб уникнути розкладання при високих температурах. Для перегонки окремих речовин суміш необхідно поступово нагрівати в перегінній колбі, з'єднаній з холодильником.

У міру підвищення температури наступні компоненти однорідної суміші починають кипіти по порядку: вони перетворюються з рідини в пару і потім переходять в конденсатор.

Охолоджуюча вода, що протікає через нього (протитечія), охолоджує пару і конденсує її. Таким чином відбувається дистиляція всіх компонентів суміші.

Процес кристалізації є зворотним процесом дистиляції. Контрольоване випаровування розчинника використовується для осадження його компонентів у кристалічну форму в однорідній суміші.

Початковий етап у процесі кристалізації включає випаровування стільки розчинника, скільки можливо для досягнення насиченого стану. Після цього розчин охолоджується.

Зі зниженням температури кристали вихідної речовини починають повільно рости й досягають перенасичення. Процес кристалізації в строго визначених і контрольованих умовах дає кристали великого розміру, потрібної форми та високої якості та чистоти (>99%).

Адсорбція - це ще один метод розділення сумішей. Її можна використовувати для розділення однорідних сумішей (газів або рідких речовин).

Процес передбачає поглинання певними речовинами інших компонентів, наприклад тих, що містяться в суміші. Такого роду «поглинач» називають адсорбентом. Він зв'язує адсорбовані молекули (розчинену речовину, що адсорбується) на своїй поверхні за допомогою фізичної (фізична адсорбція) або хімічної абсорбції (хемосорбція) взаємодії.

Як адсорбенти найчастіше використовують тверді речовини з високорозвиненою питомою поверхнею (що покращує ефективність розділення). Це часто досягається за допомогою активованого вугілля.

Існують також хроматографічні методи, які дозволяють ефективно розділяти компоненти однорідної суміші. Такий метод називається паперовою хроматографією.

Це дозволяє, наприклад, розділити компоненти чорнила в межах маркера. Для цього суміш необхідно нанести на дно (лінію старту) спеціального хроматографічного паперу. Покрита сумішшю підкладка поміщається в камеру, заповнену розчинником (елюентом).

Завдяки капілярним силам елюент піднімається вздовж промокального паперу та захоплює суміш на промокальний папір. Специфічні взаємодії між його складовими та середовищем спокою призводять до розділення.

Якщо казати про газові суміші в харчовій промисловості, то перш за все це стосується процесу зберігання продуктів. Один з підходів - використання так званої модифікованої атмосфери (зміна природної повітряної суміші на штучно створену).

Ця технологія ще має назву атмосферного кондиціонування. Вона дозволяє продуктам харчування протягом тривалого часу зберігати привабливий зовнішній вигляд і високі споживчі якості.

Герметична тара з регульованим і модифікованим складом газового середовища використовується в країнах Західної Європи та США для пакування

свіжих овочів, фруктів, харчових продуктів, кулінарних виробів, хлібобулочних, кондитерських виробів тощо.

Газові суміші будь-якого складу в упаковці викликають різке зниження «швидкості дихання» продукту і газообміну з навколишнім середовищем, сповільнюючи ріст мікроорганізмів і пригнічуючи процеси псування, викликані спорами ферментів. Термін придатності товару в такому випадку збільшується багатократно.

Існує кілька методів упаковки в газових середовищах:

- інертне газове середовище ( $N_2$ ,  $CO_2$ , Ar);
- у контрольованому газовому середовищі (КГС) допускається зміна складу газової суміші лише в певних межах, що вимагає значних капітальних вкладень в обладнання та забезпечення оптимальних умов зберігання продукту, коли потрібні високі витрати;
- у модифікованому газовому середовищі (МГС) як середовище на початковій стадії використовується звичайне повітря, яке потім модифікується, хоча й у досить широкому ступені, залежно від типу продукту, що зберігається, і фізичних умов середовища.

Існують також обмеження щодо складу газу при встановленні умов зберігання. У пакувальних технологіях упаковка в МГС стає все більш популярною з міркувань технологічності, економічності та безпеки продукції.

Основними газами, що використовуються в упаковці МГС, є кисень -  $O_2$ , вуглекислий газ -  $CO_2$  і азот -  $N_2$ , пропорції яких, особливо  $O_2$ , змінюються залежно від типу продукту, що упаковується.

Кисень є основним газом, і вміст кисню, який використовується в упаковці різних продуктів, коливається від 0 до 80%.

Наприклад, заповнення газових сумішей в упаковці здійснюється інертним азотом, оскільки він не впливає на колір м'яса і не перешкоджає розвитку мікроорганізмів. Звичайно, його також можна використовувати замість створення вакууму.

На ранніх стадіях розвитку мікроорганізмів також вуглекислий газ може значно подовжити термін зберігання упакованих харчових продуктів, пригнічуючи ріст бактерій.

За кількістю присутніх газів харчові суміші можуть бути двокомпонентними або трикомпонентними:

- $N_2/20CO_2$  – складається на 80% з азоту і на 20% з вуглекислого газу, призначена для упаковки ковбасних виробів, м'яса і птиці, сиру і копченостей;

- $N_2/30CO_2$  відповідно, в ньому 30-відсотковий вміст вуглекислого газу, решта 70 відсотків - азот. Суміш перекачується в пакети в основному з нарізаними продуктами;

- $N_2/40CO_2$  – збільшення вмісту вуглекислого газу на 10 відсотків дає можливість збільшити термін зберігання всіх видів риби і її нарізки, в тому числі з високим вмістом жиру;

- $50N_2/50CO_2$  – співвідношення газів - п'ятдесят на п'ятдесят, такі харчові суміші використовуються для консервації борошна і кулінарних виробів.

Більш досконалішими сумішами є трикомпонентні пакувальні гази. Крім азоту і вуглекислого газу, вони містять чистий медичний кисень. Його наявність перешкоджає доступу повітря, тим самим надовго відстрочуючи можливість саморозкладання продукту. Слід враховувати, що бажано вжити продукт найближчим часом після відкриття.

Отже, харчові суміші бувають трикомпонентними:

- $O_2/30CO_2/10N_2$  – в цій суміші три компоненти, процентне співвідношення двох вже прописано в маркуванні, відповідно, 60 відсотків залишається на кисень. Харчові суміші цієї марки купуються для організації зберігання свіжого червоного м'яса. При таких умовах він зберігає і колір, і свіжість;

- для упаковки м'яса птиці вміст кисню в суміші трохи знижено (до 50 відсотків), виходить газ  $O_2/30CO_2/20N_2$ ;

- щоб не зіпсувати свіжий фарш, і зберегти його властивості споживачеві, використовується співвідношення газів  $O_2/30CO_2/30N_2$ ;

Для зберігання овочів і фруктів під плівкою спеціально розроблені харчові суміші з десятима відсотками кисню, такою ж кількістю вуглекислого газу і 80 відсотками азоту. Завдяки перекачуванню цього газу можна їсти свіжі яблука незалежно від пори року, без їх обробки та переробки.

В даній роботі потребує більш докладного розгляду процес створення сумішей. Тому зупинимось на саме таких методах.

## 1.2 Технології створення сумішей

Процеси дозування і змішування дрібнозернистих і дисперсних матеріалів і отримання на їх основі багатокомпонентних сумішей (наприклад, вітамінізованих сумішей на основі сухого молока, соління і пряно-сольових сухих сумішей в м'ясній і рибній промисловості тощо) займають важливе місце в харчовій, хімічній та інших галузях народного господарства.

Треба відмітити, що процеси приготування багатокомпонентних сумішей на підприємствах харчової промисловості дуже різноманітні, і відрізняються один від одного типом вихідних компонентів. [3]

Перемішування газів, як правило, відбувається природним шляхом і не є проблемою з точки зору технології, так як будь-яка речовина в газоподібному стані прагне зайняти весь наявний об'єм. Умовний виняток становлять газові компоненти, які мають між собою значну різницю в щільності, і тільки за умови тривалого стану спокою резервуару. В таких умовах в нижній частині резервуара буде відносно підвищена концентрація більш важкого газу, а у верхній - відповідно, більш легкого.

Так само достатньо легко і швидко можна утворити рівномірну суміш рідин з великою плинністю (невеликою густиною). Знову ж таки, за умов того, що рідинні компоненти є змішувани.

Більш проблематичними є задачі утворення розчинів, коли деякі компоненти являють собою тверді або порошкоподібні матеріали, та створення колоїдних сумішей. В такому випадку доводиться застосовувати різні методи для

штучного створення однорідної суміші з визначеними властивостями та характеристиками.

Це в повній мірі відноситься і до створення сухих сумішей. Під час такого процесу змішуються, як правило, дрібнодисперсні компоненти (часто порошкові). При цьому для такого змішування доводиться використовувати штучні методи і підходи, тому що природними процесами такі компоненти змішати неможливо.

Для виконання операції змішування використовують спеціальне технологічне обладнання, яке має назву змішувачі. Дамо визначення цьому приладу.

Змішувач - це різновид технологічного обладнання, призначеного для приготування сумішей з вихідних компонентів, що знаходяться в однаковому або різному агрегатному стані. Використовується в хімічній технології, металургії, будівництві, харчовій промисловості тощо.

Існують різні підходи до класифікації змішувачів. За агрегатним станом і дисперсності речовин, що змішуються, змішувачі поділяються на:

- змішувачі рідини Ньютонана;
- змішувачі для високов'язких рідин;
- змішувачі гетерогенних рідко-твердих композицій;
- змішувачі для твердих дисперсних компонентів.

За ходом процесу змішування за часом:

- змішувачі періодичної дії;
- змішувачі безперервної дії.

За характером сили, що діє на частинки:

- гравітаційні змішувачі – змішування відбувається в результаті періодичного вільного падіння компонентів суміші, подрібнених механізмом змішувача;

- відцентрові змішувачі;
- пневматичні змішувачі;
- електромагнітні змішувачі;

- вібраційні змішувачі – змішування відбувається в результаті вібрації.

За механізмом змішування частинок:

- циркуляційні змішувачі;

- об'ємні змішувачі;

- змішувачі дифузійного змішування;

- струменеві змішувачі – змішування відбувається за рахунок турбулентних явищ в рідинних або газових струменях.

За конструкцією:

- барабанні змішувачі;

- шнекові змішувачі – змішування відбувається за рахунок неоднорідного руху компонентів суміші в шнековій канавці;

- стрічкові змішувачі;

- лопатеві змішувачі – змішування відбувається за рахунок взаємодії компонентів суміші з рухомими лопатями.

