

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ІНІТІ ім. акад. І.С.Гулого
Кафедра мехатроніки та пакувальної техніки

«До захисту в ЕК»

«До захисту допущено»

Директор інституту(декан факультету)
Сергій БЛАЖЕНКО
(ім'я та прізвище)

Завідувач кафедри
Людмила КРИВОПЛЯС-ВОЛОДИНА
(ім'я та прізвище)

«06» 12 20__р.

«06» 12 20__р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

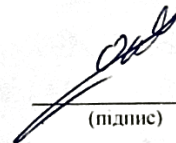
зі спеціальності 131 Прикладна Механіка
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми Прикладна Механіка

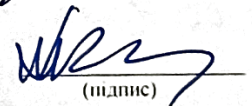
на тему: Синтез дозувально-фасувального пристрою для сипких харчових продуктів

Виконав: здобувач 2 курсу, групи 1М

ФЕДОРЕНКО Олександр Миколайович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)


(підпис)

Керівник КРИВОПЛЯС-ВОЛОДИНА Людмила
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

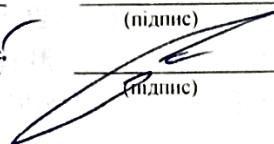

(підпис)

Консультанти _____
(ім'я та прізвище) (підпис)

(ім'я та прізвище) (підпис)

(ім'я та прізвище) (підпис)

Рецензент Юрій Верасевич
(ім'я та прізвище) (підпис)


(підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) незарядженої допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач 
(підпис)

Київ - 20__р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ІНІТІ ім. акад. І.С. Гулого

Кафедра Мехатроніки та пакувальної техніки

Освітній ступінь Магістр

Спеціальність 131 «Прикладна механіка»
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Прикладна механіка
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ



Завідувач кафедри _____ МПТ

Людмила КРИВОПЛЯС-ВОЛОДИНА

« 01 » _____ 10 _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Федоренко Олександр Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Синтез дозувально-фасувального пристрою для сипких харчових продуктів.

Керівник Кривопляс-Володіна Людмила Олександрівна д.т.н, професор

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 01 » 10 2024 року № 859-КС

2. Строк подання здобувачем роботи 01.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи 1. Обладнання – дозувально-фасувальний пристрій;

2. Тип продукту – сипкі харчові продукти.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Анотація; Вступ; 1. Розділ 1. Аналіз існуючих конструкцій та принципів

компонування дозувально-фасувальних пристроїв, 2. Розділ 2. Аналіз системи

управління дозувально-фасувальним пристроєм та вибір ключових елементів

управління, 3. Розділ 3. Проведення експериментальних досліджень роботи

дозувально-фасувального пристрою для сипких харчових продуктів, 4. Розділ

4. Охорона праці, Висновки; Список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу

10 аркушів (інформація)

6. Консультанти розділів роботи


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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № | Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|----|---|-------------------------------|----------|
| 1 | Реферат | 07.09.24 | |
| 2 | Вступ | 15.09.24 | |
| 3 | <u>Розділ 1. Аналіз існуючих конструкцій та принципів компонування дозувально-фасувальних пристроїв</u> | 21.04.24 | |
| 4 | Висновок до розділу 1 | 22.09.24 | |
| 5 | <u>Розділ 2. Аналіз системи управління дозувально-фасувальним пристроєм та вибір ключових елементів управління</u> | 27.09.24 | |
| 6 | Висновок до розділу 2 | 28.09.24 | |
| 7 | <u>Розділ 3. Проведення експериментальних досліджень роботи дозувально-фасувального пристрою для сирих харчових продуктів</u> | 07.10.24 | |
| 8 | Висновок до розділу 3 | 12.10.24 | |
| 9 | Охорона праці | 16.10.24 | |
| 10 | Висновок до розділу 4 | 18.11.24 | |
| 11 | Висновки | 22.11.24 | |
| 12 | Список використаних джерел | 24.11.24 | |

Здобувач


(підпис)

Олександр ФЕДОРЕНКО
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи


(підпис)

Людмила КРИВОПЛЯС-ВОЛОДИНА
(ім'я та прізвище)

Анотація

СИНТЕЗ ДОЗУВАЛЬНО-ФАСУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ СИПКИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Дипломна робота присвячена детальному аналізу конструкцій, принципів функціонування та експериментальному дослідженню дозувально-фасувальних пристроїв для сипких харчових продуктів, які є ключовим елементом технологічних процесів у харчовій промисловості. Метою дослідження є вивчення технічних і технологічних параметрів роботи таких пристроїв, їх конструктивних особливостей, а також розробка рекомендацій для вдосконалення конструкції з метою підвищення точності, стабільності та ефективності дозування сипких продуктів.

У першому розділі виконано аналіз сучасних конструктивних рішень дозувально-фасувальних пристроїв. Проведено огляд існуючих типів конструкцій, які застосовуються для фасування сипких продуктів у харчовій промисловості, та їх основних функціональних характеристик. Значну увагу приділено визначенню впливу конструктивних особливостей та фізико-механічних властивостей продуктів (фракція, сипкість, злежуваність) на точність дозування. Розглянуто схеми компоновки обладнання, які забезпечують оптимальне дозування, і визначено ключові недоліки, що впливають на роботу дозувально-фасувальних пристроїв.

Другий розділ присвячений системі управління дозувально-фасувальним пристроєм. Описано принцип роботи приводів, які забезпечують переміщення дозувального механізму та контроль фасувального процесу. Детально проаналізовано основні елементи системи управління, такі як електронні контролери, датчики, приводи та пневматичні вузли. Розроблено та обґрунтовано авторські пропозиції щодо вдосконалення системи керування для підвищення ефективності та точності роботи. Особлива увага приділена обґрунтуванню вибору регулюючих елементів, які відіграють ключову роль у забезпеченні точності дозування в умовах змінних характеристик продукту та навантажень.

У третьому розділі представлено результати експериментального дослідження роботи модуля дозувально-фасувального пристрою. Проведено детальний опис

технічної системи, яка досліджується, а також експериментальної установки, створеної для моделювання роботи пристроїв у реальних умовах виробництва. Описано методику проведення експериментів із застосуванням математично-статистичних методів аналізу результатів. Дані, отримані під час експериментів, оброблено за допомогою програмного забезпечення Excel. Особлива увага приділена аналізу роботи дозувального механізму, який використовується у досліджуваному пристрої. Проаналізовано вплив конструкції та параметрів механізму на точність дозування сипких продуктів із різними фізико-механічними властивостями.

Окремий розділ присвячено питанням охорони праці, які є важливими для забезпечення безпечних умов експлуатації дозувально-фасувальних пристроїв у харчовій промисловості. Розглянуто основні вимоги безпеки, яких необхідно дотримуватись перед початком роботи з обладнанням. Особливу увагу приділено безпеці в аварійних ситуаціях, пов'язаних із роботою механічних та пневматичних вузлів, а також розробці рекомендацій для уникнення можливих ризиків.

Результати проведених досліджень дозволяють запропонувати практичні рекомендації для вдосконалення конструкції та принципів роботи дозувально-фасувальних пристроїв. Розроблені рекомендації можуть бути використані для підвищення ефективності існуючого обладнання, а також для проектування нових систем дозування, що враховують сучасні вимоги до точності, продуктивності та безпеки.

Ключові слова: дозувально-фасувальні пристрої, сипкі продукти, харчова промисловість, точність дозування, системи управління, експериментальне дослідження.

Abstract

Synthesis of a dosing and packaging device for loose food products

The thesis is devoted to a detailed analysis of the design, principles of operation, and experimental study of dosing and packaging devices for bulk food products, which are key elements in the technological processes of the food industry. The aim of the study is to examine the technical and technological parameters of these devices, their structural features, and to develop recommendations for improving their design to enhance the accuracy, stability, and efficiency of dosing bulk products.

The first chapter analyzes modern design solutions for dosing and packaging devices. A review of existing types of designs used for packaging bulk products in the food industry and their main functional characteristics is conducted. Significant attention is paid to identifying the impact of structural features and the physical and mechanical properties of products (particle size, flowability, caking tendency) on dosing accuracy. Equipment layout schemes that ensure optimal dosing are considered, and key drawbacks affecting the operation of dosing and packaging devices are identified.

The second chapter focuses on the control system of the dosing and packaging device. The principle of operation of drives that ensure the movement of the dosing mechanism and the control of the packaging process is described. The main elements of the control system, such as electronic controllers, sensors, actuators, and pneumatic components, are thoroughly analyzed. Authorial proposals for improving the control system to increase efficiency and accuracy are developed and justified. Particular attention is paid to the justification of the choice of regulating elements that play a key role in ensuring dosing accuracy under changing product characteristics and loads.

The third chapter presents the results of an experimental study of the dosing and packaging module. A detailed description of the technical system under investigation and the experimental setup designed to simulate the operation of devices under real production conditions is provided. The methodology for conducting experiments using mathematical and statistical methods of data analysis is described. The data obtained during the experiments were processed using Excel software. Particular attention is paid to analyzing

the operation of the dosing mechanism used in the studied device. The influence of the mechanism's design and parameters on the accuracy of dosing bulk products with various physical and mechanical properties is analyzed.

A separate chapter is devoted to occupational safety issues, which are essential for ensuring safe working conditions for dosing and packaging devices in the food industry. The main safety requirements to be followed before operating the equipment are reviewed. Special attention is given to safety in emergency situations related to the operation of mechanical and pneumatic units, as well as to developing recommendations for avoiding potential risks.

The results of the conducted research allow for practical recommendations to improve the design and operation principles of dosing and packaging devices. The developed recommendations can be used to enhance the efficiency of existing equipment and to design new dosing systems that meet modern requirements for accuracy, productivity, and safety.

Keywords: dosing and packaging devices, bulk products, food industry, dosing accuracy

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| Анотація..... | 1 |
| Abstract..... | 3 |
| Вступ..... | 7 |
| РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА ПРИНЦИПІВ КОМПОНУВАННЯ ДОЗУВАЛЬНО-ФАСУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ..... | 10 |
| 1.1. Аналіз сучасних конструктивних рішень і схем компонування дозувально- фасувальних пристроїв для сипких харчових продуктів | 10 |
| 1.2. Огляд конструктивних схем обладнання, яке застосовується для дозування сипких харчових продуктів. | 14 |
| 1.3.Окремі групи конструкцій дозаторів..... | 21 |
| Висновок до розділу 1 | 26 |
| РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДОЗУВАЛЬНО- ФАСУВАЛЬНИМ ПРИСТРОЄМ ТА ВИБІР КЛЮЧОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ УПРАВЛІННЯ | 28 |
| 2.1.Принцип роботи приводу, що керує дозувальним механізмом..... | 28 |
| 2.2. Характеристика окремих елементів системи управління дозувально- фасувальним пристроєм..... | 43 |
| 2.3.Розробка авторської пропозиції щодо вдосконалення системи управління ... | 48 |
| Висновок до розділу 2..... | 50 |
| РОЗДІЛ 3. ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ ДОЗУВАЛЬНО-ФАСУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ СИПКИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ..... | 51 |
| 3.1.Огляд досліджуваної системи 1 | 51 |
| 3.2. Детальний опис експериментальної установки | 54 |
| 3.3. Аналіз досліджуваної конструкції 2 в системі чисельного експерименту .. | 55 |

| | |
|--|----|
| 3.4. Методика проведення експериментів | 56 |
| 3.5. Теоретичні аспекти досліджуваної технічної системи | 58 |
| 3.6. Принцип роботи системи контролю наявності продукту в бункері-живильнику | 68 |
| 3.7. Результати чисельного експерименту на основі програми FluidSim | 69 |
| Висновок до розділу 3:..... | 72 |
| ОХОРОНА ПРАЦІ | 73 |
| Висновок до розділу 4..... | 75 |
| ВИСНОВОК..... | 78 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ..... | 80 |

Вступ

Сучасна харчова промисловість є однією з найдинамічніших галузей, де точність та ефективність технологічних процесів мають вирішальне значення для досягнення високої якості продукції. Одним із ключових процесів у виробництві є дозування сипких продуктів, що включає крупи, борошно, цукор, сіль, каву та інші сипкі харчові субстанції. Використання дозувально-фасувальних пристроїв дозволяє забезпечити точне порціонування продуктів, мінімізувати втрати сировини та підвищити продуктивність.

Зростання вимог до харчової промисловості, зокрема до гігієнічності, точності дозування та стабільності роботи обладнання, обумовлює необхідність постійного вдосконалення технологій. Дозувально-фасувальні пристрої є важливим елементом у цьому процесі, оскільки вони безпосередньо впливають на якість продукції, економічність виробництва та задоволення потреб споживачів. Однак у багатьох випадках існують проблеми, пов'язані з недостатньою точністю дозування, нестабільністю роботи за умов змінних фізико-механічних характеристик продукту або технологічних параметрів виробництва.

Недосконалість конструкцій дозувально-фасувальних пристроїв або застарілі підходи до їх систем управління можуть спричинити небажані відхилення у точності дозування, що призводить до перевитрати сировини, порушення рецептури продукції та збільшення виробничих втрат. Це вимагає комплексного аналізу роботи таких пристроїв, їх технічних характеристик, а також систем управління, що забезпечують оптимальну роботу обладнання.

Мета роботи полягає у всебічному аналізі конструктивних рішень та систем управління дозувально-фасувальними пристроями для сипких харчових продуктів, а також у розробці рекомендацій щодо вдосконалення їх конструкцій і принципів роботи для забезпечення високої точності, стабільності та продуктивності.

Для досягнення мети були поставлені такі основні завдання:

- провести огляд та аналіз сучасних конструкцій дозувально-фасувальних пристроїв, їх класифікацію та принципи роботи;
- дослідити особливості роботи системи управління пристроєм, зокрема механічних приводів та елементів регулювання;
- обґрунтувати вибір оптимальних конструктивних елементів для підвищення ефективності роботи обладнання;
- розробити експериментальну установку для тестування роботи пристроїв у виробничих умовах;
- провести експериментальні дослідження та обробити отримані дані за допомогою сучасних програмних засобів, таких як Excel;
- запропонувати рекомендації для модернізації конструкцій дозувально-фасувальних пристроїв та їх інтеграції у виробничі процеси.

Об'єктом дослідження є дозувально-фасувальні пристрої для сипких харчових продуктів, їх конструкція, системи управління та робочі параметри.

Предметом дослідження є вдосконалення конструктивних та функціональних характеристик дозувально-фасувальних пристроїв для підвищення точності дозування та стабільності їх роботи.

Наукова новизна дослідження полягає у комплексному підході до аналізу конструктивних і технологічних аспектів роботи дозувально-фасувальних пристроїв, а також у розробці методики експериментального дослідження, що дозволяє оцінити ефективність роботи таких пристроїв у реальних умовах виробництва.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для вдосконалення існуючого обладнання харчових підприємств, проектування нових систем дозування, а також для підвищення економічної ефективності виробничих процесів. Результати дослідження сприятимуть вирішенню завдань, пов'язаних із точністю дозування, зменшенням виробничих втрат та відповідністю сучасним гігієнічним стандартам.

Таким чином, дана дипломна робота спрямована на вирішення актуальних завдань харчової промисловості, пов'язаних із оптимізацією роботи дозувально-фасувальних пристроїв, що дозволить підвищити ефективність виробництва та якість готової продукції.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА ПРИНЦИПІВ КОМПОНУВАННЯ ДОЗУВАЛЬНО-ФАСУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

1.1. Аналіз сучасних конструктивних рішень і схем компонування дозувально-фасувальних пристроїв для сипких харчових продуктів

Сипкі харчові продукти, такі як крупи, цукор, борошно, сіль, кава та інші, потребують точного та стабільного дозування під час технологічних процесів у харчовій промисловості. Дозувально-фасувальні пристрої є ключовими елементами систем дозування, які забезпечують ефективне порціонування сипких продуктів із дотриманням технологічних і санітарно-гігієнічних норм. Від конструктивних рішень цих пристроїв і схем їх компонування залежить не лише точність дозування, але й продуктивність, економічність та довговічність обладнання.

Дозування – це критично важливий етап у технологічних процесах харчової та інших галузей переробної промисловості, який полягає у точному вимірюванні та подачі певних кількостей сировини, допоміжних матеріалів чи готової продукції. Від точності цього процесу безпосередньо залежить якість кінцевого продукту, ефективність виробництва та відповідність продукції встановленим стандартам.

Сипучі продукти, широко застосовувані в харчовій промисловості, характеризуються значним різноманіттям за своїми фізико-механічними властивостями. Вони можуть бути представлені у вигляді тонкодисперсних порошків (цукрова пудра), дрібних часток (борошно), мілкошматкових матеріалів (цукор), крупношматкових (цукор-рафінад) та навіть пластівчастих (волокна). Об'ємна маса цих матеріалів значно варіює залежно від розміру частинок, їхньої форми, вологості та інших факторів. Рухливість сипучих матеріалів, яка визначається кутом природного укосу, залежить від таких параметрів, як гранулометричний склад, форма частинок, вологість та ступінь зчеплення між ними. Ці властивості суттєво

впливають на вибір обладнання для дозування та транспортування сипучих матеріалів у харчовій промисловості, оскільки від них залежать процеси формування потоків, утворення аркових склепінь та інших явищ, які можуть вплинути на точність дозування та стабільність технологічних процесів.

Сучасні типи дозувально-фасувальних пристроїв

Залежно від принципу роботи, конструктивного виконання та сфери застосування дозувально-фасувальні пристрої для сипких продуктів поділяються на кілька основних типів:

Вагові дозатори — забезпечують порціонування продуктів за масою. Характеризуються високою точністю, однак потребують складних механізмів для зважування, що збільшує їх вартість.

Об'ємні дозатори — здійснюють дозування за об'ємом сипких продуктів, що проходять через мірну ємність або циліндр. Це найпоширеніший тип завдяки їх простоті, надійності та універсальності.

Шнекові дозатори — працюють за принципом подачі продукту через обертовий шнек. Дозволяють працювати з важкоплинними сипкими продуктами та забезпечують рівномірне дозування.

Вібраційні дозатори — використовують вібраційні механізми для подачі продукту. Вони ефективні для дозування продуктів із різною фракцією та сипкістю.

Пневматичні дозатори — базуються на використанні стисненого повітря для транспортування та дозування продуктів. Вони забезпечують високу швидкість роботи та гнучкість застосування.

Основні конструктивні елементи дозувально-фасувальних пристроїв

Сучасні дозувально-фасувальні пристрої складаються з таких основних елементів:

Дозувальний вузол — відповідає за точне вимірювання об'єму або маси сипкого продукту, що дозується.

- Регулюючі механізми — забезпечують контроль над потоком продукту. Для сипких продуктів найчастіше використовують

шиберні, шнекові або клапанні механізми.

