

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Донецький національний університет економіки і торгівлі  
імені Михайла Туган-Барановського  
Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму  
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

ДОПУСКАЮ ДО ЗАХИСТУ  
Гарант освітньої програми «Галузеве  
машинобудування»  
Цвіркун Л.О.  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 року

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**  
на здобуття ступеня вищої освіти «Бакалавр»  
зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»  
за освітньою програмою «Галузеве машинобудування»

на тему: **«МОДЕРНІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ  
ОБ'ЄМНОГО ДОЗУВАННЯ У ВИРОБНИЦТВІ МЕЛЕНОЇ КАВИ»**

Виконав:  
здобувач вищої освіти Ободенко Олена Андріївна \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по-батькові) (підпис)

Керівник: к.т.н., доцент Омельченко О.В. \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у кваліфікаційній  
роботі немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_  
(підпис)

Кривий Ріг  
2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТОРГІВЛІ  
ІМЕНІ МИХАЙЛА ТУГАН-БАРАНОВСЬКОГО

Навчально-науковий інститут ресторанно-готельного бізнесу та туризму  
Кафедра загальноінженерних дисциплін та обладнання

Форма здобуття вищої освіти заочна

Ступінь бакалавр

Галузь знань Механічна інженерія

Освітня програма Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Гарант освітньої програми «Галузеве  
машинобудування»

Цвіркун Л.О.

«    » \_\_\_\_\_ 2022 року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Ободенко Олені Андріївні

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Модернізація технологічного процесу  
об'ємного дозування у виробництві меленої кави»

Керівник роботи к.т.н., доцент Омельченко О.В.  
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Затверджено: наказом першого проректора ДонНУЕТ імені Михайла Туган-  
Барановського від «19» листопада 2021 р. №415-с.

2. Строк подання здобувачем ВО роботи «22» травня 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи:

1. Технічна документація до устаткування.

2. Монографії, наукові статті, автореферати дисертацій, тези доповідей на  
наукові конференції.

3. Навчальна і методична література, інформація мережі Інтернет.

4. Зміст пояснювальної записки:

1. Вступ.

2. Аналіз технологічного процесу виробництва меленої кави.

3. Удосконалення параметрів конструкції бункера об'ємного дозатора.

4. Охорона праці.

5. Висновки.
6. Список використаних джерел.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
  1. Функціонально-структурна схема впливу факторів під час дозування меленої кави.
  2. Конструктивні параметри бункера дозатора.
  3. Моделювання швидкості руху меленої кави.
  4. Результат моделювання з кутом нахилу бункера  $\beta w=31^\circ$  та  $d = 0.10$  м.
  5. Графік поверхні зміни щільності від коефіцієнта тертя МК.
  6. Імітаційна модель системи управління дозуванням меленої кави.
6. Дата видачі завдання «26» листопада 2021 р.
7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи
1	Вступ	31.01.2022-15.02.2022
2	Аналіз технологічного процесу виробництва меленої кави.	16.12.2022-10.03.2022
3	Удосконалення параметрів конструкції бункера об'ємного дозатора.	11.03.2022-15.04.2022
4	Охорона праці	16.04.2022-30.04.2022
5	Висновки по роботі	01.05.2022-12.05.2022
6	Оформлення роботи і подання до захисту	16.05.2022-25.05.2022

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_ (підпис)

Ободенко О.А.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Омельченко О.В.  
(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Обсяг і структура бакалаврської роботи. Повний обсяг бакалаврської роботи – 52 сторінки, в тому числі основного тексту – 45 сторінок. Робота містить: 2 таблиці, 22 рисунка. Список використаних джерел складається з 15 найменувань.

Об'єкт роботи – об'ємний дозатор.

Предмет роботи – процес дозування меленої кави.

Мета роботи – модернізація технологічного процесу об'ємного дозування у виробництві меленої кави.

Бакалаврська робота присвячена модернізації технологічного процесу об'ємного дозування у виробництві меленої кави. Зазначено, що однією з найважливіших технологічних операцій під час приймання, зберігання та переробки кави при виробництві меленої обсмаженої кави є дозування. Недотримання у процесі дозування меленої кави хоча б однієї з фізико-механічних властивостей (вологість, розмір та форма, гранулометричний склад тощо) неминуче впливає на структуроутворення продукту, що у свою чергу, також впливає на процес утворення порожнечі біля вихідного отвору при дозуванні меленої кави. Обрано контрольовані та регульовані параметри, як показники контролю якості.

Запропонована модель визначення швидкості руху меленої кави з урахуванням фізико-механічних властивостей МК дозволяє визначити параметри бункера, який забезпечує стабільність руху меленої кави без утворення порожнечі біля вихідного отвору та правильне налаштування об'ємного дозатора. Визначено геометричні розміри та параметри конструкції бункера об'ємного дозатора, які забезпечать стійкий перебіг меленої кави.

Здійснено моделювання процесів руху меленої кави з використанням комп'ютерних технологій. З урахуванням фізико-механічних властивостей МК та параметрів конструкції бункера, проведений аналіз показав, що на кут зовнішнього тертя МК суттєво впливають ефективні значення коефіцієнтів тертя ковзання  $f_s$ .

Було виявлено, що дрібніші частинки меленої кави переважають у центрі бункера, а більші та мокріші частки скочуються і накопичуються біля стінок бункера; дрібніші частинки МК розвантажуються в першу чергу, а більші в останню чергу. При підвищеній вологості меленої кави швидкість руху помітно зменшується (ближче до нуля). Мелена кава має неправильну форму, щоб збільшувати кількість аналізованих дискретних частинок меленої кави прийнято форму частинок як кульок. При нормальному стані меленої кави та правильній конструкції бункера процес руху здійснюється без скупчення.

Результат моделювання з кутом нахилу бункера  $\beta w = 31^\circ$  показав, що не здійснюється процес утворення порожнечі біля вихідного отвору. Швидкість меленої кави з параметрами конструкції бункера ( $d = 0.10$  м,  $\beta w = 31^\circ$ ) калібрується між (0.1 – 0.75 м/с).

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** технологічний процес, об'ємний дозатор, дозування, мелена кава, технологічні параметри при дозуванні, моделювання.

## ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА МЕЛЕНОЇ КАВИ	7
1.1 Технологічні операції виробництва кави	7
1.2 Аналіз процесу дозування меленої кави	10
1.3 Контрольовані технологічні параметри при дозуванні	13
1.4 Аналіз дозаторів як базової складової технологічного процесу виробництва меленої кави	14
1.5 Системи керування дозаторами	16
РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КОНСТРУКЦІЇ БУНКЕРА ОБ'ЄМНОГО ДОЗАТОРА	19
2.1 Основні параметри бункера для дозування меленої кави	19
2.2 Особливості процесу руху кави в бункері дозатора	22
2.3 Параметри конструкції бункера дозатора	30
2.4 Моделювання руху частинок МК в бункері об'ємного дозатора	32
2.5 Імітаційна модель системи управління процесом дозування меленої кави	37
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ	39
3.1 Забезпечення умов безпеки праці на виробництві	39
3.2 Правила та норми освітлення	40
3.3 Електробезпека на підприємстві харчової промисловості	40
3.4 Виробничий шум і вібрація	41
3.5 Пожежна безпека	41
ВИСНОВКИ	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	45
ДОДАТКИ	46

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-18.2022.ПЗ</b>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ободенко</i>			<b>Модернізація технологічного процесу об'ємного дозування у виробництві меленої кави</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Омельченко</i>					1	52
<i>Н. Контр.</i>		<i>Омельченко</i>			<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>			
<i>Затверд.</i>		<i>Цвіркун</i>						

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** В даний час споживання меленої обсмаженої кави займає провідне місце серед галузей харчової промисловості, а ця продукція користується незмінним і значним попитом у населення усієї земної кулі. Однією з найважливіших технологічних операцій під час приймання, зберігання та переробки кави при виробництві меленої обсмаженої кави є дозування. Дозування меленої кави є найважливішим завданням у харчовій промисловості. Крім того, у різних галузях промисловості дуже актуальною є проблема стабільної та коректної подачі продукту в дозуючий механізм.