За способом управління:

- змішувачі з ручним керуванням;

- змішувачі з автоматичним або програмним управлінням.

Розглянемо одну з можливих класифікацій та особливості застосування найбільш поширених типів змішувачів для виробництва сипучих сумішей (наведено на рис.1.1). [4-5]

Міксери. Перший і найпростіший клас технологічних машин і, відповідно, технологічні операції 1-го класу, так як кожна частинка рухається в одному-двох напрямках і здійснює повторювані рухи. Вони поділяються на змішувачі безперервної дії і періодичної дії.

Змішувачі безперервної дії. Якість одержуваних на них сумішей невисока через імовірнісного утворення однорідності. Цим обумовлена велика тривалість процесу змішування, так як частинки (предмети обробки) одного компонента повинні вбудовуватися в маси частинок інших компонентів. Процеси пов'язані зі значними витратами енергії на введення частинок і їх багаторазове переміщення.



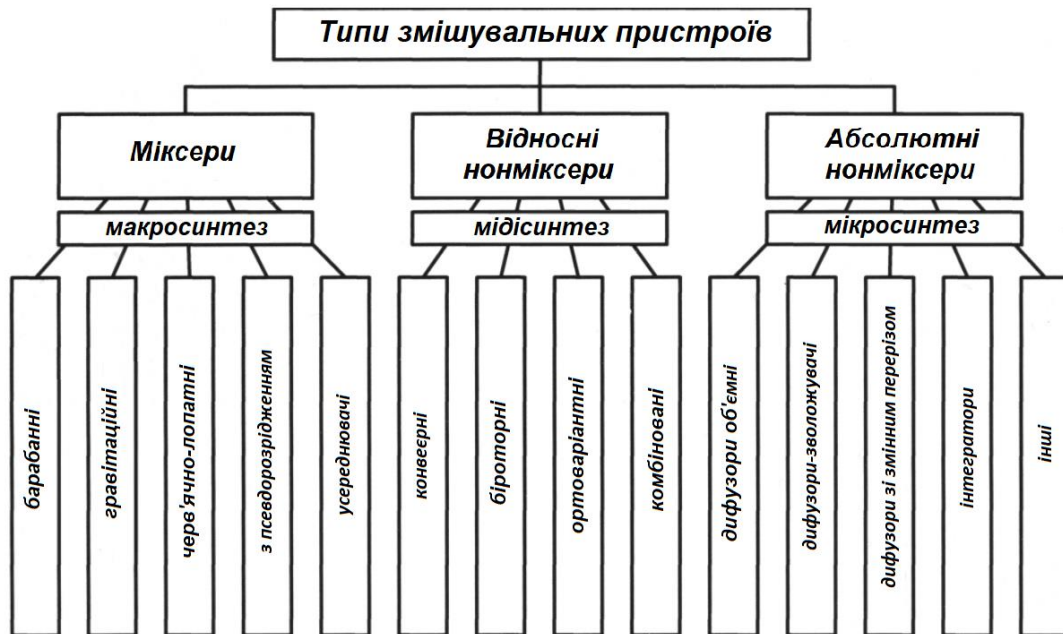


Рисунок 1.1 - Класифікація пристроїв для виробництва сипучих сумішей

Змішувачі періодичної дії є типовим представником машин I класу. При змішуванні продукт рухається лінійно, тобто виникає протиріччя між технологічним і транспортним переміщеннями. Ці рухи взаємозалежні і послідовні. Крім того, завантаження компонентів, перемішування і вивантаження готової суміші здійснюються послідовно, що унеможливорює суміщення цих операцій в цих машинах.

На прикладі конвеєрного розташування машин [4] можна назвати машини, що реалізують операції II класу. У них технологічний і транспортний рухи об'єднані, взаємозалежні, тобто  $V_{трансп} = V_{техн}$ , (що відповідає волочінню, прокатці і т.д.). Також необхідно стежити за тим, щоб потоки компонентів були жорстко орієнтовані.

Як правило, вантажно-розвантажувальні роботи проводяться в машині в різних зонах і одночасно, але зі зміщенням фази, тобто операції поєднуються в часі. Енергоспоживання цього класу змішувачів мізерно малий, так як немає необхідності вбудовувати частинки одного компонента в інший, тобто здійснюється просте нашарування. При цьому потрібна більша точність живильників, за зразком з різанням: для I-го класу точність різця не має значення, так як об'єкт обробки обробляється «вістряем», а для II-класу при обробці

широкою фрезою необхідна точність ріжучої кромки, так як будь-яка насічка буде зачіпати (копіювати) деталь - об'єкт обробки. При цьому якість в найбільшій мірі залежить від точності живильних або дозуючих пристроїв, саме тому до них пред'являються найвищі вимоги.

Відносні нонміксери [5]. У технологічних процесах, реалізованих на них, в більшій чи меншій мірі присутній елемент імовірнісного утворення однорідності суміші, але в цілому принцип сумішоутворення в них такий же, як і в будь-якій з конструкцій нонміксерів. Тому їх можна виділити в принципово окремий клас у зв'язку з тим, що часткове стохастичне формування якості сумішей все ж таки присутнє, і це пов'язано з реальними особливостями процесів їх синтезу, специфікою операцій до або після основного "нонміксування". Ця відмінність важлива, перш за все, на технічному і апаратному рівні. При цьому цю групу слід розглядати не як частину I-го або III класів, а як симбіоз між більш простими і складними класами процесів і машинами, що їх реалізують, що мають властивості того й іншого. Даний клас процесів можна позиціонувати як другий клас (галузь) класифікації, який в середньостроковій перспективі повинен замінити застаріле обладнання першого класу в найбільш перспективних напрямках.

Слід зазначити, що перший клас, безсумнівно, залишиться в деяких галузях за критеріями конструктивної простоти і дешевизни. Те ж саме і з третім класом, який тільки в довгостроковій перспективі замінить другий, причому на тих же умовах, що і його попередник. Вже окреслено тенденції та перспективи розвитку та використання певних «ідеальних» технологічних процесів для окремих напрямків промислового виробництва.

Абсолютні нонміксери. Методи спрямованої дифузії - способи зрошення рідини, обприскування і т. д. - розглядаються як подобу III класу операцій. Можна простежити близькість цих операцій до лакування, фарбування і деяким нанотехнологіям. Тут також можливе широке розмаїття структурних і технологічних реалізацій змішувальних (незмішувальних) процесів, але слід зазначити, що основною їх спрямованістю і перевагою в порівнянні з

попередніми класами є отримання реальних співвідношень компонентів в суміші до рівня порядку  $10^6$ .

У цьому класі можливе використання компонентів не тільки сипучих фракцій, але і зволоженого і рідкого станів (розчини, суспензії). А це вже якісний перехід не тільки у виробництві нових продуктів (виробів), а й у використанні абсолютно різних за своєю природою технологій, наприклад, інтеграторів штучних дробів. Ще більш важливим є існування еволюції створення нових прогресивних технологічних процесів приготування сумішей на практиці. Звичайно, різноманіття технологічних процесів не нескінченно, а визначається лише потребами суспільства в тих чи інших змішаних продуктах.

Спробуємо порівняти різні типи змішувачів сипучих матеріалів та виявити їх переваги та недоліки.

### 1.3 Порівняльний аналіз змішувачів сипучих матеріалів

У зв'язку зі створенням автоматизованих змішувальних машин, що забезпечують детерміноване формування однорідності сумішей сипучих матеріалів, доцільно розглянути основні функціональні переваги і недоліки існуючих традиційних груп змішувачів, що використовуються в даний час. [6]

Черв'ячно-лопатеві змішувачі. Недоліками цієї групи змішувачів є значна масообмінність з мінімальною дифузиею на рівні мідіоб'єму компонентів і високе енергоспоживання при тривалому перемішуванні. У деяких варіантах конструкцій важливими недоліками є шкідливість і небезпека умов роботи та обслуговування. Крім того, при змішуванні компонентів в пропорції до 1:10 забезпечується середній рівень якості суміші. Такі конструкції змішувачів дуже трудомісткі і дорогі у виготовленні. Як правило, обслуговування шлюзових пристроїв вимагає операції «очищення резервуарів». У разі зносу деякі елементи конструкції відновленню не підлягають, що обумовлює низьку ефективність використання всього класу в цілому.

Барабанні змішувачі. Ці змішувачі є одними з найпростіших з точки зору конструкції. Недорогий у виробництві і простий в обслуговуванні. Однак вони мають відносно низьку зносостійкість, так як в них використовуються недорогі будівельні матеріали. Горизонтальні конструкції більшою мірою, ніж інші, сприяють процесам сегрегації та конгломерації, особливо у разі тривалого періодичного використання. Пристрої є найбезпечнішими, але і найшкідливішими, так як робочий об'єм часто відкритий для проникнення навколишнього середовища. У цих структурах відбувається значне масоперенос. Співвідношення компонентів у суміші обмежують 1:2-1:5.

Гравітаційні змішувачі. Вони малоефективні і в основному використовуються як вирівнювачі при змішуванні невеликих партій у співвідношенні, що не перевищує 1:2. Вони вкрай екологічно небезпечні і шкідливі в обслуговуванні. Однак вони досить дешеві і вимагають менше енергії. Якість одержуваних на них сумішей невисока.

Циркуляційні змішувачі з флюїдизацією сипучого матеріалу. Їх використання пов'язане зі значними термічними і механічними переваженнями. Як правило, вони функціонують періодично, звідси їх низька продуктивність і надійність. Вони мають значний відсоток відмов. Незалежно від варіанту виконання - періодичної або безперервної дії, вони характеризуються високим зносом робочих деталей, так як в основному використовуються в якості високопродуктивних пристроїв. Якість одержуваних на них сумішей відносно висока. Співвідношення компонентів в суміші - до 1:15.