- Приводи — механічні, пневматичні або електричні системи, які забезпечують рух дозувального механізму. Приводи вибираються залежно від характеристик продукту та вимог до точності.
- Система управління — включає датчики, електронні контролери та програмне забезпечення для автоматизації дозувального процесу.
- Фасувальний блок — призначений для пакування продукту в тару різних типів (пакети, мішки, коробки тощо).

Схеми компонування дозувально-фасувальних пристроїв

Схеми компонування дозувально-фасувальних пристроїв визначаються вимогами виробничого процесу та характеристиками продукту. Найпоширенішими є:

- Лінійна схема — пристрої розташовуються в один ряд, що забезпечує послідовний процес дозування та фасування для багатьох одиниць тари одночасно.
- Модульна схема — дозволяє комбінувати кілька дозувальних модулів для роботи з різними типами сипких продуктів або підвищення продуктивності.
- Комбінована схема — поєднує лінійні та модульні компонування для досягнення максимальної гнучкості та продуктивності обладнання.

Таким чином, сучасні конструкції дозувально-фасувальних пристроїв забезпечують високі вимоги до точності, продуктивності та надійності обладнання, що дозволяє їм успішно відповідати потребам сучасної харчової промисловості.

Вимоги до потокових дозаторів

Сучасні дозувально-фасувальні пристрої повинні відповідати низці

вимог:

- Точність дозування — мінімізація похибки, що особливо важливо для дорогих або дефіцитних сипких продуктів.
- Стійкість до змінних характеристик продукту — здатність працювати з продуктами різної фракції, сипкості, вологості та злежуваності.
- Продуктивність — забезпечення високої швидкості дозування та фасування без втрати якості.
- Гігієнічність — відповідність санітарно-гігієнічним стандартам харчової промисловості, включаючи легкість у чищенні та обслуговуванні.
- Енергоефективність — мінімальне споживання енергії під час роботи.
- Перспективи вдосконалення конструкцій дозувально-фасувальних пристроїв

Зростаючі вимоги до точності та продуктивності обумовлюють необхідність впровадження інноваційних рішень у конструкції та системи управління. Це включає:

- Використання адаптивних систем управління, які автоматично регулюють параметри дозування залежно від фізико-механічних характеристик сипкого продукту та умов виробництва.
- Застосування нових матеріалів, що забезпечують підвищену зносостійкість та гігієнічність компонентів дозувального механізму.
- Інтеграцію пристроїв із системами Industry 4.0 для підвищення рівня автоматизації, віддаленого моніторингу та управління процесом у реальному часі.
- Оптимізацію конструкцій дозувальних механізмів, таких як шнекові чи вібраційні подавачі, для забезпечення рівномірності

дозування сипких продуктів із різними властивостями.

- Зниження енергоспоживання, зокрема за рахунок застосування сучасних приводів із регульованою частотою обертів.

Аналіз сучасних конструктивних рішень і схем компоновки дозувально-фасувальних пристроїв дозволяє визначити основні напрями для їх вдосконалення. Це створює передумови для розробки більш ефективних, точних і надійних систем дозування та фасування, які відповідатимуть сучасним вимогам харчової промисловості.

1.2. Огляд конструктивних схем обладнання, яке застосовується для дозування сипких харчових продуктів.

Дозування сипких харчових продуктів є важливою складовою технологічних процесів у харчовій промисловості. Для цього використовуються різноманітні конструктивні схеми обладнання, які забезпечують високу точність, продуктивність і гнучкість роботи з продуктами, що мають різні фізико-механічні властивості (фракція, сипкість, вологість, схильність до злежування). Розглянемо основні конструктивні схеми та принципи їх функціонування.

1. Вагові дозатори

Вагові дозатори забезпечують порціонування продуктів за масою, використовуючи вагові датчики для контролю та регулювання кількості продукту.

Особливості:

- Висока точність дозування.
- Можливість роботи з різними сипкими продуктами.
- Використання електронних вагових платформ для інтеграції з системами автоматизації.

Недоліки:

- Відносно низька продуктивність через необхідність стабілізації ваги перед дозуванням.
- Залежність точності від стану вагового обладнання.

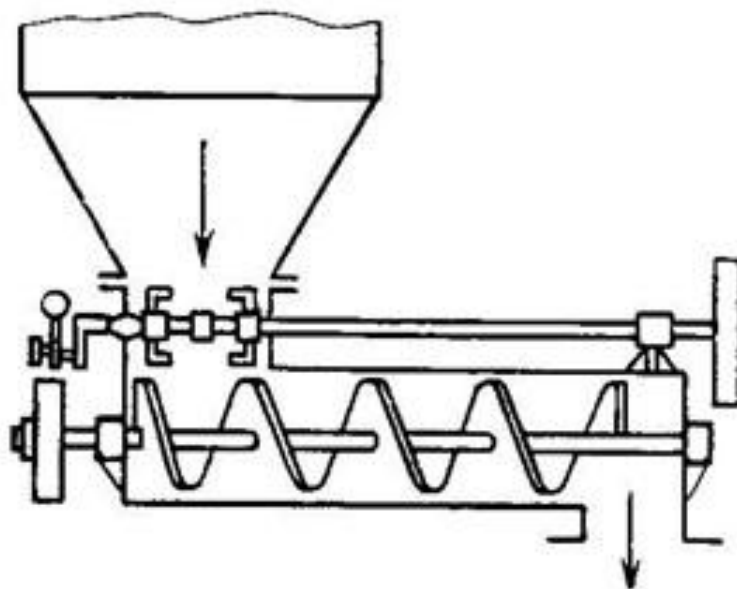


Рис.1.2.1. Базова конструкція вагового дозатора.

2. Об'ємні дозатори

Об'ємні дозатори працюють за принципом відмірювання об'єму продукту за допомогою мірних ємностей, шнеків або ковшів.

Особливості:

- Простота конструкції.
- Швидке дозування.
- Відсутність залежності від фізико-механічних властивостей продукту.

Недоліки:

- Знижена точність у випадку зміни щільності або вологості продукту.



Рис.1.2.2. Загальний вигляд об'ємного дозатора.

3. Шнекові дозатори

Шнекові дозатори здійснюють подачу сипкого продукту за допомогою обертання шнека, який регулює кількість дозованого матеріалу.

Особливості:

- Ефективні для важкоплинних і злежаних продуктів.
- Забезпечують рівномірне дозування.
- Можливість регулювання швидкості обертання шнека для зміни

доза.

Недоліки:

- Відносно складна конструкція, що потребує регулярного обслуговування.



Рис.1.2.3. Загальний вигляд шнекового дозатора.

4. Вібраційні дозатори

- Вібраційні дозатори використовують вібрацію для подачі продукту в приймальну ємність або мірний вузол.

Особливості:

- Підходять для роботи з продуктами різної фракції та сипкості.
- Можливість точного регулювання подачі за допомогою зміни інтенсивності вібрації.

Недоліки:

- Залежність продуктивності від фізичних властивостей продукту.
- Підвищений рівень шуму.



Рис.1.2.4. Загальний вигляд вібраційного дозатора.

5. Пневматичні дозатори

- Пневматичні дозатори використовують стиснене повітря для транспортування та дозування продукту.

Особливості:

- Висока швидкість дозування.
- Здатність працювати з різними типами сипких продуктів.
- Простота конструкції.

Недоліки:

- Потреба у джерелі стисненого повітря.
- Можливе руйнування продукту через високу швидкість подачі.



Рис.1.2.5. Загальний вигляд пневматичного дозатора.

6. Комбіновані дозатори

Це багатофункціональні системи, які поєднують кілька принципів дозування, наприклад, ваговий та об'ємний методи.

Особливості:

- Універсальність.
- Можливість роботи з широким спектром сипких продуктів.
- Забезпечення високої точності та продуктивності.

Недоліки:

- Висока вартість.
- Складність конструкції, що потребує професійного обслуговування.
- Порівняння конструктивних схем



Рис.1.2.5. Загальний вигляд комбінованого дозатора.

Кожна конструктивна схема має свої переваги та недоліки, які визначаються вимогами до виробничого процесу, характеристиками продукту та умовами експлуатації. Обрання оптимальної конструкції дозатора залежить від таких факторів:

- Тип продукту (фракція, вологість, сипкість).
- Необхідна точність дозування.

- Продуктивність обладнання.
- Енергоефективність.

Висновок. Конструктивні схеми дозувально-фасувальних пристроїв для сипких продуктів повинні відповідати специфічним вимогам виробництва, забезпечуючи точність, продуктивність і надійність. Огляд сучасних схем дозволяє визначити ключові напрямки для вдосконалення обладнання, що сприятиме підвищенню ефективності дозування у харчовій промисловості.

1.3.Окремі групи конструкцій дозаторів

Вакуумні дозатори

Вакуумні дозатори для сипких харчових продуктів функціонують на основі створення зниженого тиску в дозувальній камері. Продукт засмоктується в камеру завдяки вакууму, після чого він переміщується у фасувальну зону через спеціальний дозувальний механізм. Цей тип дозаторів забезпечує високий рівень точності та мінімізує втрати продукту, що є важливим для харчової промисловості.

Основні компоненти вакуумного дозатора

Камера дозування є герметичною ємністю, де створюється вакуум. Її матеріал виготовлення залежить від умов експлуатації та типу сипкого продукту:

- Нержавіюча сталь — використовується для роботи з харчовими продуктами, оскільки вона забезпечує високу гігієнічність та стійкість до корозії.
- Пластик — підходить для роботи з менш агресивними продуктами або в умовах низького навантаження.
- Алюміній — забезпечує легкість конструкції, але має обмежену стійкість до деяких хімічних речовин.

Вакуумний насос є ключовим компонентом, який забезпечує створення зниженого тиску в камері. Для роботи з сипкими продуктами використовуються спеціальні насоси, що відповідають таким вимогам:

- Висока герметичність для запобігання втратам вакууму.
- Відповідність санітарно-гігієнічним стандартам харчової промисловості.
- Стійкість до пилу та абразивних частинок, які можуть бути в складі сипких продуктів.

Дозувальний елемент відповідає за точне переміщення продукту з камери у фасувальну ємність. Залежно від конструкції дозатора, дозувальний елемент може бути:

- Поршневий механізм — забезпечує рівномірне та точне дозування навіть для важкоплинних продуктів.
- Шиберний клапан — підходить для продуктів із доброю сипкістю, забезпечуючи швидке відкривання та закривання потоку.
- Мембранний механізм — забезпечує м'яке дозування, що важливо для делікатних або крихких продуктів.
- Переваги вакуумних дозаторів
- Висока точність дозування завдяки стабільному вакууму.
- Мінімальні втрати продукту при дозуванні.
- Можливість роботи з дрібнофракційними або пилоутворюючими сипкими продуктами.
- Легкість очищення та відповідність санітарним стандартам.

Недоліки вакуумних дозаторів:

- Відносно висока енергозатратність через необхідність постійної роботи вакуумного насоса.
- Чутливість до порушення герметичності системи, що може знижувати точність дозування.
- Потреба у регулярному технічному обслуговуванні насоса та дозувальних елементів.

Вакуумні дозатори для сипких харчових продуктів є високотехнологічними системами, які забезпечують точне та ефективно дозування за умов дотримання гігієнічних вимог. Їх застосування доцільне в умовах, де потрібна висока точність, мінімізація втрат і робота з делікатними продуктами. Подальше вдосконалення конструкцій вакуумних дозаторів спрямоване на підвищення їх енергоефективності та стійкості до зношування.

Принцип роботи поршневого дозатора

Принцип роботи поршневого дозатора

Поршневий дозатор є одним із найпоширеніших типів дозувального обладнання, що забезпечує високу точність порціонування сипких або рідких продуктів. Його робота базується на циклічному русі поршня, який відбирає та подає задану кількість продукту через дозувальний механізм.

Основні етапи роботи поршневого дозатора

Забір продукту

- Поршень переміщується в положення, що створює вакуум у мірній камері або циліндрі.
- Продукт (сипкий або рідкий) потрапляє в камеру через впускний клапан або отвір.
- Для сипких продуктів важливо, щоб продукт мав достатню сипкість і рівномірно надходив у камеру.

Вимірювання дози

Об'єм продукту, що відбирається, визначається положенням поршня та розмірами мірної камери.

Поршневий хід може бути регульованим для зміни дози відповідно до потреб виробництва.

Подача продукту

- Після заповнення камери поршень рухається у зворотному напрямку, видавлюючи продукт через випускний клапан або канал у тару чи фасувальну ємність.

У цей момент впускний клапан закривається, що запобігає поверненню продукту назад у джерело.

Основні елементи поршневого дозатора

Поршень і циліндр

- Циліндр є мірною камерою, у якій відбувається процес дозування.
- Поршень забезпечує переміщення продукту всередині циліндра. Він може бути виготовлений із нержавіючої сталі, пластику або інших матеріалів, залежно від типу продукту.

Впускний і випускний клапани

- Впускний клапан відкривається під час забору продукту та закривається під час його подачі.
- Випускний клапан функціонує протилежно: він відкривається для випуску продукту та закривається під час заповнення камери.

Привод поршня

- Поршень може приводитися в рух за допомогою механічного, пневматичного або електричного приводу.
- Вибір типу приводу залежить від продуктивності обладнання, властивостей продукту та умов експлуатації.

Система управління

- Сучасні поршневі дозатори оснащуються електронними

системами управління, які регулюють хід поршня, швидкість дозування та взаємодію з іншими вузлами обладнання.

Переваги поршневих дозаторів

- Точність дозування — забезпечують стабільну дозу завдяки фіксованому об'єму мірної камери.
- Універсальність — можуть працювати з різними продуктами, включаючи в'язкі та важкоплинні сипкі матеріали.
- Регульованість — легко налаштовуються на різні дози.
- Простота конструкції — знижує ймовірність збоїв і полегшує обслуговування.

Недоліки поршневих дозаторів

- Чутливість до зносу ущільнювачів поршня та клапанів, що може впливати на точність дозування.
- Обмеження у швидкості роботи порівняно з іншими типами дозаторів.
- Потреба у регулярному чищенні для запобігання забрудненню продукту.

Принцип роботи поршневого дозатора базується на циклічному русі поршня, що дозволяє точно відміряти та подавати задану кількість продукту. Завдяки своїй точності, простоті та універсальності поршневі дозатори широко застосовуються в харчовій промисловості для дозування сипких і рідких продуктів, забезпечуючи ефективність і надійність виробничих процесів.

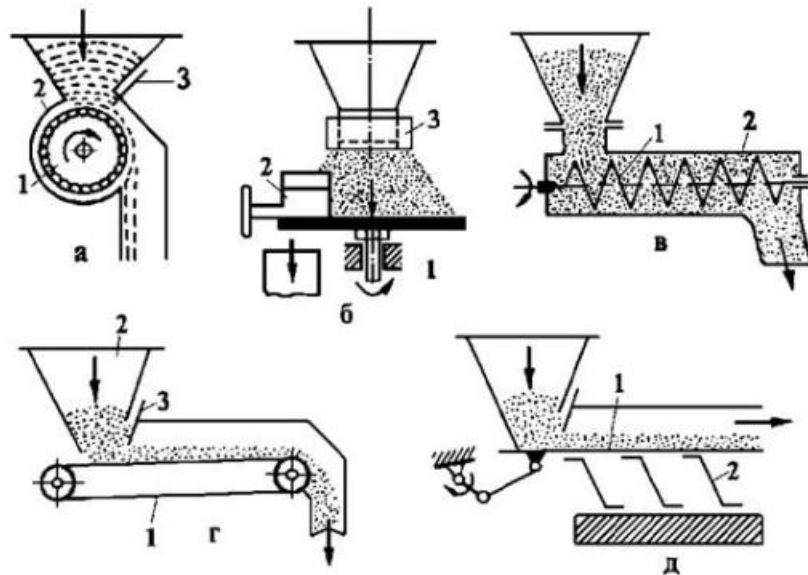


Рис.1.2.6. Схеми дозаторів сипких матеріалів об'ємного типу: а – барабанний; б – тарілковий; в – шнековий; г – стрічковий; д – вібраційний.

Позиційний привід із дозуючими елементами є ефективним рішенням для систем, що потребують високої точності, плавності переміщення та надійності. Однак складність управління та обмеження щодо двонаправленості руху штока потребують ретельного проектування та налаштування системи. Ця конструкція є оптимальною для застосувань, де критично важливі точність і стабільність роботи, наприклад, у харчовій, фармацевтичній та інших галузях промисловості.

Висновок до розділу 1

У першому розділі проведено детальний аналіз сучасних конструктивних рішень та схем компонування дозувально-фасувальних пристроїв для сипких харчових продуктів. Розглянуто основні типи дозаторів, їх переваги, недоліки та сферу застосування, зокрема вагові, об'ємні, шнекові, вібраційні, пневматичні та вакуумні системи.

Проведений аналіз показав, що вибір конструкції дозувального пристрою значною мірою залежить від фізико-механічних властивостей продукту (фракція, сипкість, вологість, злежуваність), вимог до точності дозування, продуктивності обладнання та умов експлуатації.

Також було розглянуто особливості основних конструктивних елементів, таких як мірні вузли, регулюючі механізми, приводи та системи управління. Встановлено, що їх правильне проектування та вибір матеріалів є ключовими факторами для забезпечення ефективної, надійної та безпечної роботи дозувально-фасувальних пристроїв.

Аналіз сучасних схем компонування обладнання показав, що для підвищення продуктивності та гнучкості виробничих процесів доцільним є використання комбінованих рішень, які поєднують переваги різних типів дозаторів.

Таким чином, результати аналізу формують основу для подальших досліджень та вдосконалення конструктивних і функціональних характеристик дозувально-фасувальних пристроїв з метою підвищення їх точності, стабільності роботи та відповідності сучасним вимогам харчової промисловості.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДОЗУВАЛЬНО-ФАСУВАЛЬНИМ ПРИСТРОЄМ ТА ВИБІР КЛЮЧОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ УПРАВЛІННЯ

2.1. Принцип роботи приводу, що керує дозувальним механізмом

Привід, що керує дозувальним механізмом, є ключовим елементом дозувально-фасувального пристрою. Його завдання полягає у забезпеченні точного та стабільного переміщення дозувального елемента, який відміряє і подає порцію продукту. Приводи можуть бути різних типів залежно від вимог до точності, швидкості роботи та характеристик продукту.

Типи приводів для дозувальних механізмів

Механічні приводи

- Передача руху здійснюється за допомогою зубчастих передач, ланцюгів або ременів.
- Використовуються в умовах, де необхідна проста конструкція та невелика швидкість роботи.
- Основний недолік — обмежена точність і гнучкість налаштування.