**Мета та задачі дослідження.** Метою бакалаврської роботи є модернізація технологічного процесу об'ємного дозування у виробництві меленої кави.

**Практична та наукова новизна.** У процесі виконання роботи було розглянуто технологічний процес виробництва меленої кави. Обрано контрольовані та регульовані параметри як показники контролю якості.

Визначення швидкості руху меленої кави з урахуванням фізико-механічних властивостей МК дозволяє визначити параметри бункера, який забезпечує стабільність руху меленої кави без утворення порожнечі біля вихідного отвору та правильне налаштування об'ємного дозатора. Визначено геометричні розміри та параметри конструкції бункера об'ємного дозатора, які забезпечать стійкий перебіг меленої кави.

Здійснено моделювання процесів руху меленої кави з використанням комп'ютерних технологій. З урахуванням фізико-механічних властивостей МК та параметрів конструкції бункера, проведений аналіз показав, що на кут зовнішнього тертя МК суттєво впливають ефективні значення коефіцієнтів тертя ковзання  $f_s$ .

Було виявлено, що дрібніші частинки меленої кави переважають у центрі бункера, а більші та мокріші частки скочуються і накопичуються біля стінок бункера, дрібніші частинки МК розвантажуються в першу чергу, а більші в останню чергу. При підвищеній вологості меленої кави швидкість руху помітно зменшується (ближче до нуля).

Мелена кава має неправильну форму, щоб збільшувати кількість аналізованих дискретних частинок меленої кави прийнято форму частинок як кульок. При нормальному стані меленої кави та правильній конструкції бункера процес руху здійснюється без скупчення.

Результат моделювання з кутом нахилу бункера  $\beta_w=31^\circ$  показав, що не здійснюється процес утворення порожнечі біля вихідного отвору. Швидкість меленої кави з параметрами конструкції бункера ( $d = 0.10$  м,  $\beta_w = 31^\circ$ ) калібрується між (0.1 – 0.75 м/с).

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ободенко</i>			<b>Модернізація технологічного процесу об'ємного дозування у виробництві меленої кави</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Омельченко</i>					12	52
<i>Н. Контр.</i>		<i>Омельченко</i>				<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>		
<i>Затверд.</i>		<i>Цвіркун</i>						

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА МЕЛЕНОЇ КАВИ

### 1.1 Технологічні операції виробництва кави

Технологічний процес виробництва будь-яких кавових продуктів здійснюють на спеціалізованих комплексах обладнання для зберігання, транспортування та підготовки кавової сировини.

Процес обробки смаженої натуральної кави складається з наступних основних операцій, рис. 1.1. Прийом та зберігання зерен зеленої кави (з рослини): спочатку аналізується якість, щоб визначити, чи вона знаходиться в межах необхідних специфікацій для обробки; потім тимчасово зберігається в бункерах. Щоб звільнити вологість зерна, вона знаходиться в безперервному русі, так щоб забезпечувалась однорідність всіх частинок. На невеликих підприємствах транспортування зерен кави ведеться автотранспортом, конвеєрами. На великих підприємствах часто вдаються за допомогою до пневматичної системи транспорту. Зелені зерна кави не мають ні смаку, ні аромату, смаковий профіль створюється під час обсмажування.

Обсмаження зерен зеленої кави є однією з основних технологічних операцій при виробництві натуральної розчинної кави, оскільки від режиму обсмажування кавових зерен залежать якісні показники готової продукції. Каву смажать, мелють, варять і сушать. На стадії обсмажування в кавових зернах починаються складні біохімічні та фізичні зміни.

На стадії подрібнення, обсмажену каву з бункера направляють у гранулятор, де кава подрібнюється до стану помелу (порошок). В залежності від сорту кави ступінь помелу може змінюватись, тому попередньо оператор задає машині всі необхідні параметри.

У процесі концентрації, кава піддається тривалій високотемпературній обробці під високим тиском. Подрібнену каву завантажують у екстрактор, де протягом 8 годин кава екстрагує. Для кращої екстракції переходу кави у тверду фазу у воду додають відповідні присадки.

Сушіння – це сушіння екстракту кави, що визначає деякі якісні показники готової продукції. Наприклад, волога має бути видалена обережно і послідовно, не надто швидко, але й не надто повільно. Якщо сушіння відбувається занадто швидко, велика ймовірність, що вона буде нерівномірною. У той же час повільне, ретельне сушіння дозволяє досягти однорідного вмісту вологи. Занадто багато тепла в процесі сушіння (від механічних сушарок або прямих сонячних променів) може пошкодитися клітинна структура кавових зерен.

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ободенко</i>			<b>Модернізація технологічного процесу об'ємного дозування у виробництві меленої кави</b>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Омельченко</i>					12	52
<i>Н. Контр.</i>		<i>Омельченко</i>			<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>			
<i>Затверд.</i>		<i>Цвіркун</i>						

Для процесу пакування, кавові продукти надходять на лінію упаковки та маркування. Фасування в скляні банки та м'яке пакування повністю автоматизоване. Оператор задає необхідні параметри та контролює процес. Молота кава розфасовується у вакуумні пакети, які надійно зберігають смак та аромат, оскільки повністю виключається контакт кави з киснем.

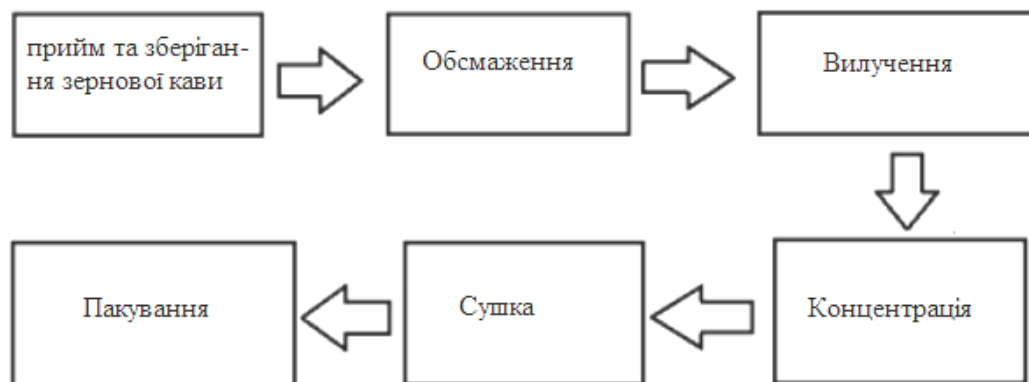


Рисунок – 1.1. Процес обробки кави

Початкові стадії технологічного процесу (ТП) виробництва кавових продуктів виконуються за допомогою комплексів обладнання для зберігання, транспортування та підготовки до виробництва кави.

Технологічна лінія виробництва меленої кави на рис. 1.2, має: 1 – вібраційний сепаратор; 2, 5 – бункер; 3 – обсмажувальний апарат; 4 – охолоджуючі чаші; 6 – фасувальний автомат; 7, 9 – камера ароматизації; 8 – гранулятор; 10 – стрічковий транспортер; 12 – розсів; 13 – фасувальний автомат; 14 – пакувальна машина.

Технологічна лінія виробництва меленої кави працює наступним чином.

Зважену каво-сировину нагнітають пневмотранспортером низького тиску у вібраційний сепаратор (1), що відокремлює домішки шляхом аспірації (відсмоктування повітря за допомогою спеціальних пристроїв), просіювання та пропуску через магніти. Легкі домішки (пил) відбираються вентилятором і осідають у знімних бочках циклонів. Вібраційний сепаратор (1) забезпечений штампованими металевими ситами з отворами наступних розмірів (в мм): пастка з овальними осередками 9x16 або 13 x 16, сортувальний (прохідний з ромбічними осередками) 10 x 17, сходове дротяне сито з квадратними осередками 2x6 або 1,5 x 20.

Сира кава з вібраційного сепаратора (1) надходить у систему пневмоконвеєра високого тиску та транспортується потоком очищеного повітря через розподільники у чотири- або шестисекційний бункер (2). Після закінчення роботи вібраційного сепаратора (1) забираються відходи з приймачів та очищаються магніти. Очищені зерна кави обсмажують у барабані обсмажувального апарату (3) (процес триває 14-15хв при температурі від 210°C до 220°C) і охолоджують в охолоджуючих чашах (4), дно яких виконано перфорованим.