Шлюзові змішувачі. Передбачається багатостадійне формування однорідності одержуваних сумішей. Однак на кожному етапі використовується одна з традиційних технологій змішування, що робить весь процес приготування суміші імовірнісним і неефективним. Вони використовуються на підприємствах великої потужності і мають значні габаритні розміри. Дуже дорогий у виробництві і трудомісткий в обслуговуванні. Структура змішувачів зазвичай складається з послідовного ланцюжка шлюзових модулів різної потужності, сформованих у вигляді «дерева» для синтезу суміші в кінцевій нижній точці з

великої кількості складових компонентів. При цьому вихід з ладу тільки однієї ланки на одній «гілці» призводить до зміни всієї рецептури суміші і відповідного відбраковування. Тому даний тип змішувачів має низьку надійність, особливо в комбінованому варіанті. Технології, які обслуговують ці змішувальні системи, неефективні, що супроводжується великою кількістю шкідливих викидів і відходів.

Сучасні автоматизовані конвеєрні, роторні, біроторні і ортоваріантні незмішувальні агрегати дозволяють отримувати суміші заданої якості в співвідношенні до 1:1000 і більше. Ці машини не мають значного масопереносу компонентів всередині робочого простору і синтезують суміш на мікрорівні, що дозволяє отримувати суміші більш високого рівня якості з компонентів різних фракцій і фаз. Можлива реалізація технологій індивідуального виходу одиничних компонентів і синтезу з цих потоків високоякісної суміші, з якої можна отримати ефективні зразки, можна отримати високопродуктивні змішані продукти. Низьке енергоспоживання разом з екологічністю і безпекою роблять їх найбільш актуальними і затребуваними на ринку сучасного змішувального обладнання [5]. Конструкція даного класу обладнання для синтезу сумішей заданої якості має широку морфологію.

Широкий спектр можливих варіантів конструкцій цих машин дозволяє використовувати їх як універсальне і як спеціалізоване обладнання в різних галузях промисловості: харчовій, фармацевтичній, інструментальній, будівельній, оборонній промисловості та багатьох інших, що, безсумнівно, є вагомим перевагою перед традиційними конструкціями змішувальних машин для приготування сумішей сипучих матеріалів.

## РОЗДІЛ 2

### АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

На основі аналізу предметної області в першому розділі вирішено зупинитись на змішувальних апаратах другого типу (відносні нонміксери), які дозволяють досягати якості сумішей до 1:1000. Розглянемо особливості керування таким обладнанням.

#### 2.1 Особливості керування нонміксевим обладнанням

Коли вчені та інженери вперше зіткнулися з проблемою забезпечення дійсно високого, а головне, гарантованого якості одержуваних сумішей, вони зіткнулися з низкою проблем. [7]

Через це у 80-х роках минулого століття були проведені перші наукові розробки та промислові випробування вдосконаленої змішувальної установки безперервної дії (ВЗУБД). Схема установки наведена на рис. 2.1. Був представлений принципово новий підхід до формування якості суміші і, відповідно, абсолютно нове технологічне рішення.

Вперше компоненти не завантажувалися в змішувач у великих обсягах, а подавалися дрібнодозованими потоками шнековими живильниками і потім змішувалися за класичною схемою в черв'ячно-лопатевому змішувачі. Це дозволило забезпечити значне поліпшення якості одержуваної суміші за умови, що при вологості 15% компонентів будь-яке інше технічне рішення просто не підійшло б.

Нонміксинг в технічному застосуванні - це формування однорідності в заданих показниках якості відповідно до можливостей дозуючих і змішувальних пристроїв. У найпростішому розумінні нонміксинг - це впорядковане укладання мікродоз компонентів на стадії дозування, що забезпечує нестохастичну структуру суміші з відомими якісними характеристиками.

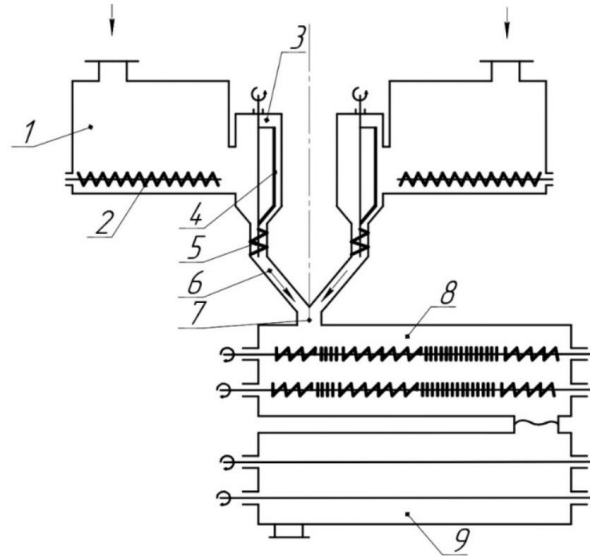


Рисунок 2.1 - Схема системи ВЗУБД: 1 – накопичувальні бункери; 2 – шнеки; 3 – бункери-дозатори; 4 – токарі; 5 – шнеки тонкоструминних дозаторів; 6 – лотки; 7 – приймальна камера; 8 – секція сухого змішування порошків-змішувачів; 9 – секція мокрого змішування

Тобто розкладання дозованих потоків компонентів, за допомогою сучасних дискретних живильників, на мінімально можливі мікрообсяги і формування з них «чіткої, оцифрованої» структури готової суміші, вже в самому змішувачі.

Загальне завдання полягає в отриманні фіксованого обсягу суміші, із заданими або певними якостями, або певного набору обсягів суміші з подібними або навіть однаковими властивостями. Необхідно чітко розуміти різницю в способах використання або застосування одного або багатьох компонентів і кінцевого результату. Отримання одиниці об'єму зазвичай простіше, а технологія нонміксинга доречна, як правило, заснована на розробці тільки одиниці змішувального обладнання, де межі дисперсності властивостей готової суміші (обсягу) менш жорсткі. Отримати кілька обсягів суміші з однаковими властивостями (наприклад, порохові шихти) набагато складніше, для цього потрібна підготовка, зберігання, облік, система контролю якості на всіх стадіях нонміксинга.

Міні-партія сама по собі може бути сумішшю і її потрібно обов'язково приготувати. При цьому обсяги готової суміші є продуктом нонміксинга другого порядку, а всі похибки, всі статистичні параметри якості «компоненти - суміші» повинні розраховуватися за допомогою відповідного математичного апарату з доступом до програмного забезпечення. Бажано також передбачити зворотну залежність між якісними показниками реального використання обсягів суміші і всієї ланцюжка формування їх кореляції в результаті первинного синтезу компонентів (міні-партій) і вторинного синтезу суміші (однакових обсягів).

Тепер цю задачу можна віднести до класичних задач оптимізації, яка має на увазі наявність певних критеріїв і спрямована більше на поліпшення процесу (в загальному сенсі витрат, трудомісткості і т.д.), а нонміксинг - це оптимізація, орієнтована на кінцевий результат всіх проміжних процесів в складі цілого. Таким чином, при нонміксингу важливо в першу чергу спроектувати загальну можливу технологію приготування і застосування суміші з відповідною технічною реалізацією, після чого, можна в цілому оптимізувати обрану технологію за якимись певними критеріями.

На сьогоднішній день суміш синтезується з інших сумішей, цей процес є найбільш актуальним. Так, це складніше і дорожче, але іноді просто неможливо вчинити інакше. По-перше, це можливість отримання високих співвідношень в кінцевій суміші за рахунок  $n$  числа переходів від компонентів до суміші і в  $n$  разів більше до суміші, а, по-друге, це єдине рішення, якщо компоненти однорідні, але в силу ряду обставин (складності виробництва) сильно відрізняються за своїми властивостями.

Як правило, мова йде не про усереднення в його класичному розумінні (звичайна корекція властивостей окремих елементів в наборі), а про спрямовану корекцію - отримання заздалегідь заданих властивостей змішаного об'єкта на основі складових елементів (компонентів, проміжних сумішей) з їх заздалегідь заданими слабкими або сильними властивостями. Звідси і формування партій готової змішаної продукції, які мають між собою різні властивості, але однакові



властивості всередині партії. Це особливо важливо для продуктів подвійного призначення та в міжгалузевих додатках.

Ці процеси досить складні, і іноді можлива тільки ручна або механізована реалізація, але описаний процес все одно не зміщується з можливими перспективами технічного вдосконалення.

Початкова підготовка компонентів практично обов'язкова. Більшість виробників комплектуючих мають власне технічне обслуговування продукції, але особливості незмішування мають на увазі остаточне з'ясування властивостей компонентів, особливо ключових, які істотно впливають на якість одержуваних сумішей і, найголовніше, на ефективний результат їх використання.

Бажано мати в структурі підприємства секцію (секції) для підготовки сировини - комплектуючі з сушарками, дробарками, вирівнювачами і т.д., плюс операції контролю якості на всіх етапах виробництва і в будь-якому вигляді.

Загалом проблеми в цьому застосуванні не можуть бути вузькими, оскільки зачіпають спільні інтереси як споживачів, так і виробників. Хоча з узагальненої точки зору ці інтереси переслідують одні й ті ж спільні цілі. Якщо виробник вважає інакше заради якихось поточних вигод, то він помиляється, так як кінцеве ефективне використання продукту - це завжди ефективна і виправдана ціна (вартість) і, як наслідок, рішення загальної проблеми.

Один з варіантів схем конвеєрних нонміксових змішувачів наведена на рис. 2.2.

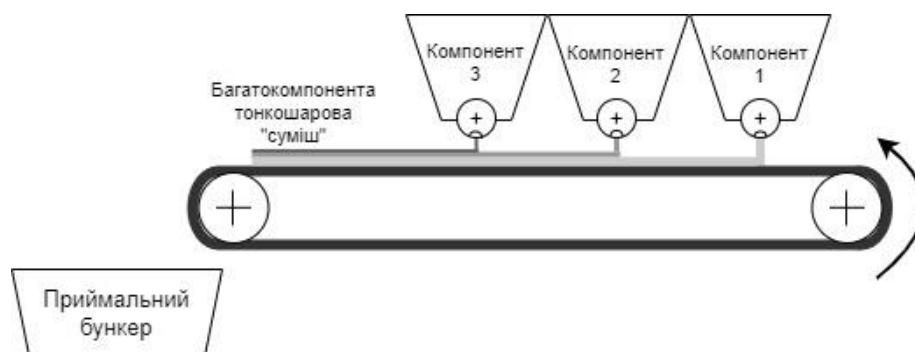


Рисунок 2.2 - Схема конвеєрного нонміксингу

Як ми бачимо, компоненти додаються по чергово у вигляді тонких шарів, що в результаті дає своєрідний “пиріг”, якість якого можна дуже ретельно відстежувати завдяки цифровим технологіям. Таким чином, в приймальному бункері ми відразу отримаємо суміш без необхідності перемішувати весь її об'єм.