Електричні приводи

- Забезпечують високу точність та гнучкість завдяки можливості регулювання обертів і швидкості через інвертори.
- Основні компоненти: електродвигун, редуктор, система керування (контролери, датчики).
- Використовуються для автоматизованих систем із високими вимогами до точності дозування.

Пневматичні приводи

- Діють за рахунок стисненого повітря, яке приводить у рух поршень або мембрану, що керує дозувальним механізмом.
- Переваги: простота, висока швидкість роботи, безпечність у вибухонебезпечних середовищах.

- Недоліки: потреба в компресорі та обмежена точність через стиснення повітря.

Гідравлічні приводи

- Використовують рідину під тиском для створення сили, що переміщує дозувальний механізм.
- Висока точність та стабільність роботи навіть при великих навантаженнях.
- Недоліки: складність конструкції, потреба в системах охолодження та герметичності.

Комбіновані приводи

- Поєднують переваги кількох типів приводів, наприклад, пневматичних і механічних або гідравлічних і електричних.
- Забезпечують високу універсальність, але потребують складного управління.

Принцип роботи приводу

- Стадія 1: Ініціація руху. Привод отримує сигнал від системи управління про початок робочого циклу. Це може бути команда від контролера або датчика положення/ваги.
- Стадія 2: Переміщення дозувального елемента. Для пневматичних або гідравлічних приводів тиск у камерах регулюється клапанами, забезпечуючи необхідний рух поршня чи мембрани. Для електричних приводів двигун передає обертання на дозувальний механізм через редуктор.
- Стадія 3: Фіксація положення. Після досягнення необхідного положення (відміряна порція продукту) привод зупиняє рух дозувального елемента. Фіксація може здійснюватися механічними стопорами, блокуванням зворотного клапана або електронними командами.

- Стадія 4: Повернення у вихідне положення. Після видачі порції продукту привід повертає дозувальний елемент у початкове положення для повторного циклу. Це забезпечує безперервність процесу дозування.

Особливості управління приводом

- Датчики положення та ваги: забезпечують контроль точності руху та відповідність заданій порції продукту.
- Системи автоматизації: сучасні приводи оснащуються контролерами, які регулюють швидкість і силу руху залежно від властивостей продукту (сипкість, щільність).
- Безпека: передбачає аварійне вимкнення у разі перевантаження або збоїв у роботі.
- Приклад роботи пневматичного приводу з дозувальним механізмом

Запуск циклу: Стиснене повітря подається в одну з камер, переміщуючи поршень у робоче положення.

- Дозування: Рух поршня приводить у дію шиберний механізм, що відміряє порцію сипкого продукту.
- Вивантаження продукту: Після завершення дозування клапан випускає стиснене повітря, а поршень повертається у вихідне положення.



Рис. 2.1.1. Лінія фасування сипких продуктів

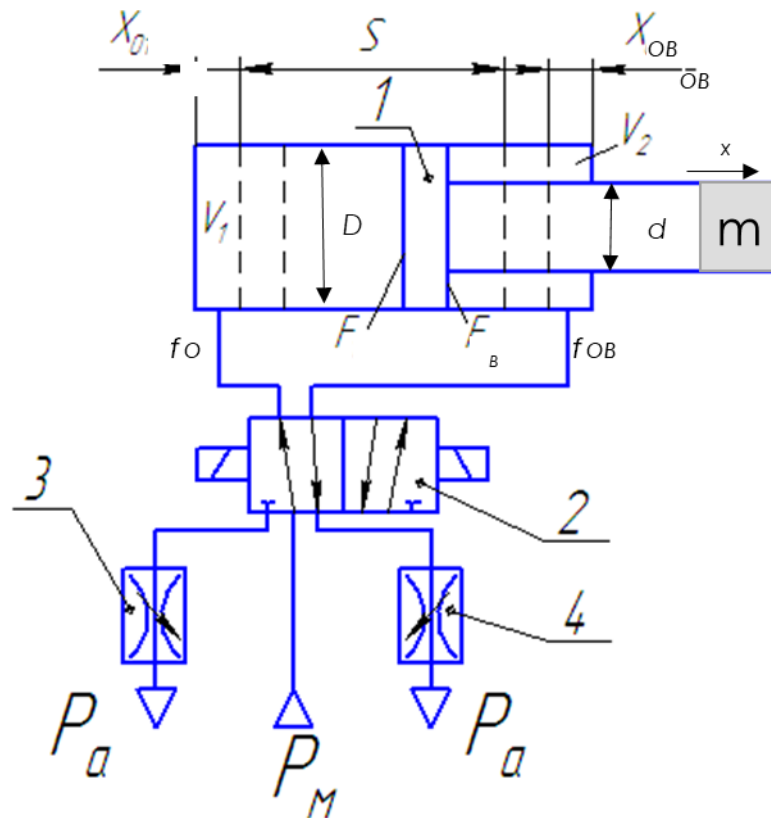


Рис. 2.2.2. Схема пневмоприводу

Розрахункова схема пневмоприводу дозувального механізму

Розрахункова схема пневмоприводу для дозувального механізму сипких харчових продуктів представлена на рисунку 2.2. Основним елементом цієї схеми є пневматичний циліндр двосторонньої дії, який забезпечує точне і стабільне переміщення дозувального елемента.

Положення поршня та визначення координат

Поршень пневмоциліндра під час свого руху вправо має поточну координату x , яка відлічується від умовного нуля. У вихідному положенні поршня (показаному пунктирною лінією) координата $x=0$. У цьому стані між поршнем і кришкою циліндра залишається певний залишковий об'єм, який називається шкідливим об'ємом циліндра.

Для забезпечення коректного розрахунку враховується також фіктивна координата, яка відповідає мінімальному розрахунковому об'єму робочої порожнини циліндра. Цей об'єм повинен бути заповнений стисненим повітрям для початку руху поршня.

Фактичний і мінімальний об'єми робочої порожнини

Фактичний об'єм робочої порожнини пневмоциліндра включає:

Шкідливий об'єм — залишковий простір між поршнем і кришкою циліндра у вихідному положенні.

Об'єм робочого трубопроводу — трубопровід, що з'єднує робочу порожнину з виходом пневморозподільника.

Мінімальний об'єм робочої порожнини визначається як сума шкідливого об'єму та приведеного об'єму трубопроводу. Приведений об'єм є спрощеним значенням, що використовується для розрахунків замість фактичного, враховуючи нерівномірне наповнення трубопроводу.

Особливості наповнення робочої порожнини

Наповнення робочої порожнини циліндра та трубопроводу є нерівномірним через динаміку руху стисненого повітря.

Для спрощення розрахунків фактичний об'єм трубопроводу замінюється його приведеним значенням, що дозволяє оптимізувати розрахункові моделі.

Застосування у дозувальному механізмі

Пневматичний привід забезпечує точне позиціонування дозувального елемента та стабільне виконання циклів дозування. Завдяки точному визначенню координат поршня і врахуванню об'ємів системи можна досягти:

Зниження енергоспоживання за рахунок оптимального використання стисненого повітря.

Підвищення точності дозування сипких продуктів.

Стабільної роботи механізму навіть при змінних параметрах системи, таких як температура чи тиск..

Координата x_0 , яка визначає початкове положення поршня, розраховується за формулою (2.1):

$$x_0 = \frac{V_{p \min}}{F} = \frac{V_0 + V_{pm}}{F}, \quad (2.1)$$

$V_{p \min}$ – мінімальний обчислюваний обсяг для робочої камери; F – поверхня поршня з боку робочої камери; V_0 – шкідливий об'єм для циліндру; V_{pm} – розрахунковий об'єм трубопроводу. Так само знаходиться координата x_{ov} , що характеризує мінімальний розрахунковий об'єм порожнини вихлопу:

$$x_{ov} = \frac{V_{ov} + V_{pmv}}{F_v}. \quad (2.2)$$

У положенні, зображеному на схемі, поршень пневмоциліндра з приведеною до штока масою рухомих елементів m , які переміщуються із

швидкістю

$x = dx/dt$ (миттєве значення), та долаючи силу опору P . Кожному моменту

руху відведено визначений стан повітря у порожнинах циліндру, що характеризується абсолютними тисками: p і p_e , абсолютними температурами T і T_b , густиною ρ та ρ_e .

На схемі наведено діаметр поршня D і діаметр штоку d , довжину руху ста рівні тисків P_m , які підводяться, атмосферного тиску P_a .

Час наповнення робочої порожнини визначається із виразу:

$$t_{nan} = 3.62 \cdot 10^{-3} \frac{V_{p \min}}{f_e} [\psi(\sigma_p) - \psi(\sigma_a)], \quad (2.3)$$

де $V_{p \min}$ - мінімальний розрахунковий об'єм робочої порожнини; f_e - ефективна площа прохідного перетину лінії підводу; [19] $\sigma = p/P_m$ -

безрозмірний тиск в робочій порожнині пневмоциліндра, що є відношення поточного тиску в цій порожнині до тиску, що підводиться від живлення;

$\sigma_a = P_a/P_m$ - безрозмірний тиск, що відповідає початку наповнення;

$\sigma_p = P_p/P_m$ - безрозмірний тиск в кінці підготовчого періоду в момент

початку руху поршня з місця; $\psi_1(\sigma_p)$, $\psi_1(\sigma_a)$ функції тиску, що визначаються згідно графіку на рис. 2.3. [18]

Час випуску повітря із порожнини вихлопу від початкового у ній тиску $P_{впоч} = P_m$ щодо тиску руху $P_{ер}$ у момент початку руху поршня із місця визначається із залежності:

$$t_{on} = 2.53 \cdot 10^{-2} \frac{V_{pe}}{f_{ee} \cdot \sigma_a^{2k}} [\psi_2(\sigma_{ep}) - \psi_2(\sigma_a)]. \quad (2.4)$$

$V_{pв} = V_{pвmin} + F_v \cdot s$ - де розрахунковий об'єм для порожнини вихлопу,

$\sigma_1 = p_a / p_e$ - безрозмірний тиск у порожнині вихлопу, що відповідає

відношенню атмосферного тиску p_a щодо поточного значення тиску у цій

порожнині, $\sigma_a = \sigma_{ea} = p_a / p_m$ - безрозмірний тиск в порожнині вихлопу на

початку спорожнення, $\sigma_{ep} = p_a / p_{ep}$ - безрозмірний тиск у порожнині

вихлопу на початку руху поршня з місця, $\psi_2(\sigma_{ep}), \psi_2(\sigma_a)$ - функції тиску у

порожнині тиску, яка визначається згідно графіка на рис.2.3.

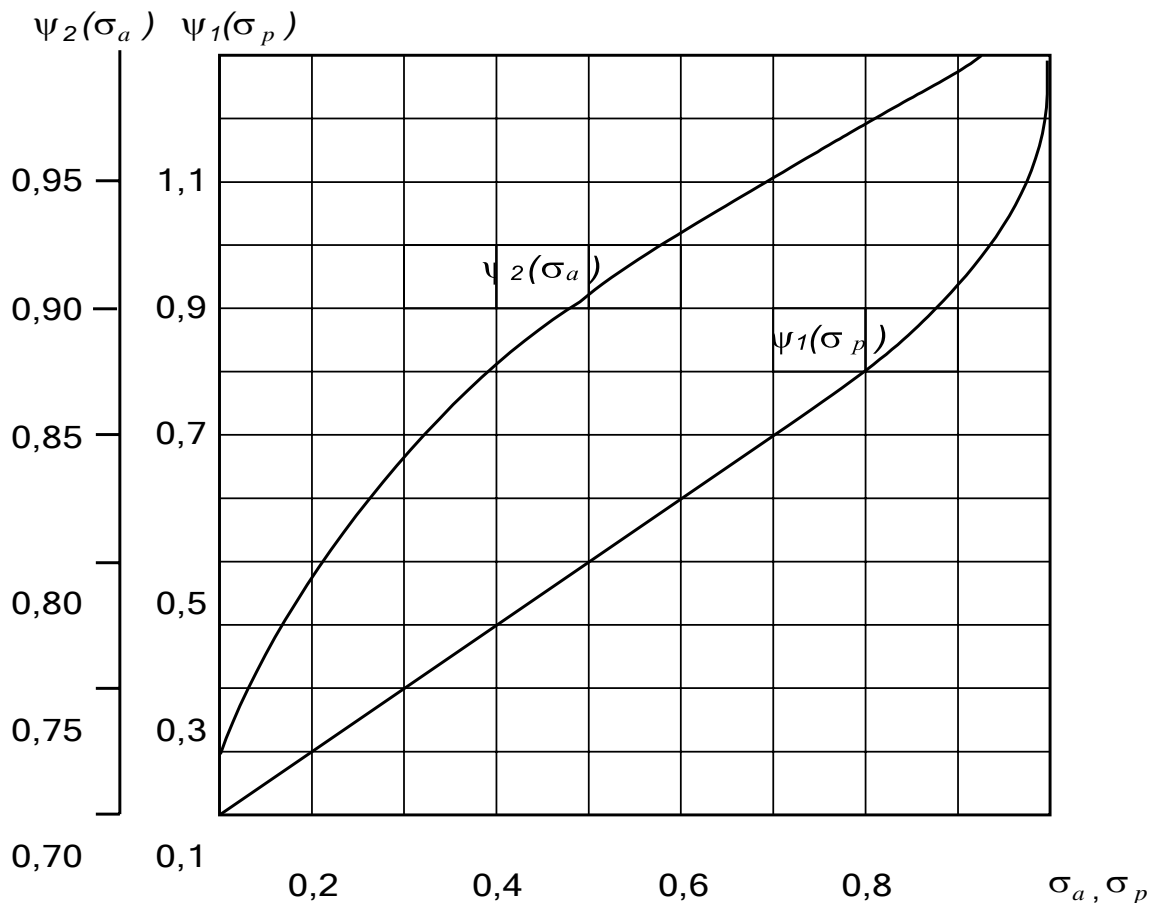


Рис. 2.2.3. Загальний вигляд графіків функцій

Необхідні етапи розрахунку тиску під час руху визначаються з рівняння балансу сил, які діють на поршень на початковій стадії руху:

$$p_e \cdot F - p_{ep} \cdot F_e - P = 0.$$

У рівняння входить сила опору руху $+ P_2 = mg + p_a (F - F_v)$,

яка включає в себе силу тертя P_1 , корисне навантаження P_2 , масову силу mg , що враховується при вертикальному розташуванні циліндра з відповідним знаком, а також поправку $p_a(F-F_e)$, яка викликана тим, що в рівнянні (2.6) враховуються не надлишкові, відповідно абсолютні тиски.[20]

Циклограма роботи диференціального пневмопривода

Циклограма роботи пневмоприводу дозувального механізму відображає зміну тиску в камерах робочого циліндра залежно від часу, а також часові інтервали переміщення та зупинки поршня. Початок робочого циклу визначається моментом активації системи управління, коли розподільник подає стиснене повітря до робочої порожнини циліндра. Час реакції системи залежить від швидкості спрацьовування розподільника та відкриття отворів для подачі повітря.

Після активації розподільника стиснене повітря надходить до робочої порожнини пневмоциліндра. Процеси відкриття отворів у розподільнику та керуючому пристрої можуть відбуватися одночасно із поширенням хвилі стисненого повітря. Оскільки час відкриття розподільника є незначним порівняно із загальним часом циклу, в розрахунках передбачається, що хвиля тиску виникає після повного відкриття отвору.

Під дією різниці тисків у камерах поршень починає рух у напрямку до робочої зони дозування. Тривалість цього переміщення залежить від об'єму робочої порожнини, швидкості подачі повітря, сили тертя в системі та фізичних властивостей приводу. Коли поршень досягає кінцевого положення, тиск у камері стабілізується, і система переходить у фазу очікування або виконує дозування сипкого продукту.

Циклограма дозволяє відобразити всі фази роботи пневмоприводу, включаючи моменти активації, стабілізації тиску, переміщення поршня та його зупинки. Аналіз циклограми має практичне значення, оскільки дозволяє оптимізувати параметри роботи пневмоприводу: мінімізувати час затримки між подачею сигналу управління та початком руху, забезпечити

стабільність тиску для точного дозування, а також підвищити енергоефективність системи шляхом належного управління фазами перемикання.

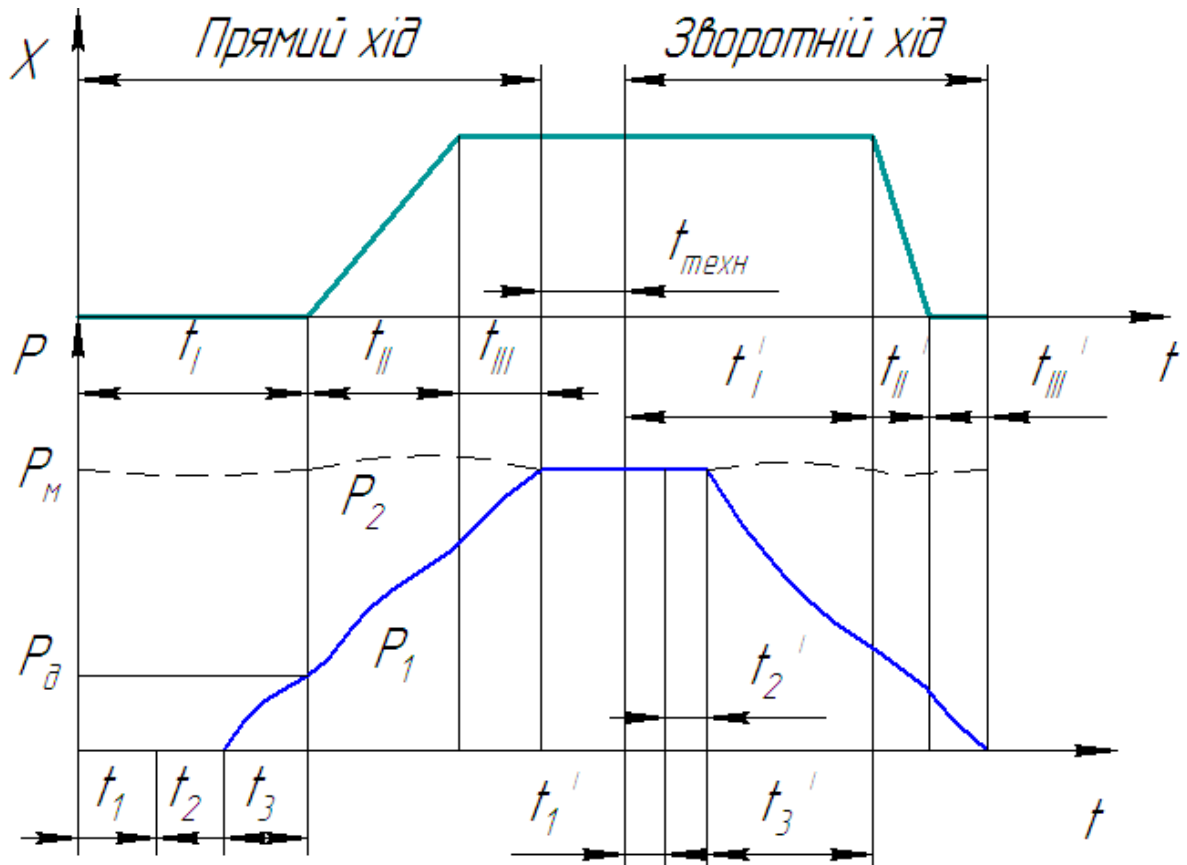


Рис. 2.3. Циклограма диференціального пневматичного привода

У роботі пневмоприводу дозувального механізму існують кілька ключових часових інтервалів, які характеризують процеси підготовки до руху та самого переміщення поршня. Ці інтервали відображаються на циклограмі як зміни тиску в робочих камерах циліндра та періоди руху або зупинки поршня.