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8



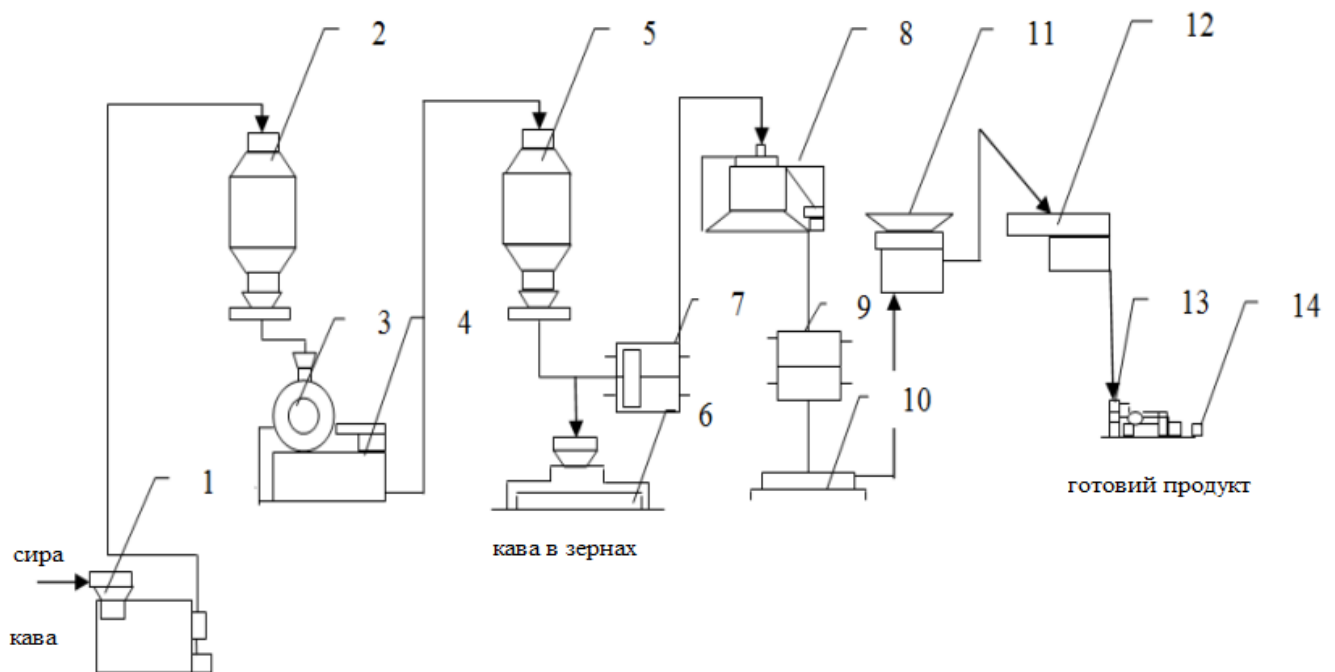


Рисунок 1.2 – Машинно-апаратурна схема технологічної лінії виробництва меленої кави

Холодне повітря простягається вентилятором знизу через шар кави, який завдяки перемішуючим лопаткам і потоку повітря знаходиться в псевдозрідженому стані, охолоджуючись протягом 10 хв.

Зволоження кави після обсмажування безпосередньо в обжарювальному апараті (3), що здійснюється також автоматично за заданою програмою, має на меті – підвищити вологість зерна кави для більш швидкого охолодження, запобіганню згоранню дрібної фракції та зменшенню пилоподібної фракції при подальшому розмелюванні.

Охолоджені зерна кави завантажуються в бункері (5) по секціях залежно від сорту та виду. Зерна кави в цілому вигляді фасують у пакети або бляшані банки на фасувальному автоматі (6).

Кава прямує до першої камери ароматизації (7), де відбувається його ароматизація за допомогою основного ароматизатора на водній основі. Після завершення процесу ароматизації ароматизовану каву направляють для розмелювання на гранулятор (8), що складається з п'яти валків, три з яких попередньо подрібнюють каву, а два доводять частинки продукту до потрібних розмірів. Далі вже подрібнену каву направляють у другу камеру ароматизації (9), де відбувається його ароматизація за допомогою додаткового ароматизатора на спиртовій основі та витримування для закріплення ароматичних речовин.

Далі каву перевіряють на стрічковому транспортері (10) і розсіюють на розсіві (12). Готову ароматизовану мелену каву направляють на фасувальний автомат (13). Фасовану в пачки або банки каву упаковують у коробки на пакувальній машині (14).

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Встановлена у схемі перша камера ароматизації дозволяє ароматизувати каву в зернах шляхом обробки зерен основним ароматизатором на водній основі. Це забезпечує закріплення частинок ароматизатора на поверхні частинок кави, підвищення ступеня його ароматизації та отримання натуральної ароматизованої меленої кави високої якості.

На рис. 1.3. показана схема процесу виробництва натуральної та зернової кави. Коли не йдеться про величезну кількість, немає ніяких вимог для спеціально обладнаного приміщення.

Проте є свої виробничі норми, які обов'язково необхідно дотримуватися. Щоб зберігати сиру каву на 30 кг зерна необхідно приміщення в 15 квадратних метрів. Приміщення для фасування готової продукції також має бути не менше ніж 15 метрів квадратних.

Особливу увагу тут треба приділяти дозатору та пакувальному автомату. Правильність вибору того чи іншого пакувального обладнання, насамперед, залежить від конструкції дозатора та характеристик дозатора.

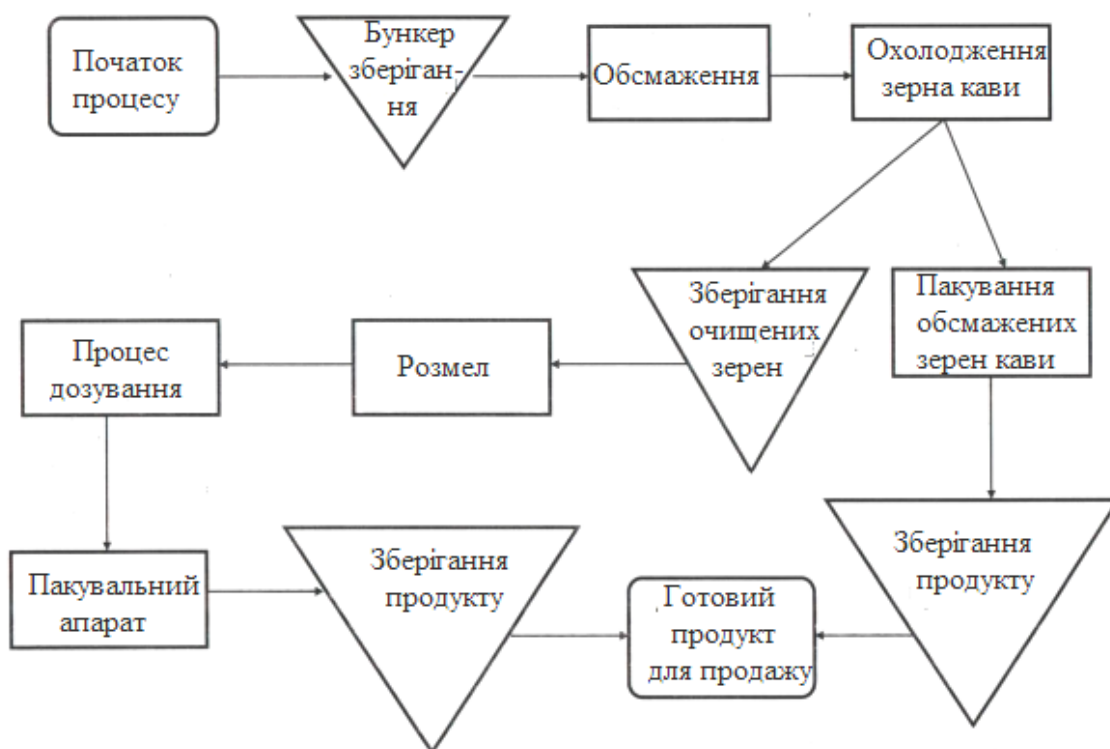


Рисунок 1.3 – Блок-схема процесу виробництва меленої обсмаженої зернової кави

## 1.2 Аналіз процесу дозування меленої кави

Процес дозування меленої кави (ДМК) безпосередньо залежить від його фізико-механічних властивостей, тому їх особливості мають вирішальне значення при виборі всього комплексу пристроїв, що дозують. ДМК є найважливішою частиною виробництва, тому що від точності дозування залежить якість продукту, дуже важко точно дозувати вручну, тому на виробництвах використовуються різні типи дозаторів.