## 2.2 Живильники

Один з головних елементів системи нонміксингу - живильники компонентів суміші. Живильник - це обладнання дозуючого типу, призначене для регламентованої подачі сипучого матеріалу різних фракцій, а також суспензій, розчинів, рідин. [8] Існує багато моделей дозуючих пристроїв різних типів. Вони використовуються в різних галузях промисловості, в тому числі і в харчовому виробництві.

Одні з найбільш поширених - це живильники шнекового типу (рис. 2.3), що встановлюються для дозування дрібнодисперсного, пилоподібного, порошкоподібного сипучого матеріалу, а також мас середньої і великої фракцій. [9] Вони визначають продуктивність і швидкість основного процесу, забезпечують подачу легкорухомих сипучих компонентів, їх дозування. У складі лінії шнековий живильник для сипучих матеріалів зазвичай встановлюється на початку лінії подачі сировини.



Рисунок 2.3 - Живильник шнекового типу

Розроблено багато модифікацій шнекових живильників, що відрізняються конструкцією і технічними характеристиками.

За типом корпусу всі живильники діляться на дві групи:

- пристрої відкритого типу;
- пристрої закритого типу.

В живильниках відкритого типу корпус виконаний у вигляді ванни, що оточує шнек. Бункер відсутній, матеріал подається безпосередньо на витки шнека. Даний тип корпусу використовується при розробці горизонтальних і похилих дозуючих пристроїв для подачі сухих і вологих речовин. Можлива незначна втрата сировини в процесі перевалки.

Закриті шнекові живильники для сипучих матеріалів мають герметичний корпус. Сировина завантажується через проміжний бункер. Закриті живильники підходять для різних видів сировини, в тому числі пилоподібного, рідкого, хімічно небезпечного. У закритих конструкціях втрати речовини при транспортуванні і дозуванні практично виключені.

За розташуванням осі шнека щодо горизонтальної площини живильники поділяються на три типи:

- горизонтальні;
- вертикальні;
- похилі.

Похилі шнекові живильники (рис. 2.4) подають і дозують сипучі матеріали з силосів або бункерів на виробниче або допоміжне обладнання. Кут нахилу гвинта може досягати 15-20 градусів щодо горизонтальної площини. Зі збільшенням кута відбувається втрата продуктивності.

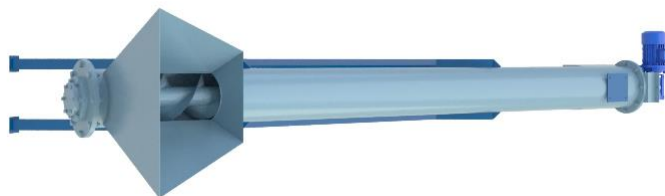


Рисунок 2.4 - Похилий шнековий живильник

Вертикальні шнекові живильники підходять тільки для сипучих матеріалів. З їх допомогою складно переміщати рідкі компоненти, розчини і суспензії знизу вгору. Однак в лініях переробки вертикальні шнекові живильники можуть встановлюватися після промивання. Переміщаючи подрібнену сировину вертикально вгору, матеріал позбавляється від зайвої вологи, яка стікає вниз. Горизонтальний шнековий живильник з бункером може використовуватися для транспортування і дозування будь-яких середовищ.

Класифікація за кількістю шнеків передбачає поділ на дві категорії:

- одновальні (одношнекові);
- багатовальні (двошнекові, чотирьохшнекові).

Одновальні живильники використовуються для порошкоподібних і грубих сипучих матеріалів, які не схильні до злипання. Вони можуть мати суцільну або переривчасту різьблення на циліндрі вала. У першому випадку мова йде про спіральні пристрої, у другому - про лопатеві шнеки.

Багатовальні живильники використовуються для дозованої подачі матеріалу, схильного до налипання на різьблення шнекового вала, а також для гранульованої сировини. Вали можуть бути зачепленими або на відстані один від одного. Частіше використовуються вали зі зачепленням. При цьому один валик очищає налиплий матеріал від іншого, самоочищення відбувається в двосторонньому режимі.

Важливим класифікаційним параметром є конструкція гвинта (тип нарізів). За цим принципом живильники діляться на три основні категорії:

- спіральна нарізка;
- стрічкова нарізка;
- лопатева нарізка.

У гвинтах з безперервною (спіральної) різьбленням відрізки витків з'єднані в єдину спіраль, яка безперервно встановлюється по всій довжині вала. Цей конвеєр підходить для роботи з дрібно- та середньозернистими компонентами. Середня швидкість обертання шнека становить 50-120 об/хв.

У стрічкових шнеків конструкція схожа на спіральні шнеки, але з боку вала є зазори. Такі живильники показують меншу продуктивність, але при цьому перемішують і транспортують речовина. Вони оптимальні для ущільненого і промерзлого матеріалу. Такий шнек підходить для середньої та грубої сировини. Швидкість обертання шнека становить 25-100 об/хв.

Конструкція лопатевого шнека передбачає поділ гвинтової різьби на окремі лопаті, розташовані на рівній відстані один від одного. Цей тип живильників може бути застосований до кускових матеріалів. Середня швидкість обертання шнека знаходиться в межах 30-100 об/хв.

Шнековий живильник конструктивно являє собою сталевий шнек з різьбою, укладений в металевий корпус (рис. 2.5). Вона складається з трьох основних вузлів:

- шнек;
- бункер;
- привід.

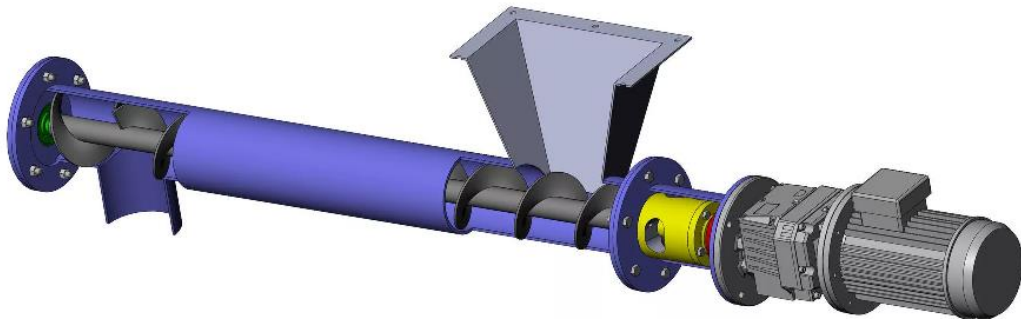


Рисунок 2.5 - Конструкція шнекового живильника

Основним робочим інструментом живильника є шнек. Це сталевий вал, на якому проводиться спіральна, лопатева, нарізка стрічкового типу. Нарізка може бути лівою і правосторонньою. Тип нарізки, крок повороту підбираються відповідно до характеристик дозованого матеріалу, фракцією, щільністю, плинністю.

Для оптимальної роботи без пробок шнек має змінний діаметр і крок нарізки. В іншому випадку сипучий матеріал буде створювати затори і заважати нормальній роботі обладнання. Кожен покроковий прохід повинен збільшуватися із заданою частотою в сторону вихідного отвору. Зменшення кроку на виході з шнека також дозволяє уникнути мимовільного витoku матеріалу з живильника. Однак обсяг поворотного простору при навантаженні і розвантаженні повинен враховувати зміну щільності дозованого матеріалу, шпаруватість, тиск в робочому просторі.

Завантажувальний бункер живильника являє собою металеву ємність квадратної або прямокутної форми з похилим дном, герметично інтегровану у верхню частину корпусу живильника. Бункери мають різну місткість.

Завантажувальна зона і корпус виготовляються зі звичайної або нержавіючої сталі. Для гвинта вибирають зносостійку сталь, наприклад, 18HGNMFR, 14HG2SAFD, 16HGN2FBR, 13HG2NDF. Товщина стінок бункера і корпусу коливається від 3 до 10 мм, підбирається з урахуванням абразивності матеріалу, що транспортується. Для важких умов експлуатації використовується сталь товщиною 7-10 мм.

Контроль рівня подачі речовини регулюється зміною обертання шнека. За це відповідає привід обладнання (редуктор з електродвигуном). Чим вище варіативність діапазону частот обертання шнека, тим ширше діапазон регулювання швидкості подачі і точніше дозування.

В живильниках безперервної дії використовуються двигуни постійного струму або варіатори для підтримки заданої частоти обертання вала. У живильниках з переривчастим потоком використовуються крокові двигуни, кривошипно-шатунні механізми, реле часу.

Матеріал надходить в шнековий живильник через завантажувальний бункер. У приймальній зоні (на вході) живильник заповнюється матеріалом на 100%. Потім вона перерозподіляється в міжвитковому просторі. Котушки або леза гвинта захоплюють матеріал і штовхають його вперед до вихідного отвору. Коли матеріал досягає вихідного отвору, він вивантажується через

розвантажувальний жолоб в бункер обладнання або в накопичувальний бак. При цьому горизонтальні живильники переміщують і дозують матеріал в одній площині з накопичувальним бункером для завантаження. Вертикальні і похилі гвинтові навантажувачі переміщаються в більш високу точку щодо площини подачі.

Для управління шнековим живильником можуть використовуватися електронні системи управління. Вони безперервно стежать за кількістю матеріалу, що завантажується і вивантажується, швидкістю обертання шнека і продуктивністю пристрою в цілому.

### 2.3 Інші види живильників

У промисловості використовуються не тільки шнекові, а й інші види живильників:

- пластинчасті;
- вібраційні;
- стрічкові;
- бункерні;
- секторні;
- роликові;
- тарілкові;
- лоткові;
- гравітаційні.

Всі перераховані види живильників-дозаторів діляться на дві категорії:

- пристрої без рухомого робочого органу;
- пристрої з рухомим робочим органом.

Для подачі пристроїв без рухомого робочого органу матеріал переміщують під власною вагою без застосування додаткових пристосувань. Ці гравітаційні живильники є найменш енергоємними пристроями, простими за своєю конструкцією і принципом роботи. Матеріал надходить в завантажувальний

бункер живильника і висипається через розвантажувальний отвір під тиском колони. Цей клас пристроїв використовується для подачі матеріалу в проміжні ємності - накопичувачі.