1. Інтервал : Час відкриття розподільника

Це період, протягом якого розподільник змінює своє положення, відкриваючи канал для подачі стисненого повітря до циліндра. У цей час механізм всередині розподільника перемикається, створюючи прохід для повітря.

У більшості випадків цей інтервал є дуже коротким, тому в розрахунках він часто спрощується або вважається миттєвим.

Фактично, це момент, коли система отримує сигнал управління і починає діяти.

$$t_1 = \frac{s_r}{v_r}$$

2. Інтервал. Час поширення хвилі тиску

Цей інтервал відповідає процесу передачі стисненого повітря від розподільника до робочої камери пневмоциліндра.

Повітря проходить через трубопровід із розподільника до циліндра.

Час цього процесу залежить від довжини трубопроводу та швидкості поширення повітря.

У технічному аналізі цей інтервал часто враховують для оптимізації довжини і діаметра трубопроводів, щоб мінімізувати затримки.

$$t_2 = \frac{L_t}{v_{air}}$$

Час наростання тиску в робочій порожнині до моменту початку руху поршня. Цей період триває від моменту подачі стисненого повітря до порожнини циліндра до моменту, коли тиск перевищує силу опору руху поршня. Для розрахунку потрібно врахувати:

Формула для t_3 :

$$t_3 = \frac{V_c(P_{start} - P_0)}{Q}$$

Загальний час підготовки перед початком руху поршня:

$$t_I = t_1 + t_2 + t_3$$

Час руху поршня. Залежить від конструктивних параметрів циліндра (перетину поршня, сили тертя) та навантаження.

$$t_{II} = \frac{L_p}{v_p}$$

Переміщення поршня пневматичного циліндра двосторонньої дії можна охарактеризувати через систему диференціальних рівнянь, що визначають його швидкість, прискорення та тиски у робочій і вихлопній камерах. [28]

$$\begin{aligned} \frac{d^2x}{dt^2} &= \frac{1}{m}(pF - p_e F_e - P); & (2.7) \\ \frac{dp}{dt} &= \frac{k}{x+x_0} \left[\frac{f_e \cdot K \cdot \rho_m \sqrt{RT_m} \cdot \varphi(\sigma)}{F} - p \cdot \frac{dx}{dt} \right]; \\ \frac{dp_e}{dt} &= \frac{k}{s+x_{0e}-x} \left[p_e \cdot \frac{dx}{dt} - \frac{f_{se} \cdot K \cdot p_e^{\frac{3k-1}{2k}} \sqrt{RT_m} \cdot \varphi(\sigma_e)}{F_e \cdot p_m^{\frac{k-1}{2k}}} \right]. \end{aligned}$$

$$K = \sqrt{\frac{2k}{k-1}}$$

$k = 1.4$ – показник адіабати, K – коефіцієнт, R – газова постійна

(для сухого повітря $R = 287$ Дж/кг град), T_m – абсолютна температура

повітря, що підводиться з магістралі, $\varphi(\sigma)$, $\varphi(\sigma_e)$ – функція витрати, що визначається згідно до формули:

$$\varphi(\sigma) = \sqrt{\sigma^{\frac{2}{k}} - \sigma^{\frac{k+1}{k}}}.$$

(2.8)

У загальному випадку система рівнянь не має аналітичного розв'язку. Її можна вирішити лише методом числового інтегрування.

$$x_n = 0; \left(\frac{dx}{dt}\right)_n = \dot{x}_n = 0;$$

Початковими параметрами при інтегруванні є:

$$\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)_n = x_n = 0; p_n = p_p; \sigma_n = \frac{p_p}{p_m} = \sigma_p; P_{en} = p_{ep}; \sigma_{en} = \frac{p}{p_{ep}} = \sigma_{ep}.$$

Інтегрування ведеться до тих пір, поки не буде знайдене значення кінцевої координати поршня $x_{kin} \geq s$. Сума для інтервалів часу на всіх кроках інтегрування в межах зміни x від 0 до s дає час руху t_p . Значення x, \dot{x}, p, p_e і t дозволяють отримати результати, по яким формуються залежності $x = f(t), \dot{x} = f(t), p = f(t)$ і $p_e(t)$, що дають повну уяву що до процесу руху поршня.

У штоковій камері робочий тиск повітря у вихідному положенні поршня дорівнює магістральному. Під час руху поршня тиск у порожнині збільшується, і частина повітря перетікає в магістраль. Цей процес може завершитися вже в період зупинки поршня (позначено штриховою лінією). В поршневій порожнині, коли поршень закінчить робочий хід, роб. тиск P_1 зазвичай зрівнюватиметься з магістральним P_m аботиском, необхідним технологічним процесом - відповідає час $t_{техн}$.

2.2. Характеристика окремих елементів системи управління дозувально-фасувальним пристроєм

Система управління дозувально-фасувальним пристроєм є ключовою частиною конструкції, що забезпечує точну, стабільну та продуктивну роботу обладнання. Вона складається з механічних, пневматичних, електронних та програмних компонентів, які взаємодіють для автоматизації процесу дозування і фасування сипких продуктів. Розглянемо основні елементи цієї системи та їх функції.

1. Контролер

Контролер є центральним елементом системи управління, який відповідає за координацію роботи всіх вузлів пристрою.

Функції контролера:

- Приймає сигнали від датчиків положення, ваги, тиску та інших сенсорів.
- Опрацьовує дані і генерує команди для виконавчих механізмів (приводів, клапанів, дозувальних елементів).
- Забезпечує синхронізацію між етапами дозування та фасування.
- Дозволяє регулювати параметри процесу через панель оператора або програмне забезпечення.

Типи контролерів:

Програмовані логічні контролери (PLC): найпоширеніший варіант для промислових систем. Відзначаються надійністю, модульністю та можливістю інтеграції із системами Industry 4.0.

Мікроконтролери: використовуються у компактних і менш складних пристроях.



Рис. 2.4.1. Програмований контролер SIEMENS дозувально-фасувального пристрою.

2. Датчики

Датчики забезпечують зворотний зв'язок, який дозволяє системі управління контролювати поточний стан пристрою та адаптувати його роботу до умов виробництва.

Типи датчиків у дозувально-фасувальних пристроях:

- Датчики ваги: забезпечують контроль точності дозування.
- Датчики положення: визначають положення поршня, клапанів чи інших рухомих елементів.

Датчики рівня продукту: використовуються для моніторингу кількості сипкого продукту в бункері.

Датчики тиску: контролюють подачу стисненого повітря в пневмосистемах.

Оптичні датчики: визначають наявність або положення тари.

Особливості:

- Забезпечують високу точність і стабільність роботи системи.

- Датчики можуть працювати в реальному часі, забезпечуючи миттєвий зворотний зв'язок для контролера.

3. Виконавчі механізми

Виконавчі механізми реалізують команди, які надходять від контролера, та забезпечують фізичне виконання операцій дозування і фасування.

Основні виконавчі елементи:

- Приводи: забезпечують рух дозувальних елементів, клапанів чи механізмів фасування. Приводи можуть бути електричними, пневматичними або гідравлічними.
- Клапани: контролюють потік сипкого продукту, відкриваючи та закриваючи канали дозування.
- Шнекові механізми: дозують сипкий продукт, подаючи його з бункера до мірної ємності.

Особливості:

- Висока точність і швидкість роботи.
- Надійність і довговічність у роботі з різними сипкими продуктами.

4. Панель оператора

Панель оператора є інтерфейсом між людиною та системою управління.

Функції:

- Відображає стан системи в реальному часі (наприклад, рівень продукту, вагу порції, стан виконавчих механізмів).
- Дозволяє оператору задавати параметри роботи пристрою (наприклад, вагу або об'єм порції, швидкість фасування).
- Попереджає про збої в роботі системи за допомогою візуальних або звукових сигналів.

Типи панелей:

- Текстові дисплеї (для простих систем).

- Графічні панелі з сенсорним управлінням (для складних автоматизованих систем).

5. Система керування пневматикою

Пневматична система забезпечує подачу стисненого повітря до робочих вузлів пристрою.

Основні компоненти пневматичної системи:

- Компресор: генерує стиснене повітря.
- Розподільники: спрямовують потоки повітря до виконавчих механізмів.
- Редукційні клапани: регулюють тиск у системі для стабільної роботи приводу.

Особливості:

- Забезпечує швидку реакцію на команди управління.
- Проста в обслуговуванні та безпечна у використанні.



Рис. 2.4.1. Пневмо-острів дозувально-фасувального пристроя.

6. Програмне забезпечення

Програмне забезпечення є важливим елементом сучасних дозувально-фасувальних пристроїв.

Функції:

- Оптимізація роботи системи.
- Моніторинг роботи в реальному часі.
- Збір даних для аналізу продуктивності та обслуговування.
- Інтеграція з іншими системами на підприємстві.

Можливості:

- Встановлення автоматичних налаштувань залежно від характеристик продукту.
- Підтримка віддаленого доступу для діагностики та управління.

2.3. Розробка авторської пропозиції щодо вдосконалення системи управління

Система управління дозувально-фасувальним пристроєм для сипких харчових продуктів повинна забезпечувати високу точність, стабільність роботи та адаптивність до змінних умов виробництва. На основі аналізу сучасних систем управління та їх недоліків запропоновано вдосконалення, спрямовані на покращення роботи пристрою. Однією з основних пропозицій є інтеграція адаптивного управління, що дозволить автоматично налаштовувати параметри роботи залежно від характеристик продукту, таких як фракція, сипкість або схильність до злежування. Це досягається за рахунок використання спеціалізованих датчиків сипкості та рівня продукту, які динамічно коригують налаштування дозувального механізму.

Контролер, який є центральним елементом системи, потребує модернізації. Пропонується використання програмованого логічного контролера (PLC), здатного обробляти сигнали в реальному часі та працювати з розширеним набором датчиків, таких як датчики ваги, рівня продукту та положення рухомих елементів. Додатково, впровадження алгоритмів передбачення дозволить оптимізувати час реакції системи, зменшуючи затримки в роботі.

Виконавчі механізми також потребують вдосконалення. Зокрема, використання приводів із регульованою швидкістю забезпечить плавне переміщення дозувальних елементів, а високошвидкісні клапани дозволять більш точно контролювати потік продукту. Для важкоплинних сипких продуктів пропонується інтеграція вібраційних або шнекових механізмів, які забезпечать рівномірну подачу матеріалу.

Система датчиків має бути оснащена ваговими датчиками високої роздільної здатності для контролю точності дозування, а також безконтактними датчиками положення для моніторингу роботи механізмів у реальному часі. Інтеграція датчиків рівня у бункері дозволить автоматично керувати подачею продукту, запобігаючи простоям через недостатню кількість матеріалу.

Важливим аспектом є інтеграція системи управління з технологіями Industry 4.0. Це включає розробку програмного забезпечення для віддаленого моніторингу та управління, впровадження IoT-модулів для збору й аналізу даних у реальному часі та налаштування автоматичних сигналів про відхилення в роботі пристрою. Такі вдосконалення забезпечать гнучкість, простоту обслуговування та зниження часу простоїв.

Очікувані результати від реалізації запропонованих рішень включають підвищення точності дозування, зниження часу циклу роботи, зменшення втрат продукту та інтеграцію пристрою у сучасні виробничі процеси. Таким чином, вдосконалена система управління дозволить дозувально-фасувальному пристрою працювати з більшою ефективністю, адаптуючись до змінних умов і вимог сучасної харчової промисловості.

Висновок до розділу 2

У другому розділі було розглянуто принцип роботи приводу, що керує дозувальним механізмом, проведено аналіз основних елементів системи управління та запропоновано вдосконалення для підвищення ефективності дозувально-фасувального пристрою для сипких харчових продуктів. Описано особливості роботи приводу з урахуванням змінних параметрів виробництва, зокрема фізико-механічних властивостей сипкого продукту, таких як фракція, сипкість та злежуваність.

Аналіз окремих елементів системи управління, включаючи контролери, датчики, виконавчі механізми та пневматичну систему, показав, що інтеграція сучасних технологій дозволяє значно підвищити точність, стабільність і продуктивність пристрою. Було визначено, що для забезпечення високої якості роботи доцільно використовувати програмовані логічні контролери (PLC), датчики ваги високої роздільної здатності, швидкодіючі клапани, а також приводи із регульованою швидкістю.

У результаті розроблено авторську пропозицію щодо вдосконалення системи управління. Вона включає впровадження адаптивного управління, інтеграцію технологій Industry 4.0, оптимізацію роботи виконавчих механізмів і використання додаткових сенсорів для автоматичного регулювання параметрів процесу дозування. Запропоновані вдосконалення спрямовані на підвищення точності дозування, зменшення втрат продукту, оптимізацію часу циклу роботи та забезпечення надійності системи.

Таким чином, результати цього розділу створюють основу для подальших експериментальних досліджень, спрямованих на перевірку ефективності запропонованих рішень у реальних умовах виробництва та їх адаптацію до сучасних вимог харчової промисловості.

РОЗДІЛ 3. ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ ДОЗУВАЛЬНО-ФАСУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ СИПКИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

3.1. Огляд досліджуваної системи 1

Дозувально-фасувальний пристрій для сипких харчових продуктів є технічно складною системою, яка поєднує механічні, пневматичні, електронні та програмні компоненти для забезпечення точного дозування та фасування продукту. Основним елементом системи є дозувальний механізм, який відповідає за відмірювання порції продукту. Залежно від типу сипкого продукту, використовуються об'ємні або шнекові механізми, які забезпечують рівномірний забір продукту з бункера та його точне відмірювання. Бункер, виготовлений із нержавіючої сталі для забезпечення гігієнічності, оснащений датчиками рівня продукту, які контролюють його кількість, запобігаючи переповненню чи недостатній подачі.:

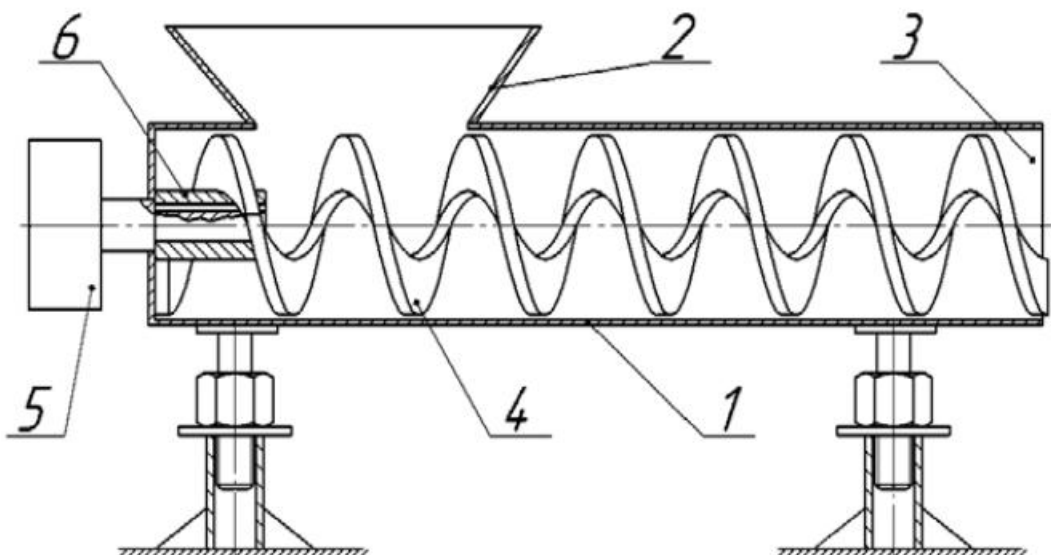


Рис. 3.1. Принципова схема спірально-гвинтового дозатора 1 – циліндричний корпус; 2 – завантажувальна горловина; 3 – розвантажувальна горловина; 4 – спіраль; 5 – привод (мотор редуктор); 6 – муфта.

Для забезпечення руху дозувального елемента використовується пневматичний привід із циліндром двосторонньої дії, що гарантує плавне та точне переміщення. Пневматичний привід дозволяє регулювати швидкість і тиск для адаптації роботи системи до властивостей продукту. Центральним елементом системи управління є програмований логічний контролер (PLC), який забезпечує автоматизацію всіх процесів. Контролер координує роботу дозувального механізму, пневматичного приводу та фасувального вузла, приймаючи сигнали від датчиків і забезпечуючи точне виконання робочого циклу. Панель оператора дозволяє задавати параметри роботи пристрою, такі як обсяг порції, швидкість дозування та режими роботи, що забезпечує гнучкість у налаштуванні системи.

Фасувальний механізм синхронізований із дозувальним, що дозволяє безперебійно транспортувати продукт до упаковки. Контроль якості забезпечується системою автоматичного моніторингу, яка включає вагові датчики для перевірки кожної порції та сигналізує про можливі відхилення. Технічна система відповідає сучасним санітарно-гігієнічним вимогам харчової промисловості, адже всі контактні поверхні виготовлені з матеріалів, які легко очищуються та дезінфікуються.

Система демонструє високу стабільність роботи завдяки зворотному зв'язку з датчиками та автоматичному регулюванню параметрів. Вона дозволяє працювати з різними сипкими продуктами, адаптуючи роботу під змінні умови виробництва, наприклад, зміну сипкості або вологості продукту. Технічна система також енергоефективна завдяки використанню сучасних приводів та оптимізації роботи елементів управління.

Водночас можливі вдосконалення системи включають інтеграцію з технологіями Industry 4.0 для віддаленого моніторингу та управління, впровадження алгоритмів самонавчання для адаптації до властивостей продукту, а також використання швидкодіючих пневматичних клапанів

для підвищення точності дозування. Огляд технічної системи показує, що її конструкція відповідає сучасним вимогам харчової промисловості, забезпечуючи точність, стабільність та гнучкість роботи з різними типами сипких продуктів. Подальше вдосконалення дозволить значно підвищити продуктивність, зменшити втрати продукту та інтегрувати пристрій у сучасні автоматизовані виробничі процеси.