У процесах ДМК ступінь рухливості частинок має основне значення і від його характеру витікання з бункера, подачі товару, рис. 1.4., з бункера продукт витікає у дозуючий пристрій за принципом дискретного дозування У системі дозування, дозатори забезпечують видачу заданої порції меленої кави (МК), та дозувати у заданій тимчасовій та логічній послідовності.

Найбільшу ефективність у процесі дозування меленої кави дає використання автоматичних регуляторів, які компенсують вплив зовнішніх факторів, такі як щільність, дозволяють не відхилятися від заданої програми, а також забезпечують інтуїтивно-зручне управління та надання оператору звітів про технологічний процес дозування меленої кави. Тому, у ряді випадків, при проектуванні вибір оптимальної конструкції бункера об'ємного дозатора для конкретного виду кави базується на повторенні вдалої конструкції, що виправдала себе на практиці меленої кави.

Характерні недоліки при процесі дозування меленої кави, властиві бункерам різної форми дозатора – це утворення статичних сводів над випускним отвором, відкладення меленої кави на стінках бункера і утворення стовпа, що рухається вертикально, в процесі закінчення витікання, у той час як навколишній матеріал біля стовпа представляє собою застійну зону. Застійна зона або сводоутворення припиняє тимчасово або повністю витікання меленої кави у дозуючий пристрій.

Розміри та форму бункерів вибирають залежно від плинності меленої кави. Тому, у ряді випадків, при проектуванні вибір оптимальної конструкції бункера об'ємного дозатора для конкретного виду кави базується на повторенні вдалої конструкції, що виправдала себе на практиці.

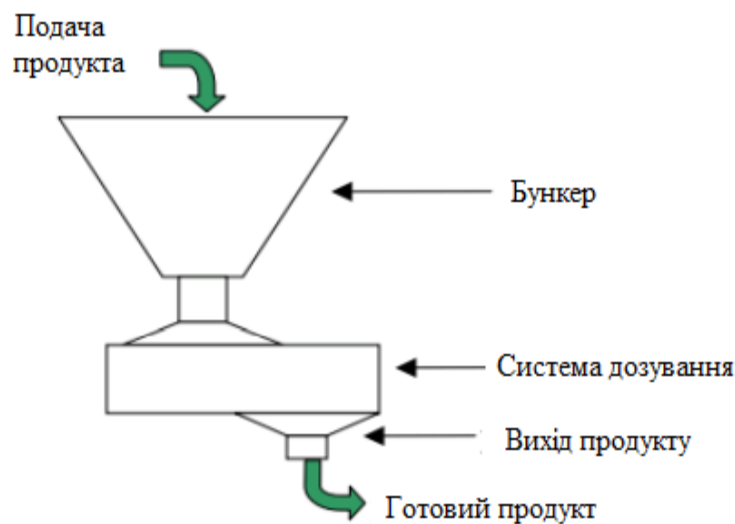


Рисунок 1.4 – Процес дозування МК

У багатьох випадках бункер розраховують на статичні навантаження при необхідному обсязі, а форму його задають на основі технічної інтуїції без урахування закономірностей закінчення меленої кави в процесі експлуатації.

Для дозування меленої кави застосовують автоматичні ваги та об'ємні дозатори. Кава має певні фізичні та механічні властивості та їх поведінка, як сипучої маси, залежить від свободи витікання, розміру та форми частинок, щільності, кута природного укосу, внутрішнього та зовнішнього тертя, зчеплюваності, вологості, електричного заряду тощо.

*Розмір та форма частинок.* Щоб уявити розмір частинки неправильної форми меленої кави одним показником, то найчастіше використовують «середній розмір». Проте частинки різного розміру меленої кави, які мають однаковий «середній розмір», можуть виявляти абсолютно різні характеристики при обробці та транспортуванні.

*Щільність та об'ємна щільність.* Щільність гранульованої меленої кави є густина, яка визначена без урахування впливу будь-якого стиснення продукту. Це положення має місце, наприклад, при щільному укладанні гранульованої меленої кави в невеликий контейнер. Очевидно, що об'ємна щільність залежить від стану меленої кави, тобто щільності частинок, форми частинок і від укладання або розташування частинок щодо одна одної. Однак, із часом в результаті переорієнтації або осідання повітря виходить із сипучої маси, зменшується обсяг, який займає дана маса, і збільшується об'ємна густина.

Об'ємна щільність або насипна щільність меленої кави є масою одиниці об'єму вільно насипаної меленої кави в будь-яку ємність безпосередньо після заповнення. В обсяг меленої кави входять внутрішні пори частинок та проміжний простір між ними, який заповнений газом.

*Кут природного укосу.* Кут природного укосу говорить нам про витрати меленої кави, який тісно пов'язаний із фрикційним матеріалом. Якщо кут наближається до нуля, витрата дуже хороша; якщо більше ніж 45 градусів, то матеріал погано буде рухатися у бункері. Це говорить про те, що чим менше кут природного укосу, тим легше витікання меленої кави із бункера. Практика показує, що під час заповнення бункера на кут природного укосу також впливають висота падіння, швидкість заповнення та продуктивність заповнення. Кут природного укосу меленої кави приблизно дорівнює мінімальному куту внутрішнього тертя цього продукту.

*Коефіцієнт зовнішнього тертя меленої кави.* Коефіцієнт зовнішнього тертя об огорожуючи конструкції відповідає тангенсу кута, який відображається прямою з віссю абсцис у стані спокою меленої кави.

Тертя меленої кави (внутрішнє та зовнішнє). Розрізняють два види тертя, а саме: зовнішнє тертя, яке являє собою тертя зерна об стіни бункера, і внутрішнє тертя – тертя зерен одне об одне. Продукти, що мають погану сипкість, характеризуються вищим коефіцієнтом внутрішнього тертя і більш сильним зчепленням, ніж продукти з гарною сипкістю. Мелена кава має погану сипкість (важко-сипкий матеріал).

*Гранулометричний склад* характеризується кількісним розподілом частинок складових сипучих матеріалів за крупністю. Гранулометричний склад меленої кави може бути виражений у вигляді дискретної залежності вмісту частинок від розмірів їх частинок. Для визначення дискретної залежності інтервал розмірів усіх частинок аналізованої меленої кави поділяють на класи

									Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ				12

(фракції) та гранулометричний склад представляють у вигляді процентного вмісту частинок кожної із фракцій (фракційний склад). Величина фракції показує вміст у частках меленої кави в інтервалі розмірів, що обмежують фракцію.

*Вологість.* Знання вмісту вологи на різних стадіях виробництва кави є одним із ключів до контролю якості та вартості. Оскільки кавові зерна продаються за вагою, вміст води в цьому продукті є особливо важливим елементом у вартості. Підвищена вологість сирової кави (більше 14%) призводить до пліснявіння та псуванню. Оптимальною вологістю сирової кави вважають 10-12%. Вологість кави може бути розподілена нерівномірно за обсягом або поверхнею. Вологість може змінюватися або додаванням вологи, або шляхом сушіння. Вона впливає на плинність, щільність меленої кави.

### 1.3 Контрольовані технологічні параметри при дозуванні

Для забезпечення стабільності протікання процесів ДМК, оптимізації режимів роботи технологічних ліній виробництва МК необхідна достовірна, своєчасна і водночас не надмірна інформація саме про основні параметри, що мають найбільший вплив при процесі ДМК. Таким чином, найважливішим завданням є визначення контрольованих технологічних параметрів під час дозування.