Гравітаційні живильники можуть бути клапанними (покрокове регулювання подачі клапаном), шиберними (в нижній частині є заслінка або шибер для зміни рівня подачі матеріалу). Механізм управління може переміщатися вручну або механічно.

Живильники з рухомим робочим вузлом використовуються в багатьох промислових сферах. Вони більш продуктивні, ніж гравітаційні моделі, забезпечуючи високу пропускну здатність і точність дозування.

Пластинчасті дозуючі пристрої (рис. 2.6) в основному використовуються для подачі кускових матеріалів в первинні дробарки або сита. [10] Основним робочим органом є полотно (з'єднані між собою металеві пластини), що рухається вперед. Для руху передбачений електродвигун. Завантаження здійснюється через приймальний бункер.



Рисунок 2.6 - Пластинчастий живильник

Вібраційні живильники (рис.2.7) використовуються для кускових матеріалів грубої (до 100 мм), середньої або дрібної фракції. [11] Вони забезпечують дозування, переміщення і ворушіння одночасно, тому його використовують для згодовування не тільки сипучих, але і ущільнених і заморожених компонентів.



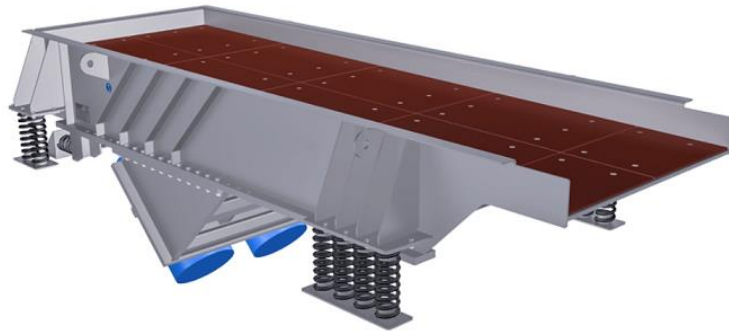


Рисунок 2.7 - Вібраційний живильник

Конструктивно живильник являє собою лоток, встановлений під кутом на пружинах. Лоток підключається до віброприводу. Для переміщення матеріалу на лоток передаються вібрації (3000 коливань в хвилину) з амплітудою, відповідною сировині (до 2 м). Над дробаркою встановлений вібраційний живильник для первинного подрібнення матеріалу.

Стрічковий живильник використовується для подачі матеріалів з насипною масою до 2,8 т/м<sup>3</sup>, чутливих до механічних впливів. Він не підходить для грубої та волокнистої сировини, так як забезпечує неточне дозування. Основним робочим органом є транспортна стрічка, яка приводиться в рух електроприводом. Матеріал на стрічці надходить з приймального бункера. Стрічковий живильник відноситься до пристроїв безперервної дії, що встановлюються на потоковій лінії перед подрібнювачами і сортувальниками.

Барабанний живильник [12] часто використовується для дозування волокнистих полімерних матеріалів. У корпусі живильника є барабан з ребристою або гранованою поверхнею - основний робочий орган пристрою. Матеріал надходить в нього через завантажувальний бункер і, рухаючись по барабану, вивантажується через отвір, розташоване в нижній частині корпусу. Обертання барабана передається черв'ячним редуктором через ремінну передачу.

Конструкція секторного живильника (рис. 2.8) схожа з конструкцією барабанного пристрою. А ось внутрішній простір в бункері з живильником навколо барабана розділено перегородками на камери. Живильник підходить для

порошкоподібних, дрібнозернистих компонентів. Подача здійснюється дозовано. У міру заповнення простору одного сегмента барабан повертається, і починається заповнення наступної камери. Відсік, що дійшов до розвантажувального вікна, спустошується. Таке конструктивне рішення дозволяє уникнути попадання пилу і вологи ззовні при подачі матеріалу сушильним пристроєм.



Рисунок 2.8 - Секторний живильник

Роликові живильники [13] використовуються для подачі матеріалів, схильних до злежування і накопичення вологи. Основним робочим вузлом є пара роликів із загостреними зубцями. Один з них приводиться в рух зубчастою передачею, другий вловлює обертальний рух від шківів. Швидкість руху роликів різна, що забезпечує не тільки переміщення матеріалу, але і одночасне розпушення маси. Дозування матеріалу здійснюється за рахунок зміни величини зазору між валками.

Для рівномірної подачі сипучих матеріалів фракцією до 110 мм застосовують тарілкові живильники. Основним робочим органом пристрою є лотки, що приводяться в рух черв'ячним редуктором. Матеріал, який потрапив на плиту, скидається з неї скребком в вихідний отвір. Змінюючи положення пластини (вище або нижче) і частоту рухів скребка, можна регулювати витрату матеріалу.

Конструкція лоткового живильника (рис. 2.9) включає в себе лоток, встановлений на двох рейках, які котяться по роликах. [14]



Рисунок 2.9 - Лотковий живильник

Цей вид живильника ще називають гойдалкою. При русі лотка по роликах створюються погойдують руху вперед-назад в площині лотка. Матеріал надходить в живильник через воронку з заслінкою. Сировина може мати різні фракції, за винятком речовин, схильних до злежування. При зміні ступеня відкривання воріт змінюється висота шару матеріалу.

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРАХУНКИ ТА ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

#### 3.1 Показники для розрахунку живильників

Вимоги, що пред'являються до автоматичних систем управління сипучими матеріалами, повинні відповідати завданню автоматизації технологічних процесів. У найзагальнішому випадку їх можна сформулювати наступним чином.

Повинні бути встановлені алгоритми і оптимальні схеми управління дискретними і безперервними живильниками, що забезпечують однокомпонентне і багатоконпонентне дозування матеріалів з необхідними метрологічними і функціональними залежностями в системах автоматичного регулювання і управління технологічними процесами виробництва.

Розглянемо основні показники для розрахунку живильників. Вихідними даними для розрахунку основних конструктивних характеристик дозуючих агрегатів є:

- найвища продуктивність живильника;
- об'ємна маса дозованого матеріалу;
- лінійне навантаження;
- навантаження матеріалу на конвеєр;
- час перебування матеріалу на конвеєрі.

Продуктивність живильника визначається за формулою:

$$Q_d = qv_t, \quad (3.1)$$

де  $q$  – лінійне навантаження, кг/м;

$v_t$  – швидкість конвеєра, м/с;

$Q_d$  – продуктивність живильника, кг/с.

У зв'язку з тим, що  $q = \frac{P_t}{L_t}$ , то маємо

$$q = \frac{P_t}{L_t} v_t \quad (3.2)$$

Вантажоприймальна конвеєрна стрічка за своєю швидкістю  $v_t$  і робочою довжиною  $L_t$  характеризується певним часом проходження по ній матеріалу, що діє з силою  $P_t$ , пропорційною його масі, тобто певною постійною часу, яка визначається з умови:

$$(Q_n - Q_d) = k \frac{dP_t}{dt} \quad (3.3)$$

де  $Q_n = Q(t)$  - продуктивність живильника;

$Q_d = Q(t - \tau)$  - продуктивність дозатора;

$\tau$  - час затримки або час перебування матеріалу на конвеєрній стрічці;

$\frac{dP_t}{dt}$  - швидкість зміни навантаження на ваговий конвеєр.

Тому стрічкові ваги мають певну затримку між моментом зміни продуктивності живильника і справжньою продуктивністю дозатора.

Основний принцип роботи дозатора полягає в підтримці постійної продуктивності регулятором і визначається залежністю типу:  $Q_n = \text{const}$ .

Так як величина живильної продуктивності і, отже, продуктивності дозуючого вузла визначається величиною вагового навантаження  $P_t$  на транспортер, безпосередньо сприймається тензодатчиком, то в стаціонарному стані вона складе:

$$Q_n = Q_d = \frac{P_t}{L_{зав}} v_t \quad (3.4)$$

$$Q_d = \frac{P_t}{L_{зав}} \cdot \frac{L_t}{t} = k P_t, \quad (3.5)$$

де  $\frac{P_t}{L_{зав}} = q$  - лінійне навантаження на конвеєр;

$L_{зав}$  - завантажена секція конвеєра;

$k = \frac{L_t}{L_{зав} t}$  - коефіцієнт з розмірністю  $c^{-1}$ .

Тому продуктивність дозатора  $Q_d$  пропорційна навантаженню матеріалу на конвеєр.

Умови (3.2), а отже (3.3), справедливі і в разі сталості швидкості транспортера  $v_t = \text{const}$ .

Величина розрахункового навантаження визначається виходячи зі значення заданої максимальної потужності дозуючого вузла  $Q_{\max}$

$$P_t = \frac{Q_{\max} L_t}{v_t} \quad (3.6)$$

$$q = \frac{Q_{\max}}{v_t} \quad (3.7)$$

а вагове навантаження на конвеєр ґрунтується на умові:

$$P_t = Q\tau$$

Час  $\tau$  перебування матеріалу на конвеєрі в секундах знаходять з умови:

$$\tau = \frac{L_t}{v_t} \quad (3.8)$$

Час  $\tau$  має бути мінімальним, а для стабільної роботи дозатора не більше 10 – 12 секунд. Величина навантаження на конвеєр по знайденому значенню лінійного навантаження виходить з виразу:

$$P_t = qL_t \quad (3.9)$$

У деяких випадках для оцінки масової витрати дозуючого вузла для різних сипучих матеріалів доцільно виходити зі значення максимальної об'ємної ємності дозатора:

$$Q_{\text{об}} = \frac{Q_{\max}}{\gamma} \quad (3.10)$$

Отримання найкращого перехідного процесу і розширення діапазону стабільності автоматичної дозуючої системи при різних налаштуваннях регулятора досягається при максимально можливому співвідношенні:  $\frac{\tau_2}{\tau_1}$ , де маємо  $\tau_2$  – час перебування матеріалу на конвеєрі – постійна часу, а  $\tau_1$  – час потоку матеріалу – чиста затримка.

Постійна часу  $\tau_2$  визначається співвідношенням довжини транспортера  $L_t$  до своєї швидкості  $v_t$ :

$$\tau_2 = \frac{L_t}{v_t}$$

Збільшення  $\tau_2$  через подовження конвеєра призводить до небажаного збільшення габаритних розмірів дозаторів, а зменшення  $\tau_1$  обмежується габаритними розмірами живильника і фізико-механічними характеристиками і характером переміщення дозованого матеріалу по лотку.