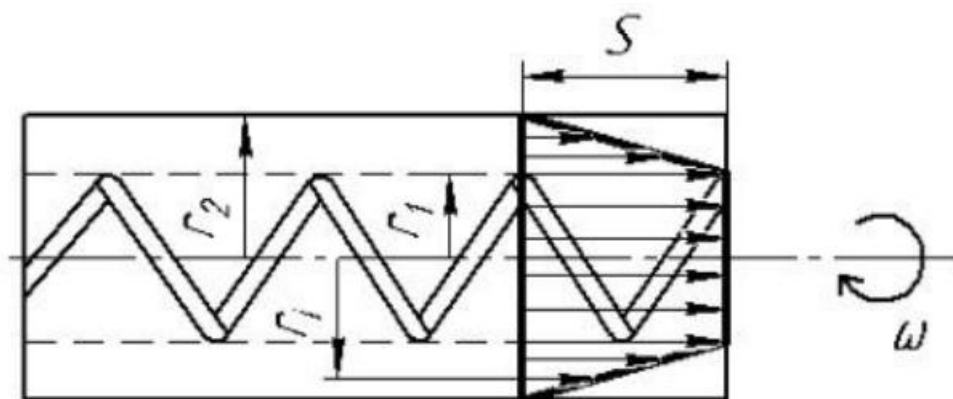


Рис. 3.2. Схема руху матеріалу в спіральній-гвинтовій дозаторі та розподіл відносних об'ємів для низькооборотної спіралі.

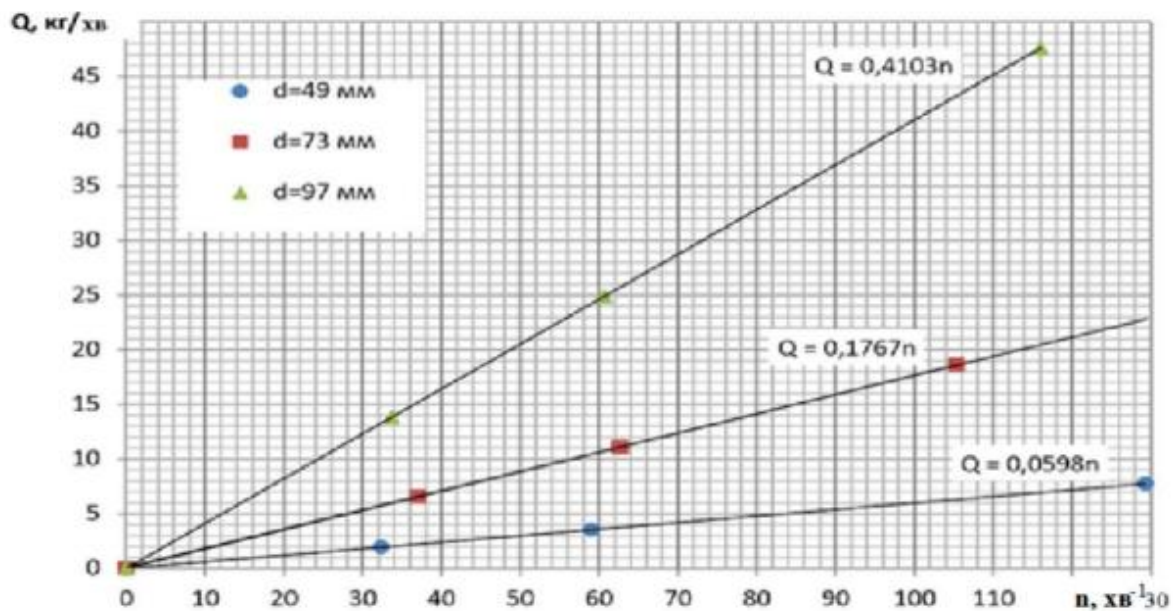


Рис. 3.3. Діаграма подачі спіральній-шнековій дозаторі від діаметра та частоти обертання

3.2. Детальний опис експериментальної установки

Експериментальна установка для дослідження роботи дозувально-фасувального пристрою для сипких харчових продуктів створена для перевірки функціональності, точності дозування, стабільності роботи та адаптації пристрою до змінних умов виробництва. Основним елементом установки є дозувально-фасувальний модуль, який включає шнековий механізм для рівномірної подачі продукту з бункера до мірної ємності. Регулюючий вузол дозволяє налаштовувати обсяг дозування шляхом зміни швидкості обертання шнека, а фасувальний блок транспортує дозований продукт у тару, забезпечуючи мінімальні втрати.

Бункер для сипких продуктів виготовлений із нержавіючої сталі, що відповідає санітарно-гігієнічним стандартам харчової промисловості. Він оснащений вібраційним механізмом для запобігання злежуванню продукту та забезпечення рівномірної подачі. Датчики рівня продукту в бункері контролюють його заповненість, що дозволяє уникнути простоїв або переповнення системи. Пневматичний привід із циліндром двосторонньої дії забезпечує плавне та точне переміщення дозувального механізму. Регулятори тиску в приводі дозволяють адаптувати його роботу до властивостей продукту, таких як сипкість або вологість.

Система управління є центральним компонентом установки і базується на програмованому логічному контролері (PLC), який координує роботу всіх елементів. Контролер отримує дані від вагових датчиків, датчиків положення поршня та рівня продукту в бункері, забезпечуючи зворотний зв'язок у реальному часі. Панель оператора дозволяє налаштовувати параметри роботи, такі як обсяг порції, швидкість дозування та режими функціонування. Система збору даних

записує ключові параметри роботи, включаючи вагу кожної порції, тривалість циклу дозування, витрати енергії та тиск у пневматичній системі. Дані передаються на комп'ютер для подальшого аналізу.

3.3. Аналіз досліджуваної конструкції 2 в системі чисельного експерименту

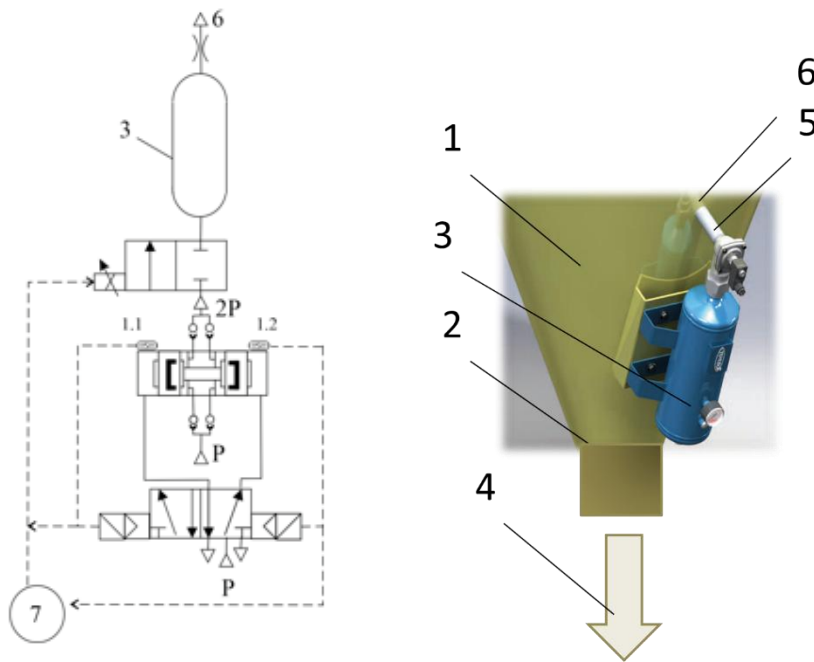


Рис 3.5. Принципова схема експериментальної установки:

1 - завантажувальний бункер, 2 - зона висипання продукту, яка контролюється запірним електромембранним затискним елементом, 3 - вертикальний ресивер пневмосопла для руйнування склепінь продукту; 4 - продукт, 5 – трубопровод (стиснене повітря); 6 – сопловий пристрій, P - тиск магістральний стисненого повітря (МПа), 2P - здвоєний тиск на виході бустера; 1.1., 1.2. – контроль -герконові датчики;

Тара для фасування може бути різного типу: пакети, мішки чи коробки, що дозволяє оцінити універсальність установки. Контроль точності дозування здійснюється через вагові датчики, а система

сигналізації повідомляє про будь-які відхилення від заданих параметрів. Установа імітує реальні умови роботи, включаючи змінні характеристики продукту, такі як сипкість або вологість, та параметри системи, наприклад, тиск у приводі або навантаження на механізми. Вона дозволяє тестувати точність дозування, стабільність роботи та продуктивність пристрою.

Експериментальна установка характеризується гнучкістю налаштування, що дозволяє швидко змінювати параметри роботи, адаптуючись до різних продуктів і умов виробництва. Вона обладнана сучасними системами захисту, які попереджають про відхилення, такі як недостатній рівень продукту в бункері або перевищення допустимого тиску. Зібрані дані дозволяють аналізувати ефективність роботи системи, зокрема, визначати похибки дозування залежно від характеристик продукту, оцінювати стабільність роботи та енергоефективність.

Таким чином, експериментальна установка забезпечує комплексний підхід до дослідження дозувально-фасувального пристрою, дозволяючи оптимізувати його конструкцію та параметри роботи для підвищення точності дозування, продуктивності та адаптації до сучасних вимог харчової промисловості..

3.4. Методика проведення експериментів

Методика проведення експериментів на дозувально-фасувальному пристрої для сипких харчових продуктів передбачає визначення ключових параметрів роботи системи, таких як точність дозування, стабільність, продуктивність та енергоефективність. Експерименти виконуються в умовах, максимально наближених до реальних виробничих процесів, що дозволяє оцінити функціональність та надійність установки.

На першому етапі здійснюється підготовка експериментальної

установки. Бункер заповнюється сипким продуктом, обраним для дослідження, з урахуванням його фізико-механічних властивостей (фракція, сипкість, вологість). Перед початком експерименту перевіряється робота основних вузлів системи: дозувального механізму, пневматичного приводу, датчиків рівня, вагових сенсорів, а також системи управління. Проводиться калібрування датчиків ваги для забезпечення максимальної точності вимірювань.

Другий етап включає визначення точності дозування. Для цього пристрій налаштовується на заданий об'єм або масу порції продукту, і здійснюється серія дозувань. Кожна порція зважується за допомогою вбудованих вагових датчиків або зовнішніх ваг. Отримані дані записуються для подальшого аналізу. У ході експерименту вимірюється похибка дозування, яка визначається як відхилення фактичної маси порції від заданої. Серія випробувань проводиться для різних типів продуктів та за різних параметрів системи (швидкість дозування, тиск у пневматичному приводі).

На третьому етапі досліджується стабільність роботи системи. Пристрій працює в тривалому режимі з постійним циклом дозування. У цей час моніторяться ключові параметри: стабільність подачі продукту, точність дозування, стан бункера, рівень тиску в пневмосистемі. Виявляються можливі збої або зменшення точності через зміни характеристик продукту (наприклад, через вологість чи злежуваність). Цей етап дозволяє оцінити надійність і довговічність роботи системи.

Четвертий етап спрямований на визначення продуктивності пристрою. Вимірюється кількість порцій, що пристрій може дозувати за одиницю часу, за різних параметрів роботи. Аналізуються залежності між швидкістю дозування, точністю та стабільністю роботи. Для цього поступово змінюється швидкість обертання

шнекового механізму або швидкість переміщення дозувального елемента.

На п'ятому етапі проводиться оцінка енергоефективності. Вимірюється енергоспоживання пристрою під час виконання циклу дозування за різних налаштувань. Порівнюються витрати енергії для роботи з продуктами різної сипкості та при різній інтенсивності роботи системи.

На завершальному етапі експерименту проводиться аналіз отриманих даних. Дані заносяться в таблиці, проводиться їх обробка за допомогою математично-статистичних методів із використанням програмного забезпечення (наприклад, Excel). Виявляються залежності між характеристиками продукту, параметрами роботи пристрою та точністю дозування. Результати експериментів дозволяють оцінити ефективність роботи системи, визначити її сильні та слабкі сторони, а також сформулювати рекомендації щодо вдосконалення конструкції.

Методика експериментів забезпечує комплексний підхід до оцінки роботи дозувально-фасувального пристрою, дозволяючи виявити можливості його оптимізації та адаптації до потреб сучасної харчової промисловості.

3.5. Теоретичні аспекти досліджуваної технічної системи

Розглянемо процес при пневмотранспортуванні, керований імпульсами стисненого повітря, які обумовлюють робочі режими.

Потік повітря формується на вході в канал з продуктом, за допомогою пневмоклапана, який управляється генерацією струму по функції Хевісайда (одинична ступінча стафункція). Виміряне значення струму в мА (з 0,001мА) щодо стандартної шкали I_{max} , $I_{min} = 4..20$ мА, зафіксовано в діапазонах 4,1мА ... 19,9мА; 12мА ... 19,9мА. Видаткова характеристика пневмоклапана в установці = 180 Нл /

хв. Тривалість періоду функції прийнята до 0,3 с.

У постановці задачі математичного моделювання, розглянемо рух сферичної частинки радіуса r' , густиною ρ' в турбулентному газовому потоці. За умови: потік стаціонарний, газ нестисливий, кінематична в'язкість $\nu = \mu/\rho$. μ – динамічна в'язкість газу (стисненого повітря), ρ – густина робочого енергоносія (повітря). Оскільки течія стисненого повітря турбулентна, то опір руху частинки відносно газу підпорядковується нелінійному закону. Тому на частинку діє сила тяжіння $G = \rho' \cdot g'$, (Н); g' – вектор прискорення сили тяжіння. Вхідні параметри математичної моделі розглянуто для таких значень: радіус частинки $r' = 3 \cdot 10^{-3}$ (м); густина окремої частинки дрібно-штучного продукту $\rho' = 1,25 \cdot 10^{-3}$ (кг·м⁻³); густина повітря $\rho = 1,24 \cdot 10^{-3}$ (кг·м⁻³); прискорення вільного падіння $g = 9,81$ (м/с⁻²); максимальна швидкість потоку стисненого повітря $v_m = 20$ (м·с⁻¹); динамічна в'язкість $\mu = 1,82 \cdot 10^{-5}$ кг/(м·с); радіус труби $b = 0,05$ м. У потоці стисненого повітря частинка отримує обертальний рух, що зумовлює рівняння руху:

$$\frac{\pi}{6} (2 \cdot r')^3 \rho' \frac{du_i}{dt} = D'(v_i - u_i) + G_i + F_s, \quad (3.1)$$

$i = x, y, z$; v_i – проекція вектора швидкості \bar{v} стисненого повітря; u_i – проекція вектора швидкості \bar{u} частинки відносно нерухомої системи відліку x, y, z ; F_i – проекції вектора сили Рубінова-Келлера на сферичну поверхню частинки з боку стисненого повітря під час обертання; G_i – проекції вектора сили Рубінова-Келлера на сферичну поверхню частинки з боку стисненого повітря під час обертання

$$D' = 6\pi\mu r' \left(1 + 0,065 \left(\frac{2}{\mu} r' \rho' \left(\sqrt{u - \bar{v}} \right) \right) \right)^{\frac{3}{2}}, \quad (3.2)$$

Запишемо рівняння обертального руху частинок разом із рівнянням руху (3.3)

$$\begin{cases} \frac{4}{3} \pi \cdot r'^3 \cdot \rho' \cdot \frac{du_x}{dt} = D'(v_x - u_x) + G_x + F_x, \\ \frac{4}{3} \pi \cdot r'^3 \cdot \rho' \cdot \frac{du_y}{dt} = D'(v_y - u_y) + G_y + F_y, \\ J \cdot \frac{d\omega}{dt} = -\pi \mu (2 \cdot r')^3 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial y} - \omega \right). \end{cases} \quad (3.3)$$

де $\omega = \omega z$ – проекція на вісь z вектора від кутової швидкості під час обертання частинки; J – момент інерції частинки відносно центральної осі, яка паралельна осі Oz :

$$J = \left\{ \pi \cdot (2 \cdot r')^5 \rho' \right\} / 60.$$

Запишемо величину u_x, u_y у виді:

$$u_x = \frac{dx}{dt}; \quad u_y = \frac{dy}{dt}; \quad (3.4)$$

Проекції сил на осі координат подано як рівняння (3.5–3.6):

$$G_y = -\frac{1}{6} \pi \cdot (2 \cdot r')^3 \rho' g, \quad G_x = 0, \quad (3.5)$$

$$F_x = \frac{\pi}{8} (2 \cdot r')^3 \rho' \omega (v_y - u_y), \quad F_y = -\frac{\pi}{8} (2 \cdot r')^3 \rho' \omega (v_x - u_x), \quad (3.7)$$

Після перетворень (3.4)–(3.6) у системі (3.3), отримуємо систему трьох диференціальних рівнянь відносно трьох невідомих $x(t), y(t), z(t)$:

$$\frac{4}{3}\pi \cdot r'^3 \rho' \frac{d^2 x}{dt^2} = 6 \cdot \pi \mu r' \cdot \left(1 + 0,065 \cdot \left(\frac{2}{\mu} r' \rho' \cdot \sqrt{\left(\frac{dx}{dt} - v_x \right)^2 + \left(\frac{dy}{dt} - v_y \right)^2} \right)^{\frac{2}{3}} \right)^{\frac{3}{2}} \times \dots$$

$$\dots \times \left(v_x - \frac{dx}{dt} \right) + \frac{\pi}{8} \cdot \rho' (2 \cdot r')^3 \cdot \omega \cdot \left(v_y - \frac{dy}{dt} \right),$$

(7)

$$\frac{4}{3}\pi \cdot r'^3 \rho' \frac{d^2 y}{dt^2} = 6 \cdot \pi \mu r' \cdot \left(1 + 0,065 \cdot \left(\frac{2}{\mu} r' \rho' \cdot \sqrt{\left(\frac{dx}{dt} - v_x \right)^2 + \left(\frac{dy}{dt} - v_y \right)^2} \right)^{\frac{2}{3}} \right)^{\frac{3}{2}} \times \dots$$

$$\dots \times \left(v_y - \frac{dy}{dt} \right) - \frac{1}{6} \cdot \pi \rho' \cdot g (2 \cdot r')^3 - \frac{\pi}{8} \cdot \rho' \omega (2 \cdot r')^3 \cdot \left(v_x - \frac{dx}{dt} \right),$$

(8)

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} = -\pi \mu (2 \cdot r')^3 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial y} - \omega \right).$$

(3.8)

Відповідно b – радіус продуктопроводу (м), v_m – максимальна швидкість потоку стисненого повітря, тоді для турбулентної течії в шарі $y \in [0, 2b]$, тобто для $0 \leq y \leq b$:

$$v_x = v_m \left(\frac{y}{b} \right)^{\frac{1}{7}}; \quad v_y = 0; \quad \frac{\partial v_x}{\partial y} = \frac{1}{7} v_m \left(\frac{1}{by^6} \right)^{\frac{1}{7}},$$

(3.9)

для $b \leq y \leq 2b$:

$$v_x = v_m \left(\frac{2b-y}{b} \right)^{\frac{1}{7}}; \quad v_y = 0; \quad \frac{\partial v_x}{\partial v_y} = \frac{1}{7} v_m \frac{1}{b} \left(\frac{b}{2b-y} \right)^{\frac{6}{7}},$$

Перепишемо систему рівнянь (3), з урахуванням описаних вище перетворень:

$$\begin{aligned} \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \rho' \frac{d^2 x}{dt^2} &= 6 \cdot \pi \mu r' \cdot \left(1 + 0,065 \cdot \left(\frac{2}{\mu} r' \rho' \cdot \sqrt{\left(\frac{dx}{dt} - v_x \right)^2 + \left(\frac{dy}{dt} \right)^2} \right)^{\frac{2}{3}} \right)^{\frac{3}{2}} \times \dots \\ \dots \times \left(v_y - \frac{dx}{dt} \right) &- \pi \rho' (r')^3 \omega (2 \cdot r')^3 \cdot \left(\frac{dy}{dt} \right), \end{aligned} \quad (3.10)$$

$$\begin{aligned} \frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \rho' \frac{d^2 y}{dt^2} &= -6 \cdot \pi \mu r' \cdot \left(1 + 0,065 \cdot \left(\frac{2}{\mu} r' \rho' \cdot \sqrt{\left(\frac{dx}{dt} - v_x \right)^2 + \left(\frac{dy}{dt} \right)^2} \right)^{\frac{2}{3}} \right)^{\frac{3}{2}} \frac{dy}{dt} - \dots \\ \dots - \frac{4}{3} \pi \cdot \rho' (r')^3 &- \pi \cdot \rho' (r')^3 \cdot \omega \cdot \left(v_x - \frac{dx}{dt} \right), \end{aligned} \quad (11)$$

$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} = -\pi \mu (2 \cdot r')^3 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial y} - \omega \right). \quad (3.11)$$

Початкові умови для знаходження п'ятипрофільних стовпів інтегрування:

у початковий момент руху $t=0$; $x(0)=x_0$; $y(0)=y_0$;

для визначення проекцій вектора швидкості в початковий момент часу:

$$\left. \frac{dx}{dt} \right|_{t=0} = u_{x_0}, \quad \left. \frac{dy}{dt} \right|_{t=0} = u_{y_0},$$

у початковий момент часу кутова швидкість обертання частинки:

$\omega(0)=\omega_0$;

– розрахункова схема для визначення кінематичних характеристик частинки для встановленого режиму транспортування (рис.3.11).