Технологічний апарат виробництва (ТАВ) при процесі подачі, зберіганні, дозуванні та пакуванні МК контролюються за якістю всіх операцій. Вивчивши принцип роботи технологічної лінії виробництва МК, було складено табл. 1.1 контрольованих технологічних параметрів, що характеризують стан процесу виробництва МК, що вимірюються автоматично існуючою на підприємстві АСУ ТП.

Таблиця 1.1 – Контрольовані технологічні параметри

Операції процесу виробництва МК	Найменування об'єкта автоматизації	Найменування контрольованого технологічного параметра	Одиниці вимірювання
Подача	Привід живильника	Кутова швидкість, $\omega_1$	Рад/сек
Зберігання	Бункер	Проміжна координата (рівень), h	м
		Вологість МК, W	%
		Щільність МК, $\rho$	кг/м <sup>3</sup>
Дозування	Об'ємний дозатор	Кутова швидкість, $\omega_2$	Рад/сек
		Витрати МК, $q_2$	м <sup>3</sup> /с
Зберігання	Технологічний фасово-пакувальний апарат	Продуктивність, Q	Пак/хв

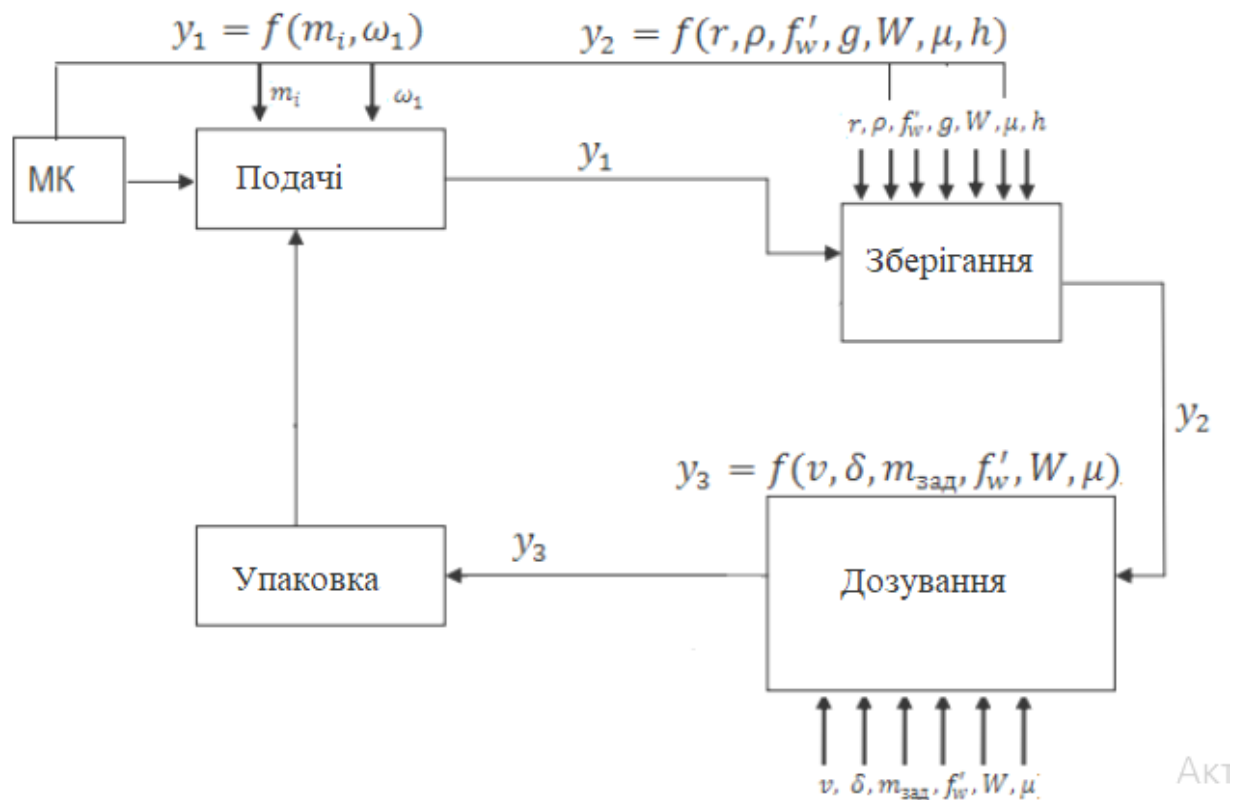


Рисунок 1.5 – Функціонально-структурна схема впливу факторів під час дозування меленої кави

#### 1.4 Аналіз дозаторів як базової складової технологічного процесу виробництва меленої кави

Відповідно до структури технологічного процесу управлінням дозування меленої кави, дозатори діляться на дозатори дискретної та безперервної дії.

Безперервне дозування характеризується подачею матеріалу безперервно та рівномірно. Кількість матеріалу, який віддається, визначається або швидкістю, або часом подачі, такі як конвеєрні або шнекові дозатори.

Дискретне дозування характеризується видачею заданої кількості матеріалу однією або декількома порціями протягом певного інтервалу часу.

Об'ємні дозатори дискретної дії (стаканчикові) представляють собою мірні судини і заміряють масу меленої кави, що пропускається, по її обсягу. Також по конструкції дозатори бувають (шнекові, об'ємні, масові). Одна з найважливіших характеристик дозатора є точність дозування.

Під дозуванням розуміється відмірювання чи відвішування певної кількості (дози) матеріалу дозатором та переміщення цієї дози від дозатора до робочих органів пакувального обладнання. На точність дозатора впливає велика кількість факторів, у тому числі коливання ваговимірювальної системи, зміна фізико-механічних властивостей меленої кави, що надходять у дозатор.

Правильність вибору того чи іншого пакувального обладнання при виробництві кави, в першу чергу, залежить від конструкції дозатора та показників дозатора.

Акт  
Чтот

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

*Ваговий дозатор* дозволяє дозувати маси незалежно від зміни обсягу маси продукту. Ваговий дозатор за правилами визначає масу нетто продукту та тому маса дози визначається до фасування меленої кави. При ваговому дозуванні використовуються ваги подвійної дії, які розміщують одну над одною, що дозволяє виробляти два паралельних зважування. При подвійному зважуванні грубе дозування здійснюється з високою швидкістю та швидким наповненням, а тонке дозування – з більшою точністю. Продуктивність дозатора в залежності від характеру продукту, що дозується, може бути 30...35 доз/хв.

У цій роботі розглядаються об'ємні дозатори ротаційного типу дискретної дії (стаканчиковий дозатор).

*Стаканчиковий дозатор (СД)* для меленої кави відрізняється від інших дозаторів тим, що є недорогий, простий по конструкції та надійний в роботі. Такий дозатор можна встановити на пакувальних машинах, як низької, так і високої продуктивності. Обсяг дози може змінюватися шляхом збільшення або зменшення відстані між двома дисками і при більш великій зміні дози замінюються мірні склянки. Регулювання дози проводиться за допомогою серводвигуна без зупинки машини, часто прямо з місця контролю маси меленої кави. Застосування останніми роками дистанційного керування значно розширило межі застосування стаканчикових дозаторів на високопродуктивних пакувальних машинах.

На рис. 1.6 розглядається прийом дозування, при фасуванні МК.

Стаканчиковий дозатор СД меленої кави має: 1 – підготовчий бункер; 2 – верхній лист; 3 – верхній стаканчик; 4 – нижній лист; 5 – нижній стаканчик; 6 – запірна заслінка; 7 – вирва(воронка); 8 – регулювання дози; 9 – упаковка.