Розробка структурної схеми для всього об'єкта, виведення загальної передавальної функції здійснюється за методиками, прийнятими в теорії автоматичного регулювання. Кожна ланка, включена в структурну схему, має свою передавальну функцію, що відображає залежність між зображеннями (по Лапласу) вхідного і вихідного сигналів.

Певний порядок зв'язку між ланками відповідає характеру їх з'єднань в реальному дозаторі. Після складання структурної схеми для всього об'єкта в цілому виводиться загальна передавальна функція розімкнутої системи, за якою проводиться подальший розрахунок.

### 3.2 Розробка структурної схеми та вибір елементів

Розробимо структурну схему пристрою (рис.3.1). На структурній схемі маємо такі позначки: ЗЕ - задавальний елемент; П - підсилювач; ЕД - електродвигун; Р - редуктор; РО - регулюючий орган (живильник); ОУ - об'єкт

управління; Д - датчик;  $I_0$  – сигнал з задатчика;  $I_1$  - сигнал неузгодженості на виході підсумовуючого пристрою;  $U_2$  – вихідна напруга підсилювача;  $\omega_1$  – кутова швидкість обертання валу електродвигуна;  $\omega_2$  – кутова швидкість обертання валу редуктора;  $Q$  – витрата сипучого матеріалу;  $M$  – маса відвантаженого матеріалу;  $I$  – вихідна величина тензодатчика.

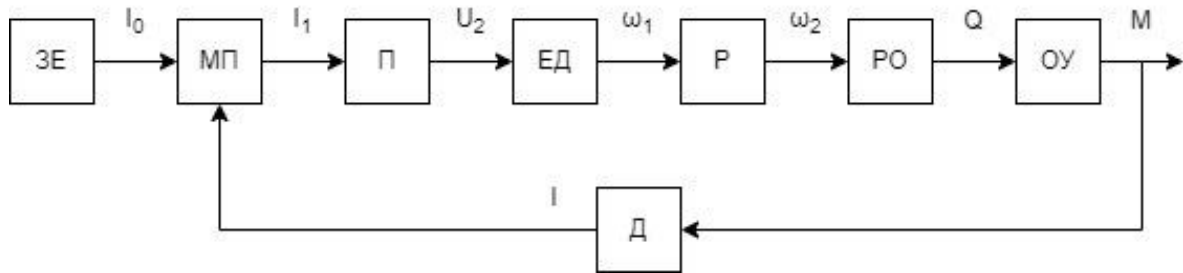


Рисунок 3.1 - Структурна схема системи автоматичного регулювання

В якості параметра управління обираємо – регулювання витрат сипучого матеріалу. Оцінювати ефективність будемо по масі сипучого матеріалу.

Метрологічний синтез полягає в тому, що вибираються характеристики точності і похибки кожної ланки, починаючи з ОУ. Похибка живильника повинна бути  $\pm 1\%$  або 0,5 кг.

Енергетичний синтез полягає в узгодженні вхідних і вихідних потужностей попередньої і наступної ланок. За принципом узгодженості потужностей вихідна потужність попередньої ланки повинна бути відносно вхідної потужності наступної з запасом в 10%.

Перетворенню підлягають пряма і зворотна гілки:

- живильник  $N_{\text{вих}} = 100$  Вт;
- редуктор  $N_{\text{вих}} = 100 * 1,1 = 110$  Вт;
- електродвигун  $N_{\text{вих}} = 110 * 1,1 = 121$  Вт;
- підсилювач.

Як правило, використовуються двигуни постійного струму з незалежною обмоткою управління. Ці мотори мають коефіцієнт посилення потужності

$$K_N = N_{\text{ед}}/N_{\text{ус}} = 100$$



$$N_{yc} = 121/100 = 1,21 \text{ Вт}$$

Вихідна потужність підсумовуючого пристрою визначається вхідними параметрами підсилювача. Параметри головного пристрою визначаються вхідними параметрами суматора.

Коли обирається живильник при дискретному (пропорційному) і безперервному дозуванні сипучих матеріалів доводиться стикатися з особливими труднощами при вивантаженні цих матеріалів з бункерів та інших допоміжних ємностей.

Ці труднощі пояснюються тим, що, на відміну від рідин, сипучі матеріали по-різному поведуться при навантаженні і розвантаженні. Якщо завантаження бункерів сипучим матеріалом досить проста, то їх вивантаження викликає великі труднощі, пов'язані з особливостями розподілу тиску, характером матеріального потоку і схильністю сипучого матеріалу до злежування і утворення склепінь.

Ці особливості, властиві всім матеріалам, проявляються у різних матеріалів по-різному в залежності від фізико-механічних характеристик і властивостей різних сипучих матеріалів, кута природного спокою, коефіцієнта внутрішнього тертя, об'ємної маси матеріалу, когезії частинок, вологості і гігроскопічності матеріалу, розподілу частинок за розмірами і сипучості, що характеризує здатність матеріалу текти без спонукання.

Тому в якості живильника (без згаданих вище недоліків) використовуємо шнековий живильник (рис. 3.2).

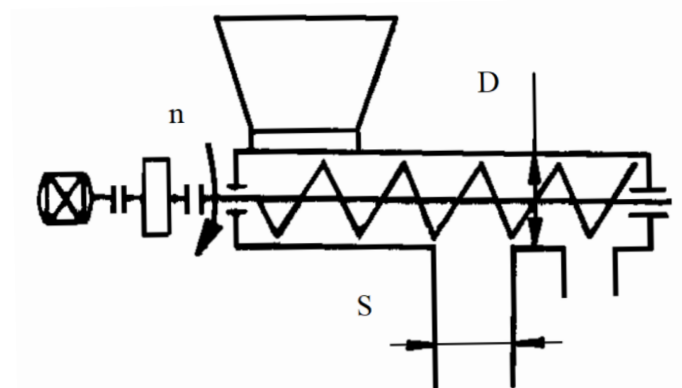


Рисунок 3.2 - Схема шнекового живильника

Передавальна функція шнекового живильника має вигляд:

$$W(p) = \frac{k}{T_p + 1} \quad (3.11)$$

Розрахуємо параметри живильника:

$$Q = 60 \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \psi \cdot s \cdot \gamma \cdot n, \quad (3.12)$$

де:  $D$  - діаметр шнека в м;

$s$  - крок шнека, м;

$\gamma$  - об'ємна маса, кг/м<sup>3</sup>;

$n$  - число обертів в хвилину;

$\psi$  - коефіцієнт заповнення матеріалу (0,8 - 1).

Вибираємо коефіцієнт заповнення 0,9

$$Q = k \cdot n \cdot \left(1 - e^{-\frac{1}{T}}\right) \quad (3.13)$$

Нехай живильник має продуктивність 1500 кг/год. Тоді

$$1500 = 60 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,1^2}{4} \cdot 0,9 \cdot 0,05 \cdot 1400 \cdot n.$$

Звідси знаходимо кількість обертів шнека за хвилину:

$$n = 30.$$

Визначимо величину  $T$ :

$$k = \frac{0,417}{0,5} = 0,83 \quad (3.14)$$

З формули  $1500 = 0,83 \cdot 30 \cdot \left(1 - e^{-\frac{1}{T}}\right)$  знаходимо  $T = 0,25$ .

Зробимо розрахунок для двигуна. Однією з основних характеристик двигуна є залежність його ваги від номінальної потужності, що знімається з валу. Зазвичай в САР двигуни працюють в реверсивному режимі. При цьому визначальною характеристикою двигуна є швидкість наростання пускової потужності. Якщо двигун працює в стаціонарному режимі, то визначальне значення має номінальна потужність.

Виберемо електричний двигун постійного струму типу АО261. Електродвигуни постійного струму живляться від генераторів, електричних машин, магнітних, тиристорних і транзисторних підсилювачів. Ці підсилювачі повинні мати можливість змінювати кутову швидкість у широкому діапазоні. Основні характеристики двигуна: напруга  $U = 380$  В; потужність двигуна  $N = 121$  Вт; число обертів валу двигуна  $n = 800$  об/хв.

Передаточна функція електродвигуна постійного струму виглядає так:

$$W(p) = \frac{k_d}{(T_d p + 1)} = \frac{1,439}{(0,049p + 1)} \quad (3.15)$$

де  $k_d$  - передавальне число двигуна (напруга - швидкість);

$T_d$  - постійна електродвигуна, яка відображає конструктивні особливості двигуна і включає, як правило, електричні та механічні характеристики двигуна: розміри ротора, статора, момент інерції ротора, матеріал сталі сердечника, кількість полюсів і т.д.

Живильник приводиться в рух через черв'ячний редуктор, перевагами якого є: плавність і безшумність роботи; можливість отримання великих передавальних чисел; компактність. Розрахуємо передавальне число редуктора.

Вхідним значенням буде обертання валу двигуна. Двигун обертається зі швидкістю 800 об/хв, а живильник - 30 об/хв. Таким чином, передавальне число редуктора становить:

$$k = \frac{30}{800} = 0,11 \quad (3.16)$$

Передаточна функція редуктора  $W(p) = 0,11$ .

В якості підсилювача використовуємо транзисторний підсилювач. Електронні підсилювачі мають низьку затримку, тобто практично безінерційні. Передавальна функція підсилювача виглядає так:

$$W(p) = k$$

Визначимо коефіцієнт  $k$ . На вхід підсилювача надходить сигнал неузгодженості від мікропроцесора напругою 6 В. Встановимо вхідний опір підсилювача 200 Ом, він постійний. Таким чином, напруга, що подається на вхід підсилювача, становить:

$$U = I R = 0,03 \times 200 = 6\text{В}$$

На виході напруга, що подається на обмотку збудження, 380 В. Коефіцієнт підсилювання буде рівний:

$$k = \frac{380}{6} = 63$$

Отже, передавальна функція підсилювача  $W(p) = 63$ .

Також зробимо розрахунки для датчика ваги. Для цієї системи дозування сипучого матеріалу ми виберемо датчик електротензорезисторний ДСТБ-С-016. Особливістю таких датчиків є підвищена жорсткість силовимірювальних елементів, мала інерційність, малі розміри і низька металоємність конструкцій. Крім того, такі датчики практично не вимагають особливих умов, які б перешкождали їх широкому застосуванню в промисловості.