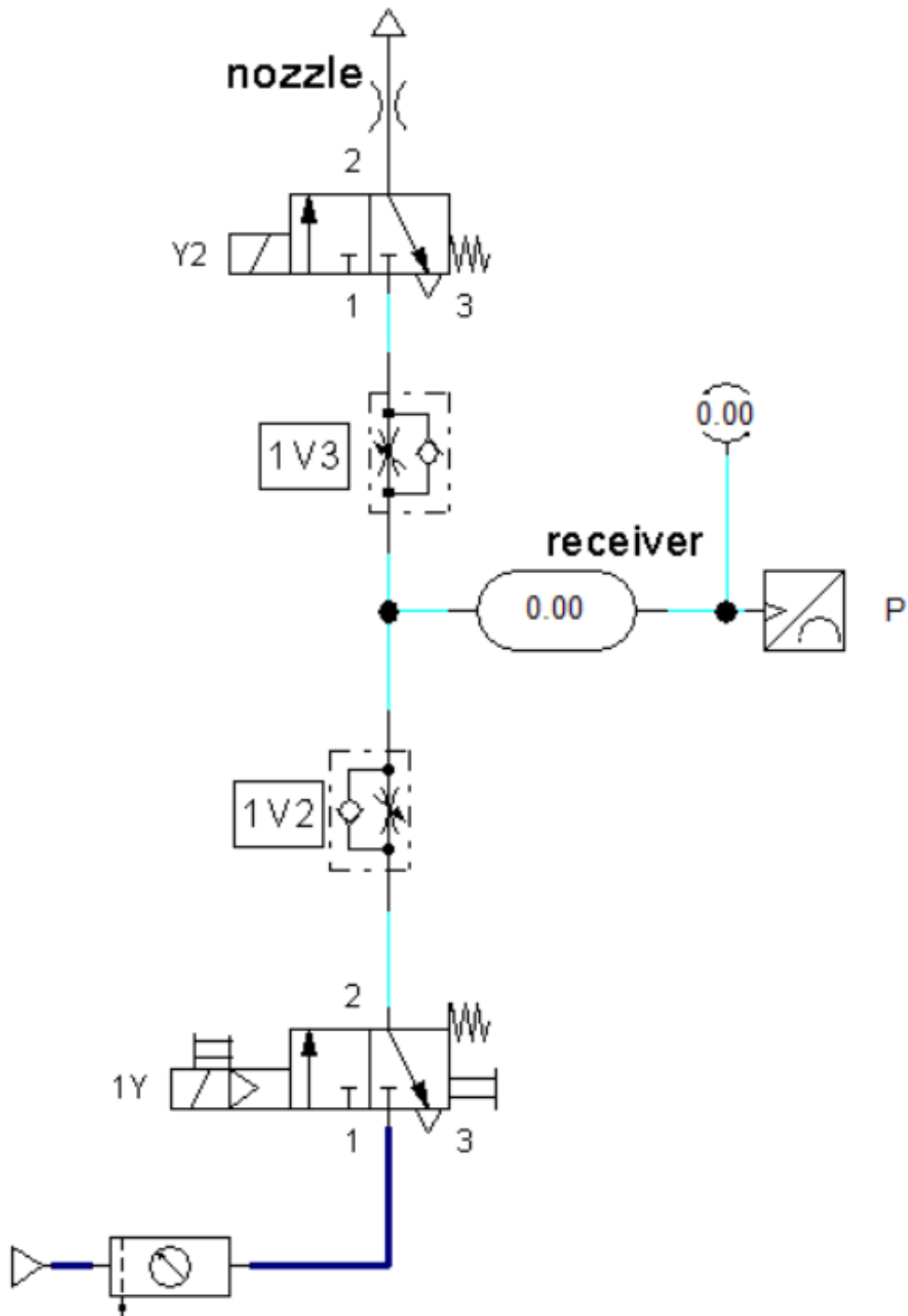
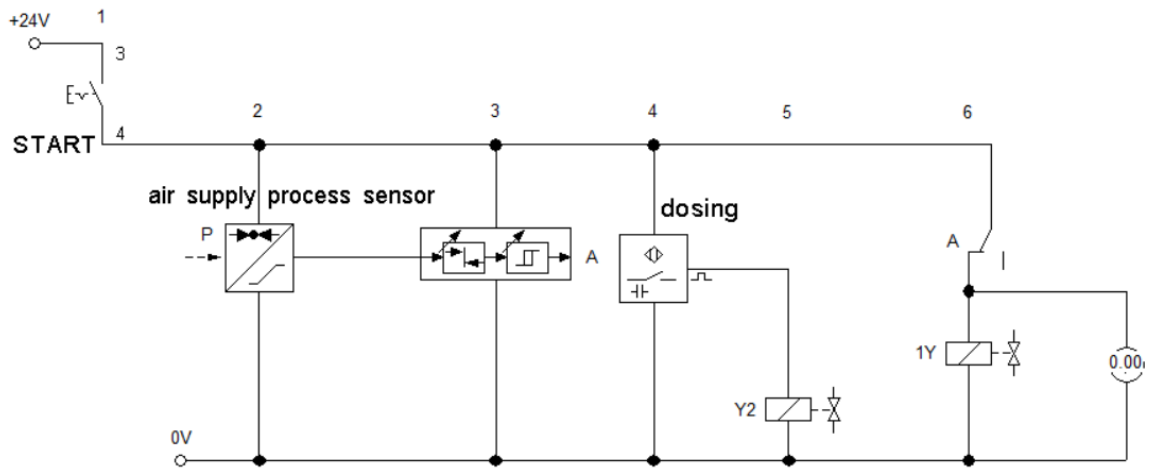
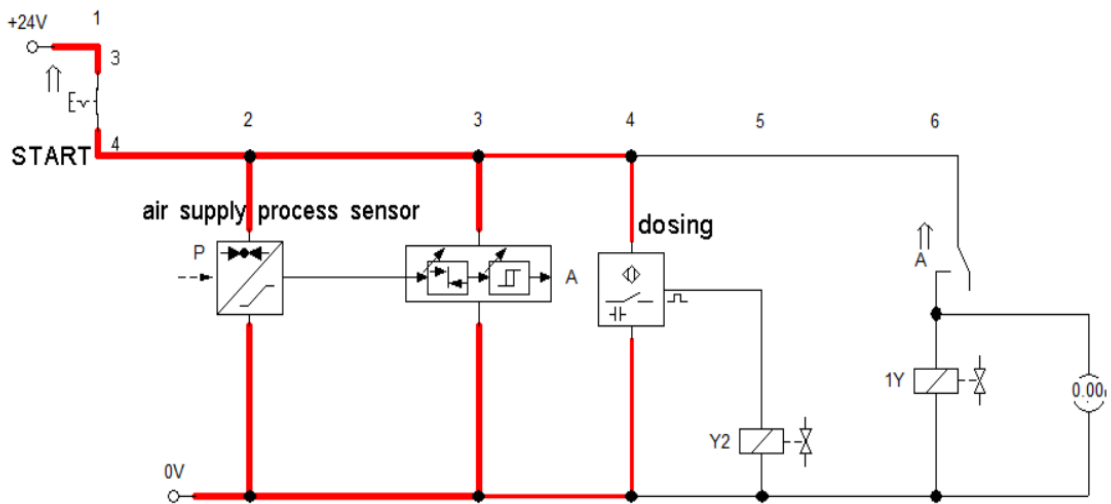


Рис.3.11. Принципова схема керування пристроєм



a)



б)

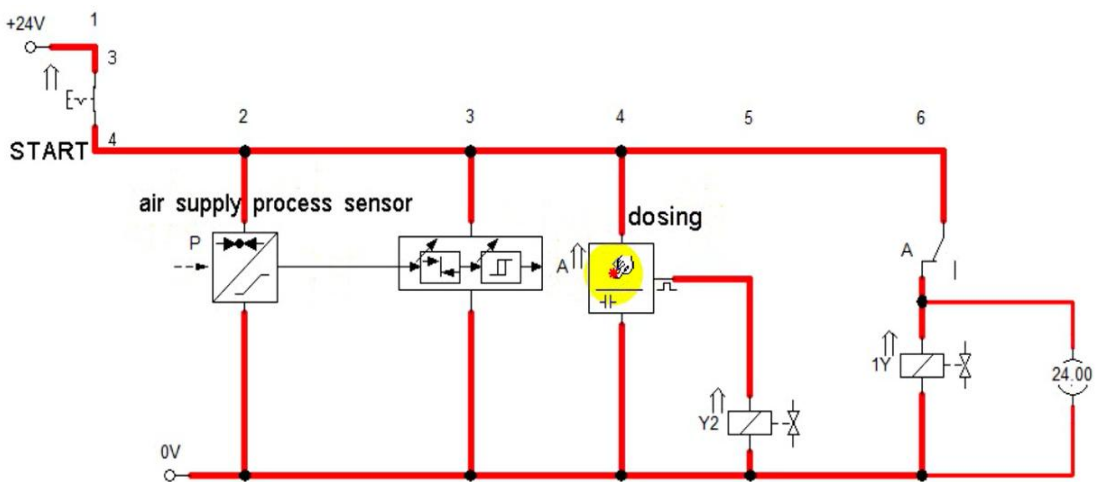


Рис.3.12.Електрична схема керування ежекційним соплом (поз. 6 за рис.3.5)

Під час побудови принципової електричної схеми керування використані командні оператори:

- Команда "Аналоговий датчик тиску" в програмі FluidSim 4.2 служить для моделювання датчика тиску в пневматичних схемах. Цей елемент дозволяє вимірювати тиск у певній точці схеми та відобразити його значення у вигляді аналогового сигналу. Отриманий сигнал може бути використаний для подальшої обробки, наприклад, для візуалізації на графіку або для керування іншими елементами схеми.

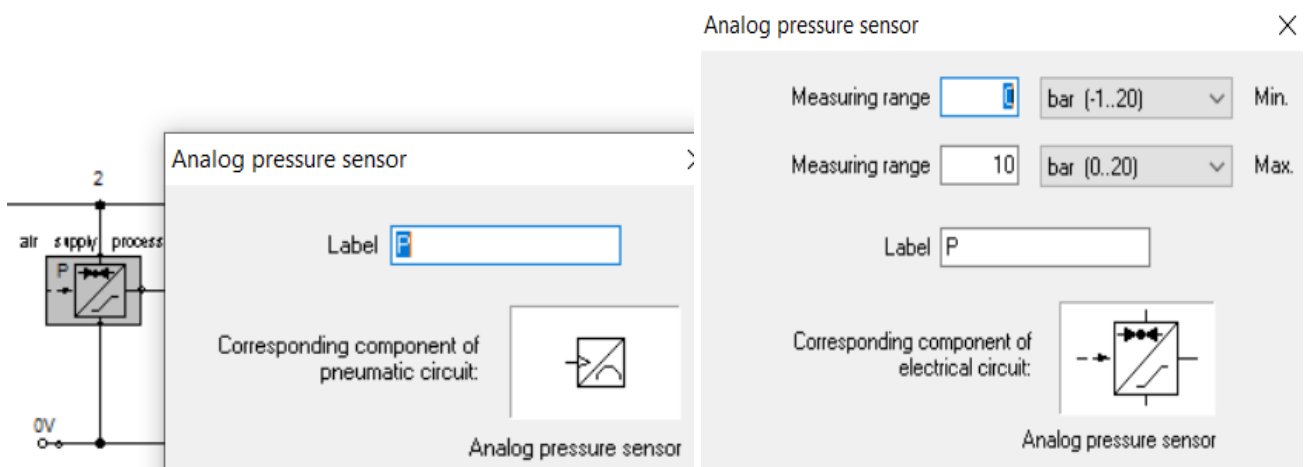


Рис.3.13. Датчик тиску

- Представлена схема (рис.3.14) демонструє типову конфігурацію системи автоматичного регулювання тиску. Вона складається з джерела стисненого повітря, датчика тиску, пневматичного підсилювача та регулятора тиску. Датчик вимірює фактичний тиск у системі і передає сигнал на пневматичний підсилювач, який, у свою чергу, керує регулятором тиску. Регулятор, змінюючи свою пропускну здатність, підтримує заданий рівень тиску. Така схема широко застосовується для забезпечення стабільного тиску в пневматичних системах, що дозволяє оптимізувати роботу сопла та інших пневматичних виконавчих механізмів. Однак, слід зазначити, що пневматичні системи мають певні обмеження, такі як нижча швидкість відгуку порівняно з електронними системами та залежність характеристик від температури. Для досягнення оптимальної роботи системи необхідне детальне налаштування параметрів регулятора.

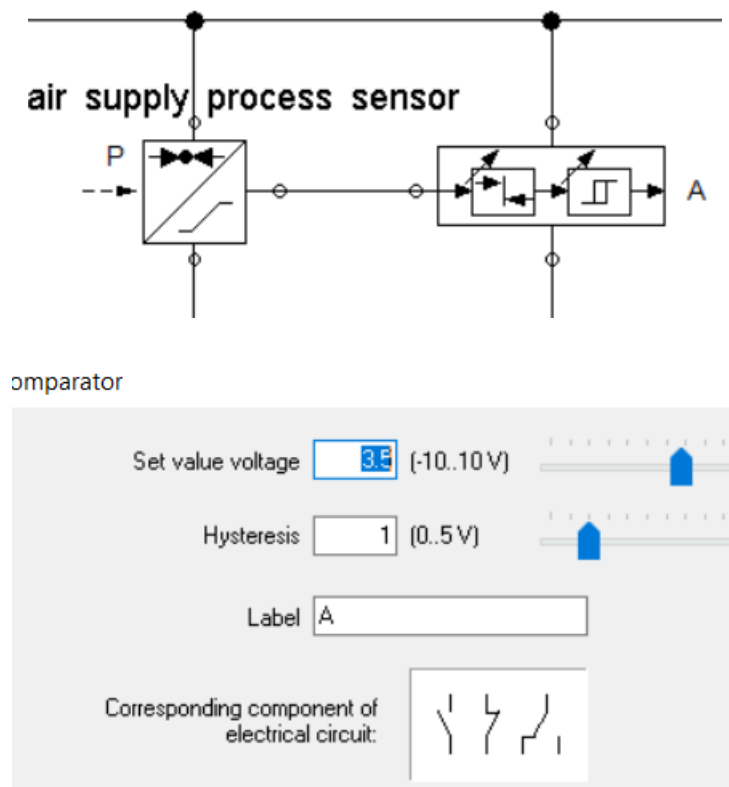


Рис.3.14. Підсилювач тиску

Система (рис.3.15) - складається з джерела стисненого повітря, розподільника, ресивера та манометра.

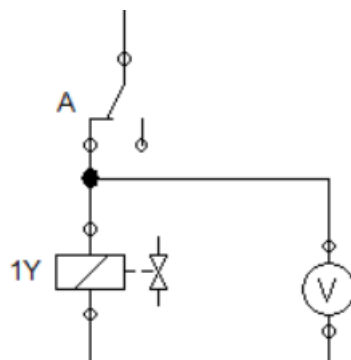


Рис.3.15. Керуюча система мережі дозування

Система функціонує таким чином: стиснене повітря з джерела через розподільник надходить до ресивера, де відбувається згладжування пульсацій тиску. Манометр відображає поточний тиск у системі. Розподільник дозволяє керувати потоком повітря, змінюючи його напрямок або перекриваючи його повністю. Така схема застосовується в простих пневматичних системах для забезпечення стабільного

тиску та керування виконавчими механізмами.

Однак, її функціональність обмежена відсутністю автоматичного регулювання та використанням лише базових елементів. Для створення більш складних систем автоматизації необхідно додати додаткові компоненти, такі як пневматичні логічні елементи, датчики та електропневматичні перетворювачі.