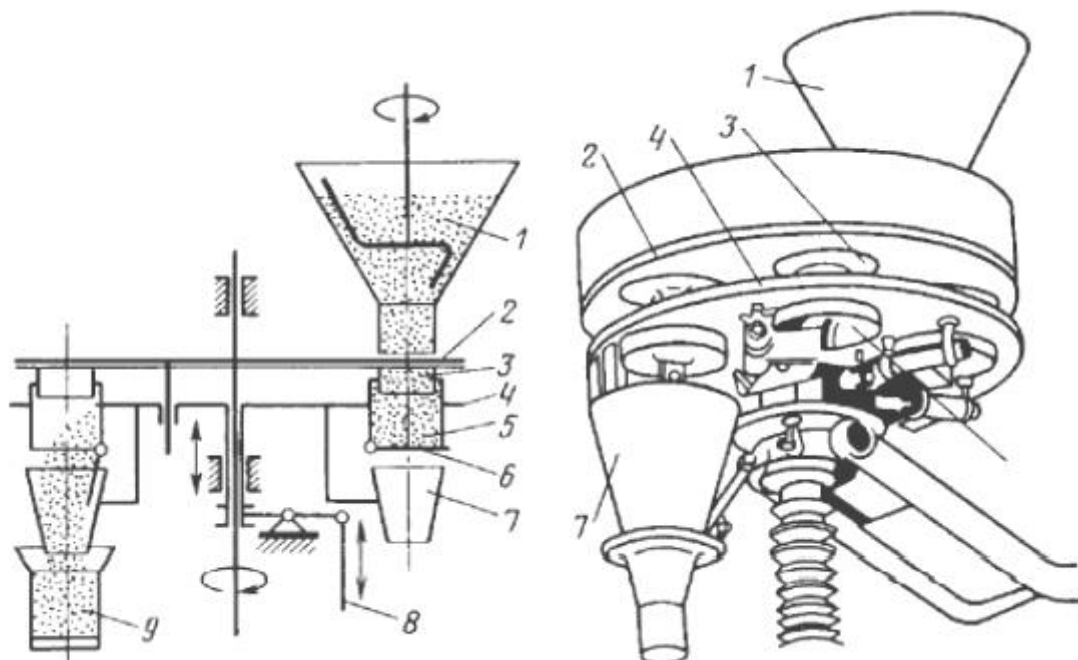


Рисунок 1.6 – Роторний стаканчиковий дозатор

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

### Принцип дії стаканчикового дозатора СД.

Мелена кава з завантажувального бункера надходить у попередню камеру, де накопичується, а потім насипається у мірні склянки. Плита з дозуючими склянками обертається, при цьому важелі відкривають або закривають клапани мірних склянок.

Проходячи під бункером ротора, склянка заповнюється продуктом, після чого зміщується. Дійшовши до встановленого місця, клапан відкривається та продукт через вирву в основі потрапляє в проміжний бункер, з якого далі надходить у пакувальний автомат. При цьому необхідна кількість продукту в бункері підтримується датчиком рівня, який встановлений на кронштейні вирви. З труби фасувально-пакувальної машини мелена кава надходить у пакет. Порція меленої кави регулюється шляхом зміни обсягу дозуючої склянки.

Технічні характеристики стаканчикового дозатора модель ТБ-080 описується у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики стаканчикового дозатора

Технічні характеристики	
Діапазон дозування, см <sup>3</sup>	50 ... 1700
Продуктивність, доз/хв	60 упаковок
Місткість завантажувального бункера, дм <sup>3</sup>	35
Привід дозатора	Електромеханічний
Електроживлення	220 В, 50 Гц
Потужність, Вт, не більше	180
Габаритні розміри, мм	500x1060x900(Н)
Маса, кг, не більше	80

Електродвигун приводу стаканчикового дозатора живиться від перетворювача частоти, за допомогою якого підбирається потрібна швидкість обертання дисків, час розгону та уповільнення.

Основні переваги:

- висока продуктивність;
- зменшена висота дозатора за рахунок верхнього розташування приводу;
- просте та зручне регулювання обсягу дози.

### 1.5 Системи керування дозаторами

Найбільша ефективність використання дозаторів досягається або регулятором, або його основою служить мікро-ЕОМ, які дозволяють компенсувати вплив зовнішніх обурюючих впливів (наприклад, параметрів технологічного режиму швидкості подачі та швидкості дозатора), вести дозування за заданою програмою, зручно подавати інформацію оператору та передавати результати дозування на наступний рівень управління.



Керуючий контролер розраховує поточну продуктивність СД і при необхідності формує коригуючий сигнал на регульований частотний привід (рис. 1.7). Система управління для меленої кави зазвичай передбачає три рівня: рівень обробки даних, шафа контролю та управління, безпосередньо включає дозатор як складову частину виконавчого механізму (ВМ). При аналізі з погляду дворівневої мети управління слідуює відзначити, що теоретичні моделі, пов'язані з розрахунком режимів руху меленої кави, не знайшли практичного застосування в програмному забезпеченні, що використовуються при роботі з контролерами для керування дозатором стаканчикowego типу.

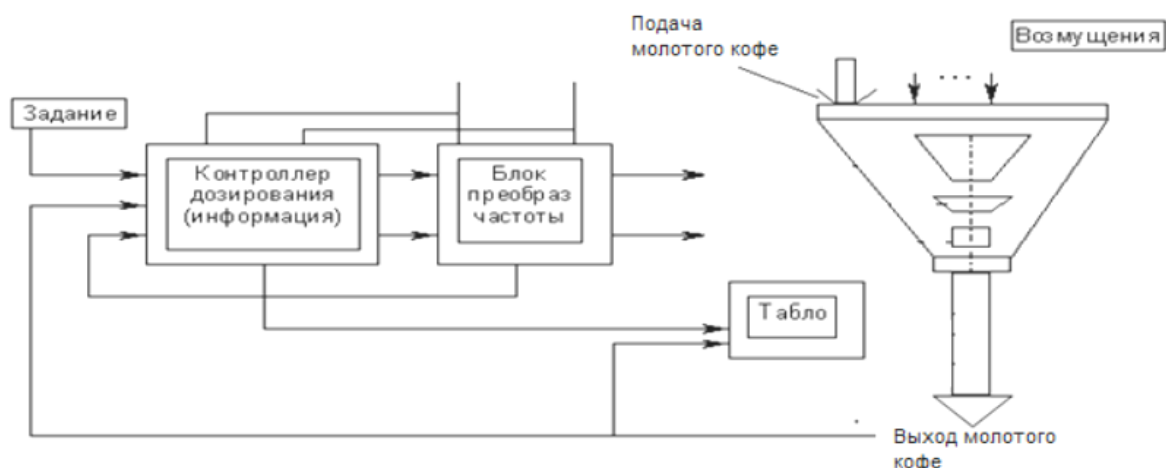


Рисунок 1.7 – Приклад структури системи керування дозатором

Сучасне програмне забезпечення верхнього рівня для роботи з приладами класу, що розглядаються, не дозволяє представляти процес руху середовища в бункері, за винятком, відображення на моніторі мнемосхемою з імітацією заповнення бункера об'ємного дозатора.

Можливість візуалізації заповнення бункера та появи в ньому застійних зон на ЕОМ верхнього рівня обмежується тим, що технічна реалізація каналу міжрівневого зв'язку в більшій кількості приладів реалізується на основі інтерфейсу RS485 та протоколів Modbus. Застосування польових шин ще не набуло широкого застосування, хоча є окремі приклади, пов'язані з використанням у дозаторах загальнопромислових контролерів фірми «Siemens».

Для упаковки продуктів меленої кави розглядаються пакувальні автомати, які мають унікальну самоналагоджувальну систему дозування, що забезпечує високу точність та швидкість роботи. У процесі упаковки порції меленої кави надаються в пакети з м'яких термозварювальних плівок на основі поліпропілену, поліетилену та їх комбінацій із фольгою, папером, тканиною тощо. Пакувальний апарат виробляє дозування продуктів за обсягом та їх повну упаковку в автоматичному режимі. Точність дозування становить 4-8%. Автомат може працювати в одному з вагових діапазонів: 0,02 – 0,2 літра; 0,2 – 0,5 літри.

Фасувально-пакувальний автомат у базовому виконанні на рис. 1.8 має: стаканчиковий дозатор СД; машина пакувальна автоматична з гусеничною протяжкою; рама опорна силова; термодатер – 6 знаків; фотодатчик; датчик довжини пакета – енкодер; вузол формоутворення під вказану покупцем ширину плівки. Наприклад, автомат фасувально-пакувальний У-03СТ.

Система управління фасувально-пакувального автомата зі стаканчиковим дозатором зібрана на базі промислового комп'ютера, кольоровий РК монітор з сенсорним управлінням надає зручний та інтуїтивно зрозумілий алгоритм керування апаратом. Автомат фасувально-пакувальний У-03СТ укомплектований завантажувальним комплексом (бункер-живильник БП-01 та завантажувальний транспортер Т-01).