Електротензорезисторні датчики засновані на існуванні лінійної залежності між деформацією пружного елемента, що сприймає навантаження

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (3.17)$$

і відносною зміною електричного опору дротяного датчика

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta L}{L} S = \varepsilon S \quad (3.18)$$

де  $s$  – чутливість до деформації, яка визначається експериментально

$$S = \frac{\Delta R}{R} \frac{1}{\varepsilon}. \quad (3.19)$$

Чутливість до деформації є постійною величиною для даного матеріалу дроту і змінюється в невеликих межах залежно від зміни геометрії решітки датчика. Передавальна функція тензодатчика виглядає так:

$$W(p) = \frac{k_k}{T_k p + 1}, \quad (3.20)$$

де  $k_k$  – передавальне число датчика;

$T_k$  – постійна часу датчика.

Вихідна величина датчика 0 – 10 В. Вхідний опір суматора дорівнює 2000 Ом, тому за законом Ома для постійного струму струм від ланцюга суматора дорівнює:

$$I = \frac{10}{2000} = 0,005 \text{ А}$$

Таким чином узгоджується датчик і суматор. Маємо  $k = 10 \text{ В/м}$ ,  $m = 50 \text{ кг}$ ,  $k = 10/50 = 0.2 \text{ В/кг}$ ,  $T = 1/3\tau_{\text{п}} = 1/10 \cdot 0,05 \text{ с} = 0,005 \text{ с}$ .

Підставляючи ці коефіцієнти, отримаємо:

$$W(p) = \frac{0,8}{0,005 p + 1}. \quad (3.21)$$

### 3.3 Розрахунок системи

Щоб перевірити стійкість системи, необхідно розглянути її відкриту систему і по ній судити про стан замкнутої системи. Основна складність полягає в наявності в системі нелінійних елементів, в даному випадку МП.

Найпростішим способом обчислення таких систем є Z-перетворення. Воно дозволяє перетворювати лінійні елементи в дискретні і далі працювати з системою, як з лінійною. В цьому випадку структурна схема розробленої системи у вигляді передавальних функцій представлена на рисунку 3.3.

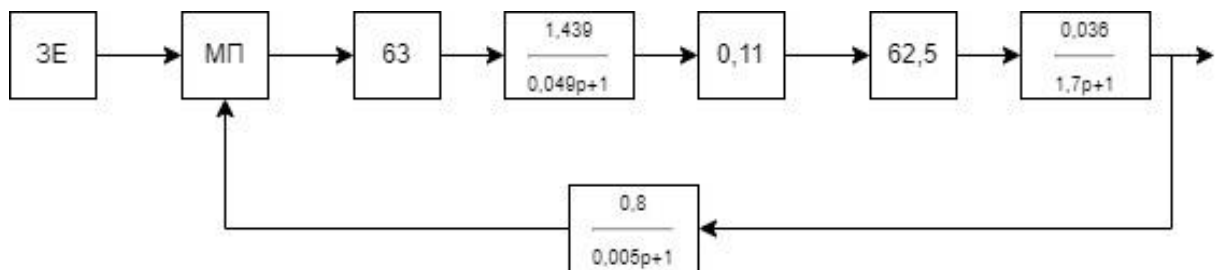


Рисунок 3.3 - Структурна схема системи у вигляді передавальних функцій

Передавальна функція відкритої системи буде виглядати так:

$$W(p) = W_{\pi}(p) \cdot W_{ед}(p) \cdot W_p(p) \cdot W_{po}(p) \cdot W_{oy}(p) \cdot W_d(p)$$

Підставимо значення

$$\begin{aligned} W(p) &= \frac{63 \cdot 1,439 \cdot 0,11 \cdot 62,5 \cdot 0,036 \cdot 0,8}{(0,049p + 1)(1,7p + 1)(0,005p + 1)} \\ &= \frac{17,95}{(0,049p + 1)(1,7p + 1)(0,005p + 1)} \end{aligned}$$

Для визначення стійкості системи побудуємо перехідну характеристику відкритої системи, для цього застосуємо для передавальній функції відкритої

системи обернене перетворення Лапласа, щоб перейти від оператора  $p$  до параметра часу  $t$ . Графік перехідної характеристики наведено на рис. 3.4.

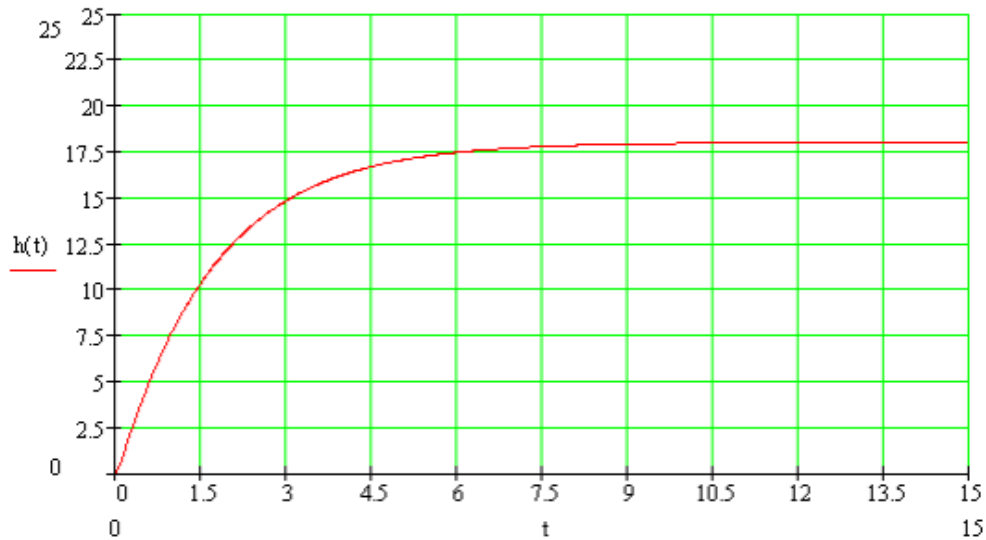


Рисунок 3.4 - Перехідна характеристика системи

На графіку видно, що ця система стійка. Згідно з графіком, визначимо час перехідного процесу  $t_p$ , який приблизно дорівнює 9 с.

Це відносно довго. Треба, щоб система реагувала швидше. Ми розуміємо, що системі на старті потрібен час, щоб вийти на заданий режим. Щоб прискорити цей вихід пропонується зберігати інформацію про необхідні значення керування в базі даних комп'ютерної системи. Це можуть бути, наприклад, номер живильного пристрою, вид матеріалу, отримані в процесі експлуатації значення керуючих сигналів для точного розходу певних матеріалів або навіть повні набори таких сигналів у вигляді рецептів для постійної номенклатури продукції.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Забезпечення охорони праці та навколишнього середовища є важливим аспектом діяльності будь-якого виробничого підприємства, особливо у сфері харчової промисловості, де автоматизація технологічних процесів відіграє значну роль. Автоматизація технологічного процесу отримання сумішей під час виробництва продовольчих товарів не лише підвищує ефективність виробництва, але й сприяє покращенню умов праці та зменшенню негативного впливу на довкілля.

В контексті охорони праці, автоматизація виробничих процесів дозволяє зменшити ризики, пов'язані з людським фактором, знижуючи ймовірність нещасних випадків та професійних захворювань. Застосування сучасних автоматизованих систем управління та контролю дозволяє оперативно виявляти та усувати потенційно небезпечні ситуації. Наприклад, автоматичні системи моніторингу температури та вологості забезпечують стабільні умови роботи обладнання, що зменшує ризик аварійних ситуацій.

Важливим аспектом охорони праці є забезпечення належної вентиляції та очищення повітря у виробничих приміщеннях. Використання автоматизованих систем вентиляції та фільтрації повітря сприяє покращенню мікроклімату, знижуючи вміст пилу та шкідливих речовин, що може негативно впливати на здоров'я працівників. Зокрема, у процесі отримання сумішей часто використовуються сипучі компоненти, які можуть утворювати пилові викиди. Сучасні системи пиловловлювання та аспірації дозволяють ефективно вирішувати цю проблему.

Автоматизація процесів також сприяє зменшенню фізичного навантаження на працівників. Використання автоматизованих транспортерів, дозаторів та змішувачів значно полегшує процес переміщення та обробки сировини, зменшуючи необхідність ручної праці. Це, в свою чергу, знижує ризик



травм, пов'язаних із підняттям важких предметів та іншими фізично напруженими операціями.

Однією з основних загроз у харчовій промисловості є ризик контакту працівників з небезпечними речовинами та мікроорганізмами. Автоматизація допомагає зменшити ці ризики, мінімізуючи необхідність прямого контакту працівників з сировиною та продуктами на різних етапах виробництва. Використання герметичних систем змішування та транспортування запобігає поширенню небезпечних речовин у робочій зоні.

Для забезпечення безпеки працівників важливо також впроваджувати системи автоматичного контролю та аварійного відключення обладнання. Такі системи можуть автоматично зупинити роботу обладнання у разі виявлення несправностей або відхилень від нормальних умов роботи, що знижує ризик аварій та травм. Наприклад, автоматичні системи контролю рівня заповнення змішувачів запобігають переповненню та витіканню сировини, що може призвести до травмування працівників.

Для підвищення рівня безпеки працівників необхідно також забезпечити їх належним індивідуальним захисним обладнанням (ІЗО). Хоча автоматизація зменшує необхідність прямого контакту з небезпечними речовинами та обладнанням, ІЗО все ще залишається важливим елементом охорони праці. Зокрема, працівники повинні бути забезпечені захисними рукавицями, окулярами, масками та спеціальним одягом для захисту.

Також важливо проводити регулярні навчання та інструктажі з охорони праці для працівників, які працюють з автоматизованим обладнанням. Навчання повинні охоплювати не лише правила безпеки, але й принципи роботи автоматизованих систем, щоб працівники могли правильно реагувати на потенційні небезпеки та аварійні ситуації. Регулярні інструктажі допомагають підтримувати високий рівень обізнаності працівників про безпеку та забезпечують ефективне впровадження заходів з охорони праці.

Окрім забезпечення безпеки праці, автоматизація виробництва позитивно впливає на охорону навколишнього середовища. Застосування сучасних

технологій дозволяє зменшити споживання енергії та води, знизити кількість відходів та викидів шкідливих речовин. Наприклад, використання енергоефективного обладнання та автоматизованих систем управління енергоспоживанням сприяє раціональному використанню енергетичних ресурсів, зменшуючи викиди парникових газів.