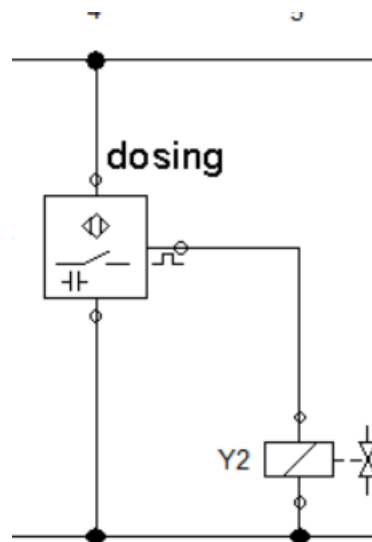


Рис.3.16. Модуль дозування

Представлена схема на рис.3.16. демонструє принцип дозованої подачі продукту. Вона складається зі спеціального розподільника з регульованим отвором та вихідного порту. Принцип роботи полягає в тому, що продукт проходить крізь розподільник (мембранного типу) , де його кількість точно дозується за рахунок регульованого отвору. Дозований продукт потім надходить до виконавчого механізму. Така схема широко застосовується в різних промислових процесах, де необхідне точне дозування.. Однак, точність дозування залежить від багатьох факторів, таких як тиск повітря, конструкція розподільника та зовнішні умови. Для підвищення точності та автоматизації процесу дозування можуть бути додані датчики тиску та потоку, а також системи автоматичного керування і датчик емнісного типу, що реагує на коефіцієнт діелектричної проникності.

Датчики емнісного типу широко використовуються в сучасних дозаторах для сипучих харчових продуктів завдяки своїй точності, надійності та відсутності

механічного контакту з продуктом. Вони дозволяють вимірювати рівень заповнення бункера, виявляти наявність продукту в зоні дозування та контролювати процес фасування.

Принцип роботи такого датчика заснований на зміні ємності електричного поля між двома електродами, коли між ними з'являється діелектрик (у нашому випадку – сипучий продукт). Один електрод є нерухомою частиною датчика, а другий – рухомою або виконаний у вигляді пластини, що знаходиться всередині бункера.

3.6. Принцип роботи системи контролю наявності продукту в бункері-живильнику

– Формування електричного поля: Між електродами створюється змінне електричне поле (рис.3.17).

– Вплив діелектрика: Коли між електродами з'являється сипучий продукт (діелектрик), ємність системи змінюється

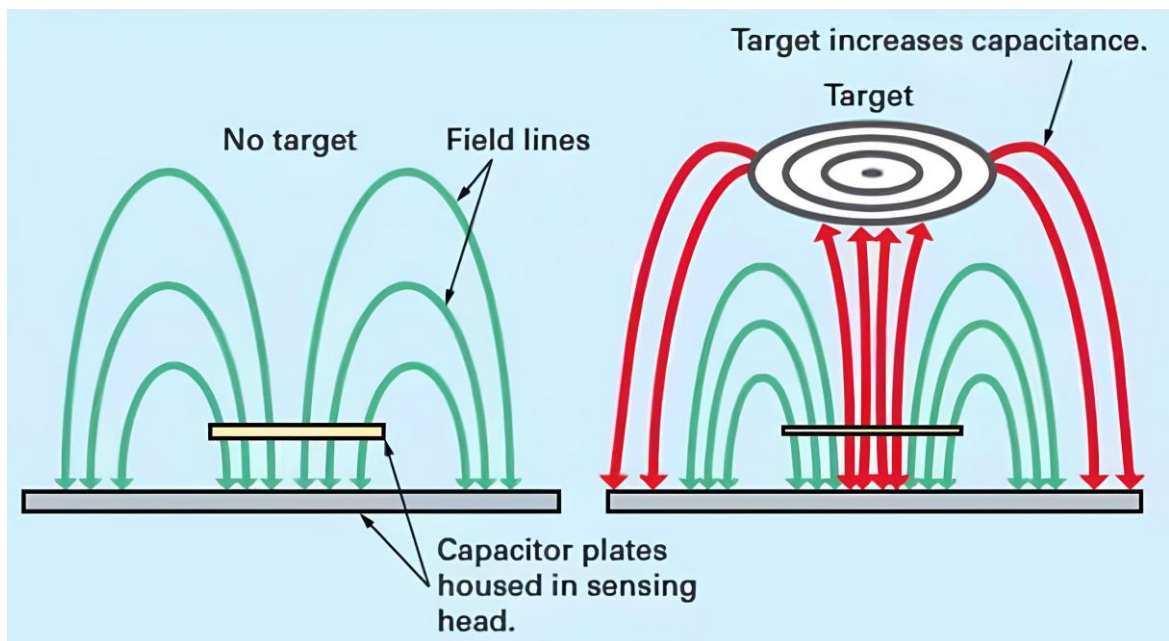


Рис.3.17. Принцип роботи ємнісного датчика в бункері-живильнику із сипким харчовим продуктом

Це пов'язано з тим, що діелектрик має іншу діелектричну проникність, ніж повітря.

– Фіксація зміни ємності: Електронний блок датчика фіксує цю зміну ємності і перетворює її в електричний сигнал.

– Обробка сигналу: Отриманий сигнал обробляється мікроконтролером дозатора, який на його основі приймає рішення про подальші дії (наприклад, зупинку подачі продукту, відкриття затвора тощо).

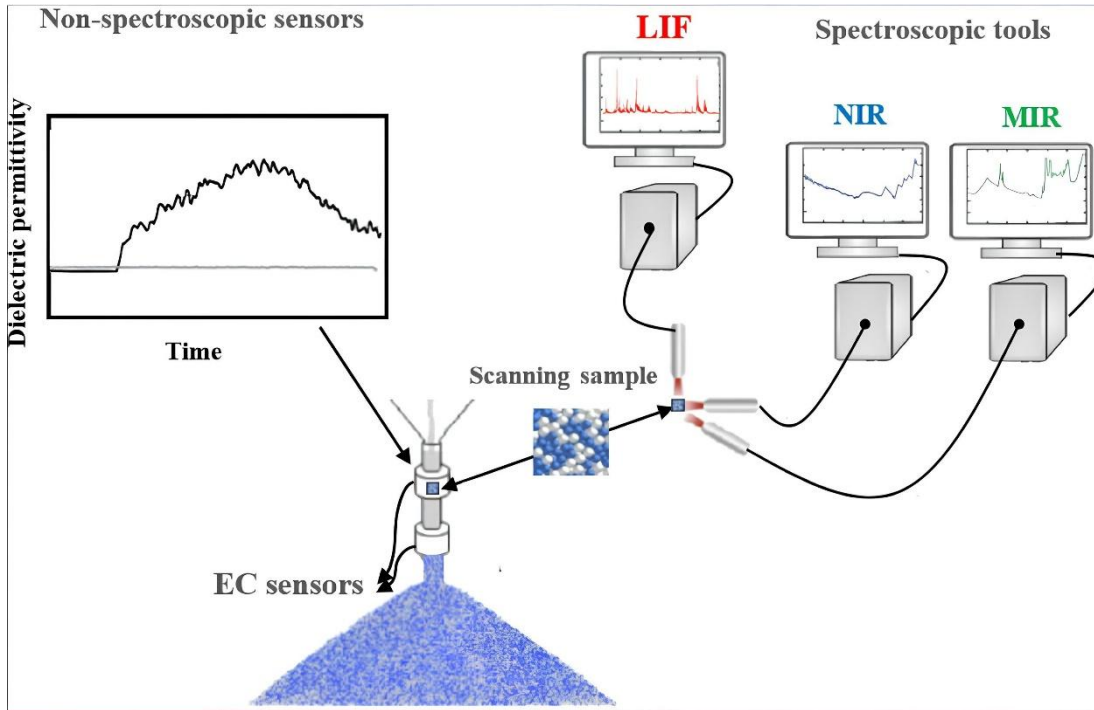


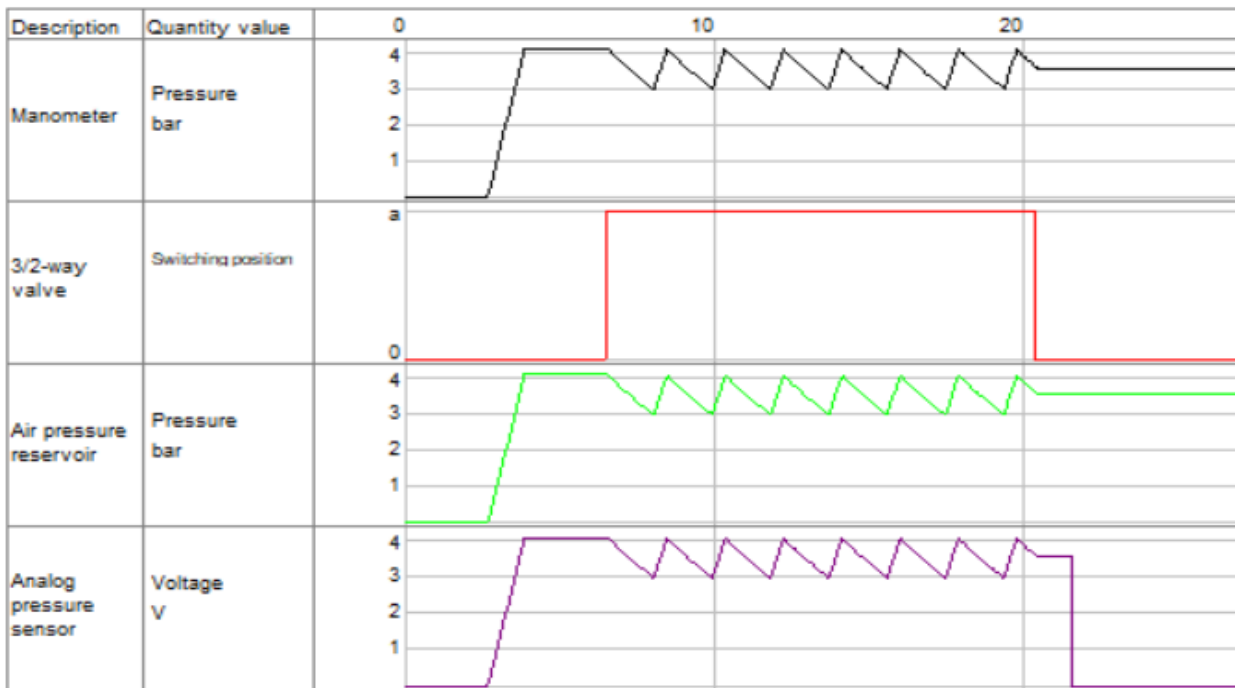
Рис.3.18. Узагальнена схема стеження за показниками наявності продукту і паралельного контролю за склепіннями в бункері-живильнику експериментального модуля

Переваги датчиків ємнісного типу:

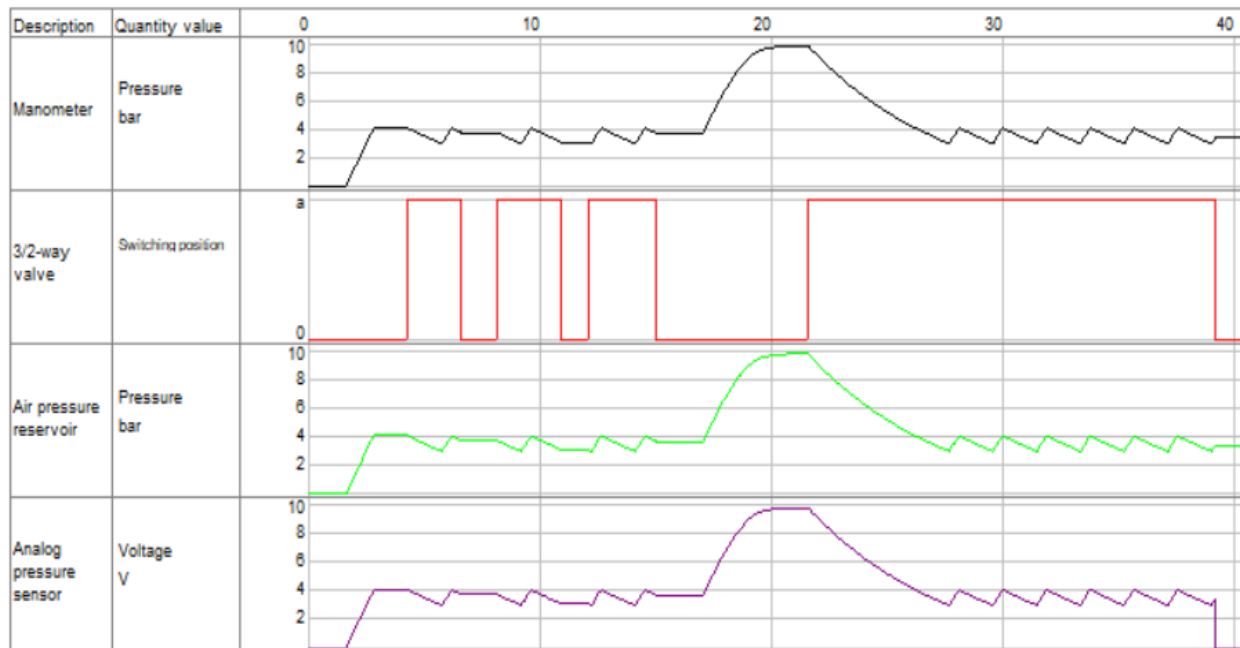
- Висока точність: Дозволяють вимірювати рівень заповнення з високою точністю.
- Швидкодія: Швидко реагують на зміну рівня продукту.
- Безконтактний принцип роботи: Немає механічного зносу, що підвищує надійність.
- Стійкість до агресивних середовищ: Можуть використовуватися в умовах підвищеної вологості та запиленості.
- Можливість вимірювання різних продуктів: Придатні для роботи з різними видами сипучих продуктів.

3.7. Результати чисельного експерименту на основі

програми FluidSim



a)



б)

Рис.3.13 Тестовий режим. Результати чисельного моделювання процесом дозування за експериментальною системою (рис.3.5)

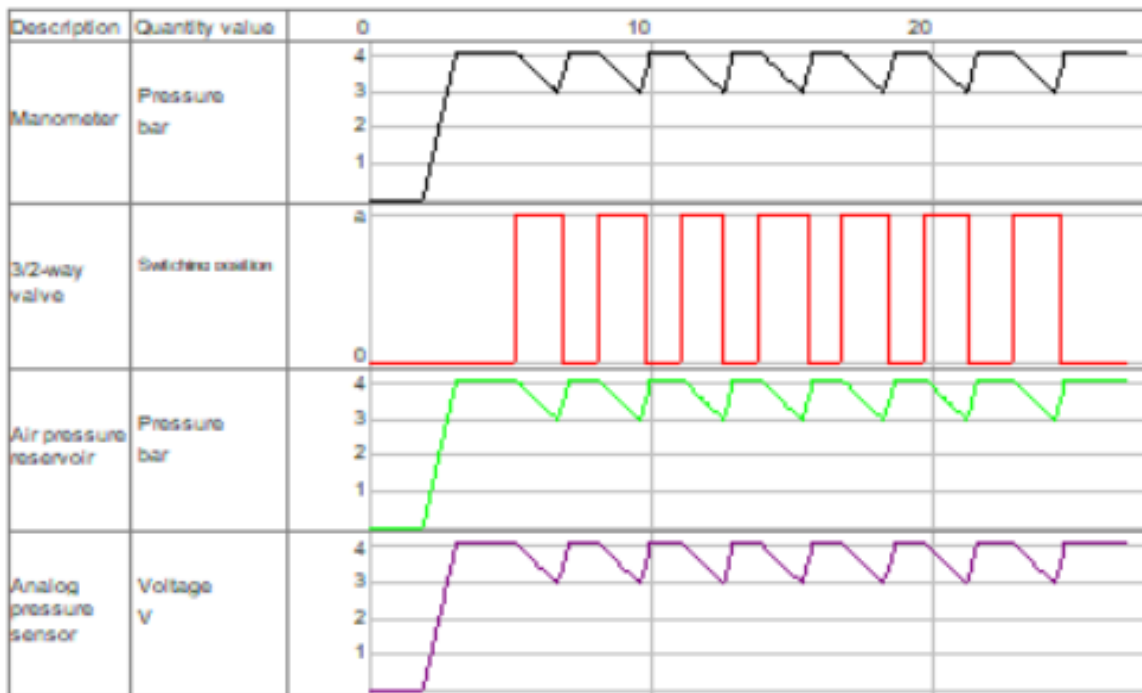


Рис.3.14. Робочий режим. (доза 250г). Результати чисельного моделювання процесом дозування за експериментальною системою (рис.3.5)

Наведені графіки (рис.3.13, рис.3.14) детально описують роботу дозувального пристрою. За його даними можна простежити за періодичними змінами тиску в системі, що свідчать про циклічний характер роботи. Синхронні зміни положення триходового клапана з тиском вказують на його безпосередню участь у процесі дозування. Аналіз амплітуди та частоти пульсацій тиску дозволяє оцінити об'єм та швидкість дозування. Запізнення зміни тиску в резервуарі відносно загального тиску в системі пов'язане з його об'ємом та інерційністю системи. Лінійна залежність сигналу аналогового датчика тиску від фактичного тиску свідчить про його правильну калібровку. Відхилення від ідеальної роботи можуть бути спричинені нестабільністю джерела стисненого повітря, протіканнями в системі, забрудненням клапана або неправильною калібрування датчиків. Загалом, графік демонструє чітку кореляцію між різними параметрами системи та дозволяє оцінити ефективність роботи

дозувального пристрою.

Висновок до розділу 3:

У третьому розділі представлено результати дослідження роботи дозувально-фасувального пристрою для сипких харчових продуктів, виконаного на експериментальній установці. Детально розглянуто конструкцію технічної системи, описано методику проведення експериментів та отримано дані, що дозволяють оцінити ефективність її роботи.

Експериментальна установка продемонструвала високу функціональність та здатність працювати з продуктами різної сипкості та фракції. Проведені випробування показали, що точність дозування значною мірою залежить від налаштувань системи, таких як швидкість обертання дозувального механізму, тиск у пневматичному приводі та стабільність подачі продукту. Було виявлено, що впровадження сучасних датчиків ваги та зворотного зв'язку забезпечує зменшення похибки дозування до мінімального рівня.

Результати експериментів підтвердили стабільність роботи пристрою в умовах тривалого навантаження, а також його адаптивність до змінних характеристик продукту. Дослідження продуктивності показало, що система може підтримувати високу швидкість роботи без втрати точності, що є важливим для промислового використання. Водночас проведений аналіз виявив залежність енергоефективності пристрою від налаштувань приводу та механізмів подачі.