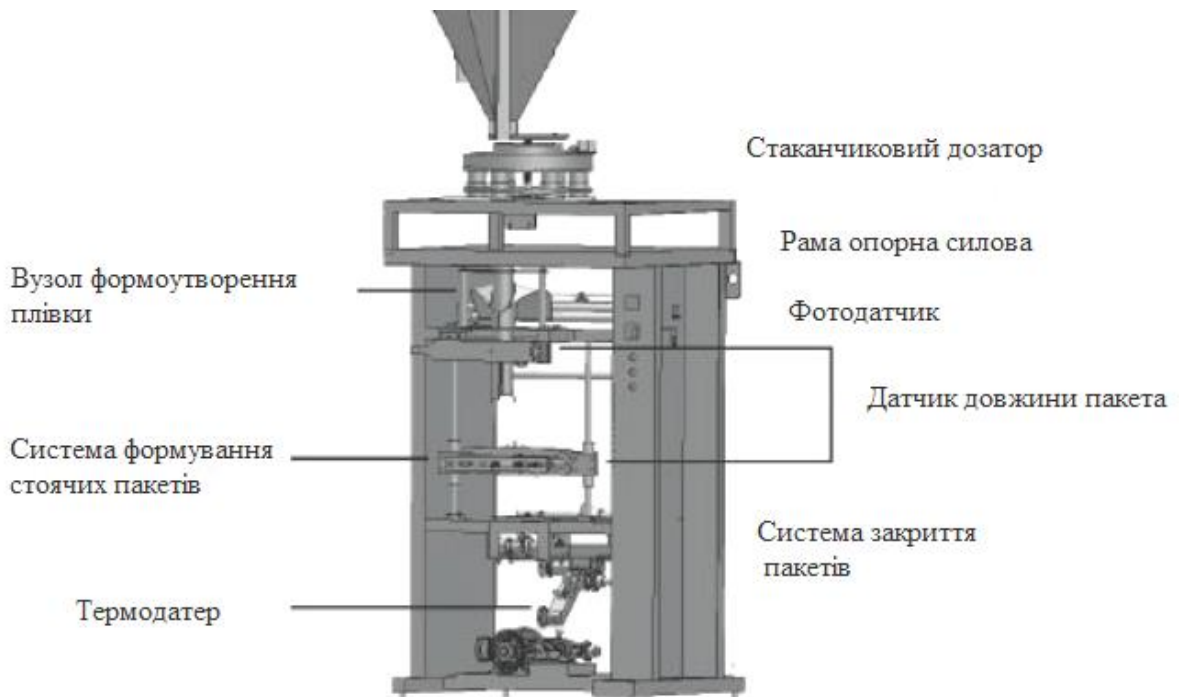


Рисунок 1.8 – Фасувально-пакувальний автомат зі стаканчиковим дозатором

Завантажувальний комплекс оснащений автоматичною системою контролю рівня меленої кави у приймальному бункері автомата.

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

## РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ КОНСТРУКЦІЇ БУНКЕРА ОБ'ЄМНОГО ДОЗАТОРА

### 2.1 Основні параметри бункера для дозування меленої кави

Аналіз отриманої функціонально-структурної схеми впливу факторів проміжних операцій при процесі ДМК (рис. 1.5) показав, що найбільш важливими показниками якості кави, готових зерен кави та розмеленої кави, які необхідно контролювати в процесі дозування є: проміжна координата (рівень), щільність, коефіцієнт закінчення, швидкість дозатора та швидкість приводу живильника.

Проміжною координатою меленої кави, готових зерен кави також вважається рівень сипучого матеріалу в бункері об'ємного дозатора. Від величини рівня МК у бункері об'ємного дозатора залежить стабільність витікання при процесі ДМК. Техніка визначення цього показника дозволяє визначити параметричні змінні величини рівня. На рис. 2.1, розглядаються бункер, який має форму конуса та параметричні змінні величини рівня і радіусу при витіканні МК.

$R_0, R_1, R_0'', R_0', r_1, r_2$  – змінні значення радіусів бункера при витіканні МК,  $h, h_0, h_2, h_1, h_f$  – величини рівня МК у бункері. Щоб знайти радіус площі проміжної координати для стабілізації процесу витікання МК використовуємо теорема трикутників і отримуємо відношення параметрів радіусів бункера та рівня МК:

$$\frac{R_0}{h_2 - h_1} = \frac{R_0'}{h - h_1}$$

$$\frac{R_0}{h_2 - h_1} = \frac{r_2}{h_f - h_1}$$

Отримуємо радіус площі проміжної координати:

$$R_0' = \frac{R_0(h - h_1)}{h_2 - h_1}$$

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>			
<b>Зм.</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>				
Розроб.		Ободенко			<b>Модернізація технологічного процесу об'ємного дозування у виробництві меленої кави</b>	<b>Літ.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Аркушіє</b>
Перевір.		Омельченко					20	52
Н. Контр.		Омельченко			<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>			
Затверд.		Цвіркун						

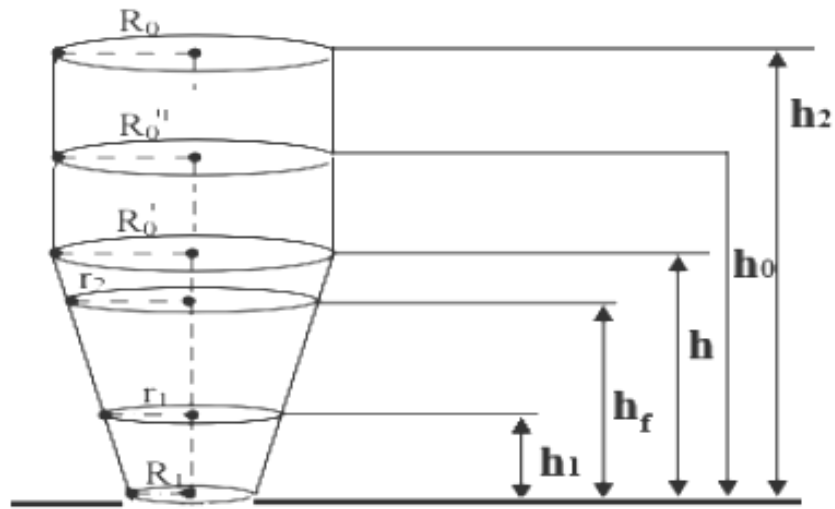


Рисунок 2.1 – Параметричні змінні процесу управління рівнем меленої кави

В даний час, зазвичай, у харчовій промисловості у процесі ДМК розглядають дві точки величини рівня МК: максимальну та мінімальну за допомогою датчиків рівня.

Проведений нами аналіз методу контролю рівня дозволяє вирішити, що необхідно контролювати рівень МК ще в одній точці крім максимальної та мінімальної, а точніше посередині бункера об'ємного дозатора, як проміжну координату, яка покращує якість дозування, що дає в результаті можливість контролювати і усувати своди при витіканні меленої кави з бункера під час дозування.

Таким чином, розглядаються 3 точки величини рівня в бункері при процесі ДМК: максимальне значення  $h_2$ , мінімальне значення  $h_1$  та значення проміжної координати  $h$ . Кожні з цих трьох точок величин рівня МК у бункері мають різні радіуси при заповненні та витіканні матеріалу рис. 2.1.