Сучасні технології також дозволяють зменшити негативний вплив на водні ресурси. Автоматизовані системи контролю за використанням води забезпечують ефективне використання водних ресурсів, мінімізуючи їхні втрати та запобігаючи забрудненню водних об'єктів. Зокрема, у процесі виробництва харчових продуктів важливим є контроль за стічними водами, які можуть містити залишки сировини та хімічні речовини. Використання автоматизованих систем очищення стічних вод дозволяє значно покращити якість очищення та знизити навантаження на навколишнє середовище.

Важливим аспектом є також раціональне використання сировини та зменшення відходів виробництва. Автоматизовані системи контролю за витратами сировини дозволяють оптимізувати процеси змішування та дозування, що знижує кількість відходів та зменшує негативний вплив на навколишнє середовище. Крім того, сучасні технології дозволяють повторно використовувати деякі відходи виробництва, що сприяє зменшенню їхнього обсягу та зниженню витрат на утилізацію.

Автоматизація технологічних процесів також сприяє покращенню якості продукції, що, у свою чергу, знижує кількість бракованої продукції та відходів. Високий рівень точності та стабільності роботи автоматизованих систем забезпечує відповідність продукції вимогам стандартів якості, що зменшує ризики відкликання продукції та необхідність її утилізації.

Важливим фактором є також підвищення ефективності управління виробничими процесами. Сучасні автоматизовані системи дозволяють оперативно отримувати дані про стан виробничих процесів, що сприяє швидкому прийняттю рішень та зменшенню часу простоїв обладнання. Це дозволяє знизити

енергетичні та матеріальні витрати, покращуючи економічні показники підприємства та зменшуючи його негативний вплив на навколишнє середовище.

Загалом, автоматизація технологічного процесу отримання сумішей під час виробництва продовольчих товарів має значний позитивний вплив як на охорону праці, так і на навколишнє середовище. Застосування сучасних технологій дозволяє зменшити ризики для здоров'я працівників, підвищити ефективність використання ресурсів та знизити негативний вплив на довкілля. Це сприяє не лише підвищенню конкурентоспроможності підприємства, але й його соціальної відповідальності та екологічної сталості.

## РОЗДІЛ 5

### ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Розрахунок економічної ефективності автоматизації технологічного процесу отримання сумішей під час виробництва продовольчих товарів є ключовим етапом для оцінки доцільності та виправданості впровадження нових технологій. Економічна ефективність відображає, наскільки впровадження автоматизованих систем сприяє підвищенню продуктивності, зниженню витрат та покращенню фінансових показників підприємства.

Важливими компонентами аналізу економічної ефективності є оцінка капітальних витрат, операційних витрат, економії ресурсів та зростання продуктивності праці. Капітальні витрати включають вартість закупівлі та установки обладнання, розробку та впровадження програмного забезпечення, а також витрати на навчання персоналу. Операційні витрати охоплюють витрати на експлуатацію та обслуговування обладнання, енергоспоживання, матеріали та запчастини.

Одним із ключових показників економічної ефективності є зниження виробничих витрат за рахунок автоматизації. Застосування автоматизованих систем дозволяє зменшити витрати на заробітну плату працівників завдяки зниженню потреби в ручній праці. Зокрема, автоматизація процесів змішування та дозування сировини дозволяє значно скоротити час на виконання цих операцій, що знижує витрати на оплату праці та підвищує продуктивність.

Автоматизація також сприяє зниженню витрат на сировину та матеріали завдяки точному дозуванню та змішуванню компонентів. Це дозволяє уникнути перевитрат та зменшити кількість відходів, що позитивно впливає на загальні витрати підприємства. Додатковою перевагою є зниження витрат сировини під час транспортування та обробки завдяки використанню сучасних систем контролю та управління.

Енергозбереження є ще одним важливим аспектом економічної ефективності автоматизації. Використання енергоефективного обладнання та систем управління енергоспоживанням дозволяє знизити витрати на електроенергію. Сучасні автоматизовані системи можуть оптимізувати роботу обладнання, знижуючи споживання енергії під час пікових навантажень та підвищуючи загальну ефективність енергоспоживання.

Спробуємо виконати приблизний розрахунок економічної ефективності впровадження системи автоматизації. Розглянемо приклад підприємства, яке планує автоматизувати процес отримання сумішей:

- вартість обладнання (автоматизовані змішувачі, дозатори, транспортери):  
2 500 000 грн;

- вартість програмного забезпечення та його впровадження: 500 000 грн;

- витрати на навчання персоналу: 100 000 грн;

- витрати на монтаж та установку обладнання: 200 000 грн.

Таким чином, загальні капітальні витрати становлять 3 300 000 грн.

Операційні витрати включають витрати на експлуатацію та обслуговування обладнання, енергоспоживання, матеріали та запчастини. Застосування автоматизованих систем дозволяє значно скоротити ці витрати. Оцінимо основні операційні показники:

- заробітна плата працівників до автоматизації: 10 працівників \* 20 000 грн/міс = 200 000 грн/міс;

- заробітна плата працівників після автоматизації: 5 працівників \* 20 000 грн/міс = 100 000 грн/міс;

- витрати на енергоспоживання до автоматизації: 50 000 грн/міс;

- витрати на енергоспоживання після автоматизації: 35 000 грн/міс;

- витрати на обслуговування обладнання: 20 000 грн/міс.

Загальні операційні витрати до автоматизації становили 270 000 грн/міс, після автоматизації – 155 000 грн/міс. Економія на операційних витратах становить 115 000 грн/міс.

За рахунок зменшення витрат на заробітну плату та енергоспоживання, підприємство отримує щомісячну економію:

- щомісячна економія на заробітній платі: 100 000 грн;
- щомісячна економія на енергоспоживанні: 15 000 грн.

Загальна щомісячна економія становить 115 000 грн.

Щоб визначити термін окупності інвестицій, необхідно поділити загальні капітальні витрати на щомісячну економію:

$$\text{Термін окупності} = 3\,300\,000 \text{ грн} / 115\,000 \text{ грн/міс} = 28,7 \text{ місяців}$$

Таким чином, термін окупності інвестицій у автоматизацію технологічного процесу отримання сумішей становить приблизно 2 роки і 5 місяців.

Крім безпосередньої економії на витратах, автоматизація приносить і інші економічні вигоди:

- зниження витрат сировини за рахунок точного дозування: очікувана економія – 50 000 грн/міс;
- підвищення якості продукції та зниження кількості браку: очікувана економія – 30 000 грн/міс;
- зменшення витрат на утилізацію відходів: економія – 10 000 грн/міс;

Загальна додаткова економія становить 90 000 грн/міс. З урахуванням цієї економії, загальна щомісячна економія після автоматизації буде 205 000 грн.

З урахуванням додаткових вигод, термін окупності інвестицій скорочується:

$$\text{Термін окупності} = 3\,300\,000 \text{ грн} / 205\,000 \text{ грн/міс} = 16,1 \text{ місяців}$$

Отже, з урахуванням додаткових вигод, термін окупності інвестицій у автоматизацію становить приблизно 1 рік і 4 місяці.

Таким чином, автоматизація технологічного процесу отримання сумішей під час виробництва продовольчих товарів є економічно ефективною

інвестицією. Вона дозволяє значно знизити виробничі витрати, підвищити продуктивність, покращити якість продукції та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище. Враховуючи швидкий термін окупності інвестицій, автоматизація є доцільною і вигідною стратегією для підприємства.

## ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи розроблена система автоматизованого управління технологічним процесом отримання сумішей під час виробництва продовольчих товарів. Виконані такі задачі:

1. Проведено аналіз предметної області та з'ясовано декілька технологій створення сумішей, наведена класифікація пристроїв для виробництва сипучих сумішей та зроблено порівняльний аналіз змішувачів сипучих матеріалів, на основі чого обрано в розробці нонміксовий тип змішувача.

2. Розглянуті особливості керування нонміксовим обладнанням, описані різні типи живильників, обрано шнековий живильник.

3. Зроблені розрахунки та вибір технічних засобів автоматизації, а саме - розраховані характеристики живильника, розроблена структурна схема автоматизації та виконані розрахунок системи та вибір елементів.

4. Розроблені міри по охороні праці та навколишнього середовища, а також здійснений розрахунок економічної ефективності системи.



## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Суміш. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Суміш>.
2. Однорідні та гетерогенні системи. URL: <https://www.products.pcc.eu/uk/academy/однорідні-та-гетерогенні-системи>.
3. Mixing technology. URL: <https://www.eirich.com/en/processes/mixing-technology>.
4. Evseev A.V. Development of a universal algorithm for designing linear conveyor nonmixers for producing mixes of piece tubular Components J. of Phys // Conf. Series 1546 (2020) 012010. DOI:10.1088/1742-6596/1546/1/012009.
5. Evseev A.V., Preis V.V., Kasatkin G.V. Algorithm to optimize the accuracy of the metering devices for obtaining loose material mixture of a given quality // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1260, 2019. 032016. DOI: 10.1088/1742-6596/1260/3/032016.
6. Бакалов В. Г. Змішувачі для сипких матеріалів і методи оцінювання якості суміші : монографія / В. Г. Бакалов. – Чернігів : ЧДТУ, 2013. – 159 с.
7. Хомик Н.І. Механізація переробки та зберігання сільськогосподарської продукції: курс лекцій / Н.І. Хомик, В.П. Олексюк, О.П. Цьонь – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2016. – 288с.
8. Areas of Improvement Feeding Devices for Pneumatic Separation Channels. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/items/ee00d3fa-4235-4f2a-a6e9-33cdd183e10c>.
9. Аналіз особливостей конструкції гвинтового живильника з метою удосконалення його роботи. URL: <http://chemengine.kpi.ua/article/view/228085>.
10. Пластинчастий живильник - Студопедія. URL: <https://yak.koshachek.com/articles/plastinchastij-zhivilnik-studopedija.html>.
11. Живильник вібраційний. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Живильник\\_вібраційний](https://uk.wikipedia.org/wiki/Живильник_вібраційний).
12. Барабанний живильник. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Барабанний\\_живильник](https://uk.wikipedia.org/wiki/Барабанний_живильник).

13. Роликовий живильник для преса C Frame. URL: <https://ua.yiming-machinery.com/coil-feeder/roll-feeder/roller-feeder-for-c-frame-press.html>.

14. Лотковий живильник ASTEC. URL: <https://actis-ua.com/product/lotkovyj-zhyvylnyk-astec/>.