Таким чином, результати цього розділу є важливим внеском у підвищення ефективності роботи дозувально-фасувального пристрою та створюють основу для подальшого впровадження розроблених рекомендацій у виробничий процес.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Основні вимоги безпеки перед початком роботи у харчовій промисловості

Потенційні ризики та шкідливі фактори на обладнанні для сипких продуктів

Під час роботи з дозувально-фасувальним обладнанням працівник може зазнавати впливу таких небезпечних і несприятливих факторів:

- рухомі частини механізмів, такі як дозувальні елементи, транспортери, шнеки;
- низька температура обладнання або продуктів;
- знижена температура повітря на робочому місці;
- високий рівень шуму, що утворюється під час роботи

Перед початком роботи з дозувально-фасувальним обладнанням для сипких харчових продуктів необхідно врахувати потенційні ризики та шкідливі фактори, які можуть вплинути на працівника. Основними небезпечними факторами є рухомі частини механізмів, такі як дозувальні елементи, транспортери чи шнеки, які можуть стати джерелом травм у разі неправильного використання. Додатковими ризиками є низька температура обладнання або продуктів, а також знижена температура повітря в робочій зоні, що може спричинити дискомфорт або проблеми зі здоров'ям. Високий рівень шуму, утворений роботою приводів і механізмів, впливає на загальний стан працівника, а висока вологість повітря та недостатнє освітлення робочого простору створюють додаткові складнощі у виконанні завдань. Особливу увагу слід приділяти гострим краям деталей обладнання, нерівним поверхням інструментів чи тари, які можуть спричинити порізи або травми, а також уникати фізичних

перевантажень під час виконання роботи.

Працівник зобов'язаний повідомляти керівництво про будь-які обставини, що створюють загрозу здоров'ю чи життю, або про будь-які нещасні випадки на виробництві. У разі погіршення самопочуття, включаючи симптоми захворювань, працівник повинен негайно припинити роботу та звернутися до керівника.

Перед початком роботи співробітник повинен залишити верхній одяг, взуття та особисті речі у гардеробній кімнаті, ретельно вимити руки з милом, вдягнути чистий санітарний одяг, зафіксувати волосся під ковпак чи сітку та зняти прикраси, годинники та інші сторонні предмети. Харчове обладнання можуть експлуатувати виключно кваліфіковані працівники, які пройшли відповідне навчання, стажування та інструктаж з охорони праці. Працівник повинен переконатися, що робоче місце оснащено необхідними пристроями, інструментами та матеріалами, а також уникати використання небезпечних предметів, таких як шпильки чи голки.

Перед початком роботи слід підготувати робоче місце, залишивши вільні проходи, перевірити стійкість столів, полиць та надійність фіксації обладнання. Матеріали, інструменти й напівфабрикати мають бути розташовані зручно та безпечно відповідно до частоти використання. Обов'язковою є візуальна перевірка стану обладнання: необхідно переконатися у достатньому освітленні робочої поверхні, відсутності оголених проводів, справності електричних і механічних елементів, цілісності заземлюючих з'єднань, а також наявності огорож для рухомих частин механізмів. Робочі поверхні повинні бути рівними, чистими та безпечними для використання. Лише після перевірки та фіксації всіх деталей відповідно до документації виробника обладнання можна розпочинати роботу.

У випадках несправності обладнання, яка може призвести до аварії, працівник зобов'язаний негайно припинити експлуатацію, відключити електроживлення, подачу сировини чи повітря, повідомити керівника та дотримуватися отриманих інструкцій. У разі небезпечних ситуацій, таких як руйнування обладнання, ураження електричним струмом чи поломка механізмів, слід негайно зупинити всі операції, надати першу допомогу постраждалим, усунути джерело небезпеки та евакуювати людей із небезпечної зони. Робота може бути відновлена лише після повного усунення причин аварії. У разі пожежі необхідно припинити роботу, відключити обладнання, використати первинні засоби пожежогасіння, повідомити пожежну службу за номером «101» та організувати евакуацію людей і матеріалів. Дотримання цих вимог є основою для забезпечення безпечних умов роботи на дозувально-фасувальному обладнанні для сипких харчових продуктів.

Висновок до розділу 4

Охорона життя та здоров'я працівників у процесі експлуатації дозувально-фасувального обладнання

Охорона життя та здоров'я працівників є пріоритетом державної політики у сфері охорони праці. Особливо актуальними ці питання є у харчовій промисловості, де робота на дозувально-фасувальному обладнанні супроводжується дією різноманітних шкідливих і небезпечних факторів. Умови праці, що включають вплив виробничого середовища та технологічних процесів, значно впливають на здоров'я та працездатність працівників. Швидке впровадження нових технологій, матеріалів і обладнання вимагає особливої уваги до безпеки, адже такі інновації можуть мати невивчені наслідки для працівників.

Безпека виробничих процесів

Експлуатація дозувально-фасувального обладнання для сипких

харчових продуктів може супроводжуватися підвищеним рівнем шуму, вібрацій, а також виділенням пилу чи дрібнодисперсних частинок, які негативно впливають на здоров'я працівників. Робота з сипкими продуктами може спричиняти накопичення пилу у повітрі, що збільшує ризик респіраторних захворювань. Використання автоматизованих систем управління дозувальними механізмами створює додаткові ризики травмонебезпечних ситуацій через наявність рухомих і обертових частин.

Безпечність роботи з дозувально-фасувальним обладнанням забезпечується:

- використанням технічно справного обладнання з відповідними захисними пристроями;
- проведенням регулярного технічного обслуговування механізмів;
- допуском до роботи лише кваліфікованих працівників, які пройшли відповідне навчання, стажування та інструктажі з охорони праці.

Організація та управління охороною праці

Система управління охороною праці у процесі експлуатації дозувально-фасувального обладнання регулює взаємодію між працівниками, підрозділами та роботодавцем. Вона спрямована на забезпечення дотримання норм безпеки та ефективної організації робочого процесу. Основні аспекти організації охорони праці включають:

Кадрову політику: Призначення відповідальних осіб, створення служби охорони праці для контролю за дотриманням безпечних умов експлуатації обладнання.

Навчання та перевірку знань: Організація постійного навчання працівників з питань охорони праці, перевірка їхніх знань і навичок роботи з обладнанням.

Інструктажі: Проведення вступних, періодичних та цільових інструктажів з акцентом на безпечні методи роботи з сипкими продуктами.

Контроль: Щоденний моніторинг виконання технологічних операцій,

дотримання вимог інструкцій і використання засобів індивідуального захисту.

Інструктажі та стажування

Перед початком роботи працівники проходять інструктажі, які охоплюють правила роботи з дозувально-фасувальним обладнанням, використання захисних засобів і способи надання першої допомоги. Під час стажування нові співробітники набувають практичних навичок роботи з обладнанням під контролем досвідчених спеціалістів. Регулярний контроль з боку керівників і служби охорони праці дозволяє виявляти потенційні проблеми та запобігати травмам.

Профілактика виробничого травматизму

Дотримання інструкцій із охорони праці, своєчасне проведення інструктажів, регулярне технічне обслуговування обладнання та використання засобів захисту є основними заходами профілактики травматизму. Використання засобів індивідуального захисту, таких як рукавички, респіратори та захисні окуляри, сприяє мінімізації впливу шкідливих факторів. Постійний контроль за станом обладнання та безпечністю технологічних процесів забезпечує ефективне управління охороною праці та створення безпечних умов роботи для всіх працівників.

ВИСНОВОК

У ході виконання дипломного проєкту на тему «Синтез дозувально-фасувального пристрою для сипких харчових продуктів» проведено всебічний аналіз конструктивних і технологічних аспектів роботи обладнання, а також розроблено рекомендації для його вдосконалення.

У першому розділі виконано огляд сучасних конструктивних рішень дозувально-фасувальних пристроїв, розглянуто їх переваги, недоліки та особливості застосування. Було визначено основні технічні вимоги до таких систем, зокрема точність дозування, продуктивність, надійність і відповідність санітарно-гігієнічним нормам. Проведений аналіз дозволив окреслити перспективи вдосконалення існуючих конструкцій і створення оптимального дозувально-фасувального пристрою.

Другий розділ присвячено аналізу системи управління дозувально-фасувальним пристроєм, включаючи її основні компоненти: контролери, датчики, виконавчі механізми та приводи. Розроблено авторські пропозиції щодо вдосконалення системи управління шляхом інтеграції адаптивного управління, використання сучасних датчиків і впровадження технологій Industry 4.0. Запропоновані рішення спрямовані на підвищення точності дозування, продуктивності та енергоефективності роботи обладнання.

У третьому розділі представлено результати експериментального дослідження роботи дозувально-фасувального пристрою. Експериментальна установка дозволила оцінити точність, стабільність і продуктивність системи. Отримані дані підтвердили ефективність розроблених технічних і програмних рішень. Проведений аналіз показав залежність точності дозування від характеристик продукту та параметрів роботи системи, що стало основою для розробки практичних рекомендацій з оптимізації конструкції.

Четвертий розділ було присвячено питанням охорони праці. Розроблено рекомендації щодо забезпечення безпеки під час роботи з дозувально-фасувальним обладнанням. Особливу увагу приділено аналізу можливих ризиків, організації безпечного робочого середовища, дотриманню інструкцій із охорони праці та профілактиці виробничого травматизму.

Результати дипломного проєкту мають важливе практичне значення. Розроблені рекомендації можуть бути використані для вдосконалення існуючого обладнання, підвищення точності та стабільності його роботи, а також для проєктування нових систем дозування, що відповідають сучасним вимогам харчової промисловості. Запропоновані рішення сприяють зниженню виробничих втрат, оптимізації енергоспоживання та забезпеченню відповідності санітарно-гігієнічним стандартам.

Таким чином, проведена робота вирішує актуальні завдання харчової промисловості, спрямовані на підвищення ефективності виробничих процесів і забезпечення якості кінцевої продукції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гуменюк В. О. Сучасні технології пакування харчових продуктів. Київ: Аграрна освіта, 2020.
2. Кравченко А. М. Обладнання для харчової промисловості. Харків: Фоліо, 2019.
3. Василенко І. О. Модернізація дозувальних систем у харчовій промисловості. Львів: Інноваційні технології, 2021.
4. Науменко С. В. Основи автоматизації харчових виробництв. Київ: Техніка, 2018.
5. Сидоренко О. І., Яровий Д. М. Гігієнічні вимоги до пакувальних матеріалів у харчовій промисловості. Вінниця: ВНТУ, 2022.
6. Ковальчук М. В. Дозувально-фасувальні системи: Теорія і практика. Київ: Академперіодика, 2017.
7. Власенко Р. Г. Інновації в пакувальних технологіях. Одеса: Маяк, 2019.
8. Стасюк В. І. Технологічні процеси у харчовій промисловості. Львів: Світ, 2020.
9. Robinson P., Adams T. Innovative Solutions for Food Packaging. Boston: MIT Press, 2019.
10. Bauer S. Energy Efficiency in Food Processing Equipment. Munich: Springer, 2020.
11. Williams J. Control Systems in Food Manufacturing. Los Angeles: Academic Press, 2021.
12. Cascos, G., Lozano, J., Arroyo, P., Ruiz-Canales, A., Oates, M.J., & Martín-Vertedor, D. (2023). Fusion data of digital olfaction devices for the evaluation of the quality of fresh coffee beans.
13. Reis, N., Botelho, B.G., Franca, A.S., & Oliveira, L.S. (2017). Simultaneous detection of multiple adulterants in ground roasted coffee by ATR-FTIR spectroscopy and data fusion. *Food Anal. Methods*, 10(10), 2700-2709.
14. Chen, J., Ye, F., & Zhao, G. (2019). Rapid determination of wheat flour quality

- based on data fusion technology. *Food and Fermentation Industries*, 45(3), 243-250.
15. Vitelli, M., Mehrtash, H., Assatory, A., Tabatabaei, S., Legge, R.L., & Rajabzadeh, A.R. (2021). Rapid and non-destructive determination of protein and starch content in agricultural powders using near-infrared and fluorescence spectroscopy, and data fusion. *Powder Technology*, 381, 620-631.
 16. Jing, W., Zhao, X., Li, M., Hu, X., Cheng, X., Ma, S., & Wei, F. (2022). Application of Multiple-Source Data Fusion for the Discrimination of Two Botanical Origins of *Magnolia Officinalis* Cortex Based on E-Nose Measurements, E-Tongue Measurements, and Chemical Analysis. *Molecules*, 27(8), 3892.
 17. Gibbons, E., Léveillé, R., & Berlo, K. (2020). Data fusion of laser-induced breakdown and Raman spectroscopies: Enhancing clay mineral identification. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 170, 105764.
 18. Afriyie, E., Verdoodt, A., & Mouazen, A.M. (2021). Data fusion of visible near-infrared and mid-infrared spectroscopy for rapid estimation of soil aggregate stability indices. *Computers and Electronics in Agriculture*, 187, 106113.
 19. Xu, D., Zhao, R., Li, S., Chen, S., Jiang, Q., Zhou, L., & Shi, Z. (2019). Multi-sensor fusion for the determination of several soil properties in the Yangtze River Delta, China. *European Journal of Soil Science*, 70(1), 162-173.
 20. Al-Asadi, R.A., & Mouazen, A.M. (2014). Combining frequency domain reflectometry and visible and near infrared spectroscopy for assessment of soil bulk density. *Soil Tillage Research*, 135, 60-70.
 21. Al-Asadi, R.A., & Mouazen, A.M. (2018). A prototype measuring system of soil bulk density with combined frequency domain reflectometry and visible and near infrared spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture*, 151, 485-491.
 22. Ji, W., Adamchuk, V.I., Chen, S., Su, A.S.M., Ismail, A., Gan, Q., Shi, Z., & Biswas, A. (2019). Simultaneous measurement of multiple soil properties through proximal sensor data fusion: A case study. *Geoderma*, 341, 111-128.

23. Gholizadeh, A., Coblinski, J.A., Saberioon, M., Ben-Dor, E., Drábek, O., Demattê, J.A., Boru°vka, L., Ne°mec°ek, K., Chabrilat, S., & Dajc°l, J. (2021). vis–NIR and XRF data fusion and feature selection to estimate potentially toxic elements in soil. *Sensors*, 21(4), 2386.
24. Список літератури
25. Whiting, M., Salley, S.W., James, D.K., Karl, J.W., & Brungard, C.W. (2020). Rapid bulk density measurement using mobile device photogrammetry. *Soil Science Society of America Journal*, 84(2), 811-817.
26. Rossi, A.M., Hirmas, D.R., Graham, R.C., & Sternberg, P.D. (2008). Bulk density determination by automated three-dimensional laser scanning. *Soil Science Society of America Journal*, 72(4), 1591-1593.
27. Roseberry, M.-O., Gagnon, F., Desbiens, A., Bouchard, J., & Lapointe-Garant, P.-P. (2020). Monitoring the moisture content in pharmaceutical batch fluidized bed dryers using observer-based soft sensors. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), 12056-12061.
28. Gurden, S.P., Westerhuis, J.A., & Smilde, A.K. (2002). Monitoring of batch processes using spectroscopy. *AIChE Journal*, 48(10), 2283-2297.
29. Schwenck, D., Ellendt, N., Fischer-Bühner, J., Hofmann, P., Mädler, L., & Uhlenwinkel, V. (2013). Effect of Process Parameters on Powder Quality. In *SDMA. 5th Int Conf on Spray Deposition and Melt Atomization*. Bremen, Germany.
30. Fu, X., Huck, D., Makein, L., Armstrong, B., Willen, U., & Freeman, T. (2012). Effect of particle shape and size on flow properties of lactose powders. *Particuology*, 10(3), 203-208.
31. Li, J., Wang, Z., Xiu, H., Zhao, X., Ma, F., Liu, L., Yi, C., Zhang, M., Kozliak, E., & Ji, Y. (2022). Correlation between the powder characteristics and particle morphology of microcrystalline cellulose (MCC) and its tablet application performance. *Powder Technology*, 399, 118-128.
32. Keller, T., & Håkansson, I. (2010). Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content. *Geoderma*, 154(3-

- 4), 398-406.
33. Heuscher, S.A., Brandt, C.C., & Jardine, P.M. (2005). Using soil physical and chemical properties to estimate bulk density. *Soil Science Society of America Journal*, 69(1), 51-56.
34. Gowida, A., Elkatatny, S., & Abdulraheem, A. (2019). Application of artificial neural network to predict formation bulk density while drilling. *Petrophysics-The SPWLA Journal of Formation Evaluation and Reservoir Description*, 60(3), 660-674.
35. Huang, J., Kaul, G., Utz, J., Hernandez, P., Wong, V., Bradley, D., Nagi, A., & O'Grady, D. (2010). A PAT approach to improve process understanding of high shear wet granulation through in-line particle measurement using FBRM C35. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 99(10), 3205-3212.
36. Crouter, A., & Briens, L. (2014). The effect of moisture on the flowability of pharmaceutical excipients. *AAPS PharmSciTech*, 15(1), 65-74.
37. Wang, Z., Cao, J., Li, W., Wang, Y., Luo, G., Qiao, Y., Zhang, Y., Xu, B., & Cao, C. (2021). Using a material database and data fusion method to accelerate the process model development of high shear wet granulation. *Scientific Reports*, 11(1), 1-12.
38. Yin, H., Cao, Y., Marelli, B., Zeng, X., Mason, A.J., & Cao, C. (2021). Soil sensors and plant wearables for smart and precision agriculture. *Advanced Materials*, 33(47), 2007764.
39. Bec', K.B., Grabska, J., & Huck, C.W. (2021). Principles and applications of miniaturized near-infrared (NIR) spectrometers. *Chemistry – A European Journal*, 27(12), 1514-1532.
40. Mariuta, D., Colin, S., Barrot-Lattes, C., Le Calvé, S., Korvink, J.G., Baldas, L., & Brandner, J.J. (2020). Miniaturization of fluorescence sensing in optofluidic devices. *Microfluidics and Nanofluidics*, 24(1), 1-28.
41. Yang, Z., Albrow-Owen, T., Cai, W., & Hasan, T. (2021). Miniaturization of optical spectrometers. *Science*, 371(6532), eabe0722.
42. Aouadi, B., Zaukuu, J.-L.-Z., Vitális, F., Bodor, Z., Fehér, O., Gillay, Z., Bazar,

- G., & Kovacs, Z. (2020). Historical evolution and food control achievements of near infrared spectroscopy, electronic nose, and electronic tongue—Critical overview. *Sensors*, 20(11), 5479.
43. Slišković, D., Grbić, R., & Hocenski, Ž. (2011). Methods for plant data-based process modeling in soft-sensor development. *Journal of Control, Measurement, Electronics, Computer and Communications*, 52(3), 306-318.
44. Tahir, F., Mercer, E., Lowdon, I., & Lovett, D. (2018). Advanced process control and monitoring of a continuous flow micro-reactor. *Control Engineering Practice*, 77, 225-234.
45. Asachi, M., & Alonso Camargo-Valero, M. (2023). *Advanced Powder Technology*, 34(6), 104055.