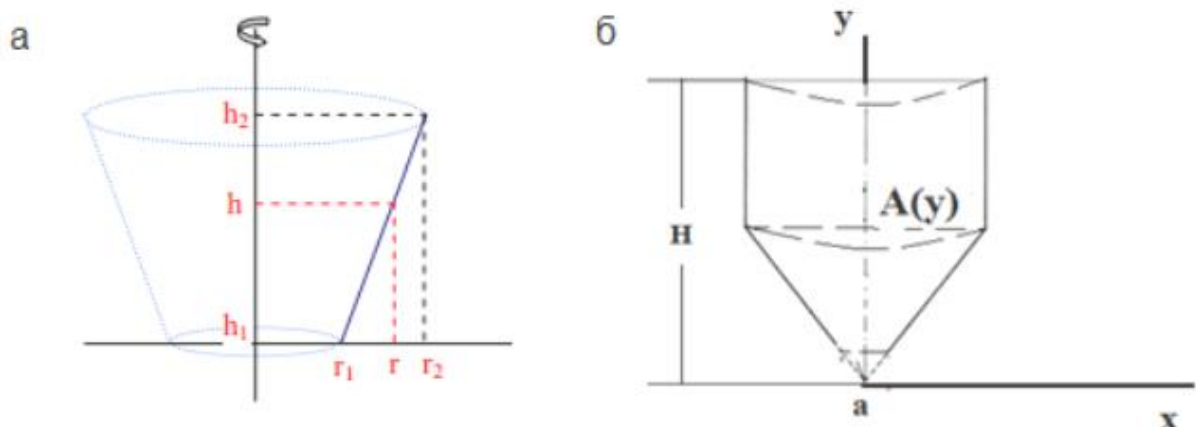


Рисунок 2.2 – Основні параметри бункера

а) зміна рівня  $\Delta h$  з різними радіусами  $\Delta r$ ; б) поперечна площа  $A$ , висота бункера  $H$ , площа отвору випуску МК, осі координати  $x$ ,  $y$

$r = f(h); h_2 = h_1 = r_2 = r_1 = \text{const}$ , рівень  $h$  змінюється, коли радіус бункера  $r$  зменшується при витіканні МК. Тоді обсяг МК у бункері буде:

$$V = \pi \int_{h_1}^{h_2} [f(h)]^2 dh$$

де  $V$  – обсяг МК у бункері;

$dh$  – зміна рівня МК;

$f(h)$  – функція від рівня.

При виборі датчика рівня МК необхідно враховувати фізико-механічні характеристики та властивості контрольованого матеріалу.

### *Щільність МК*

Насипна щільність МК враховує обсяг не тільки самих частинок, а й простір між ними, таким чином, насипна щільність менша звичайної щільності. При ущільненні меленої кави, її щільність стає більшою і перестає бути насипною.

Всі методи вимірювання щільності сипких матеріалів засновані на прямому або непрямому вимірі маси та об'єму речовини в пробі, тому вимірювання щільності меленої кави може здійснюватися двома шляхами:

1) непрямыми методами, наприклад, по загасанню потоку радіоактивних, рентгенівських або ультразвукових променів, що проходять через контрольовану речовину;

2) абсолютним методом, коли маса та обсяг вимірюються прямими методами окремо і по їх відношенню визначають щільність.

Відомі методи дозволяють отримати надійний результат шляхом роздільного вимірювання об'єму та маси проби меленої кави з наступним розподілом отриманих даних.

Коефіцієнт витікання при швидкості витікання меленої кави та для моделювання процесу дозування є коефіцієнтом, що залежить від співвідношення діаметра отвору випуску бункера та частинок меленої кави.

Швидкість приводу живильника та швидкість об'ємного дозатора. Жорсткі вимоги до якісних показників процесу руху багатьох технологічних об'єктів визначають необхідність застосування адаптивного керування виконавчими електромеханічними системами.

У технологічному процесі виробництва МК використовуються різні приводи в якості виконавчих механізмів. Об'ємні дозатори складаються з живильника, приладів та пристроїв, які визначають кількість пропускаємої і пропущеної через живильник МК, а також приладів регулювання.

Забезпечення заданих умов витікання меленої кави реалізується за допомогою керування параметрами електроприводу системи ДМК. Специфічність електромеханічних параметрів електроприводу процесу об'ємного дозування виявляється в тому, що ці параметри залежать від фізико-

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

механічних характеристик МК, що дозується. Нестационарний характер обурень технологічних факторів процесу виробництва меленої кави ускладнює управління процесом дозування загалом.

Складнощі налаштування призводять до функціональних обмежень процесу об'ємного дозування, які зумовлені зменшенням можливостей стабільної роботи дозатора у необхідному діапазоні параметрів дозування меленої кави.

Для контролю роботи приладів, використовується блок управління як модуль, у якому задаються параметри завдання. Параметрами завдання в даному випадку є продуктивність об'ємного дозатора, швидкість приводу живильника для подачі меленої кави. Регулювання продуктивності здійснюється шляхом зміни швидкості подачі, обсягу дозатора. Для подачі меленої кави до бункера об'ємного дозатора обрано стрічковий конвеєр забезпечений приводом (двигун М1) з постійною швидкістю. Двигун М2 для об'ємного приводу дозатора. Залежності від функціонування стрічкового конвеєра, потребує переналагоджування швидкості обертання приводу живильника для режимів стартера, роботи та зупинки системи управління. Для швидкості обертання приводу подачі меленої кави в бункер, визначається перехідна характеристика вхідної зони бункера дозатора при обуренні з боку подачі меленої кави та визначається значення завдання, швидкості обертання приводу завантажувального конвеєра.

При заданій швидкості обертання об'ємного дозатора (визначається заданою продуктивністю) оцінюються значення ступеня згасання та періоду коливань рівня при збуренні з боку швидкості витікання меленої кави.

## 2.2 Особливості процесу руху кави в бункері дозатора

В результаті аналізу, було відібрано найбільш інформативні параметри стану технологічного процесу виробництва МК на стадії дозування з використанням стаканчикового дозатора СД. Було спроектовано параметричну модель процесу руху МК, рис. 2.3.

Процес руху меленої кави залежить від фракційного складу, форми частинок, їх взаємодії щодо обмежуючої поверхні бункера об'ємного дозатора. Взаємодія частинок меленої кави, в основному, визначається здатністю їх переміщення та стійкістю руху. Тому необхідно розглянути механізм їхньої взаємодії.

При русі МК може не витікати з отворів об'ємного бункера дозатора СД, у тому випадку, коли над отвором утворюється скупчення з частинок меленої кави. Скупчення меленої кави пояснюється виникненням у зоні розвантажувального отвору такого напруженого стану, при якому горизонтальні напруження в шарі частинок МК досягають найвищого значення. Горизонтальні тиски ущільнюють МК, створюють відповідну вертикальну складову розпору скупчення, яка стає достатньою для сприйняття маси меленої кави над отвором бункера СД.

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

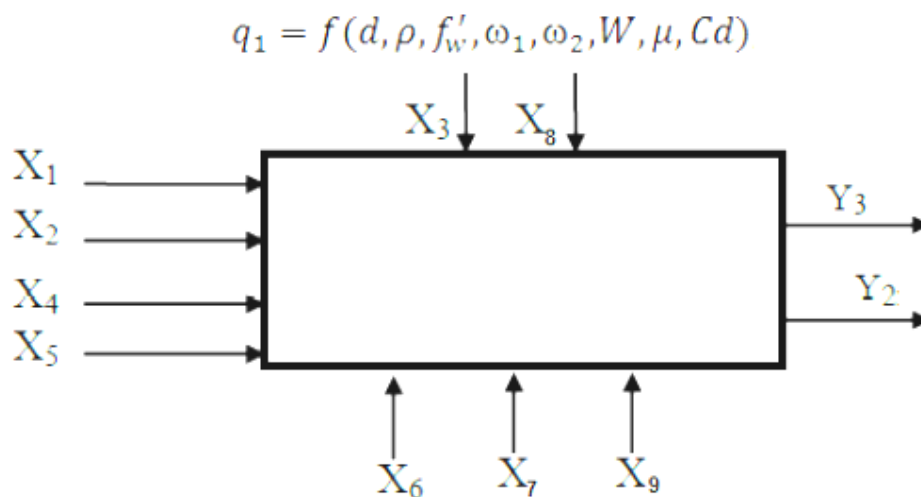


Рисунок 2.3 – Параметрична модель процесу руху МК

- де  $\mu$  – гранулометричний склад (розмір частинок) (0.02-0.04мк) ( $X_1$ );  
 $q_1$  – витрата подачі МК ( $\text{м}^3/\text{с}$ ) ( $X_2$ );  
 $Cd$  – коефіцієнт витікання (0.1-0.6) ( $X_3$ );  
 $W$  – вологість МК (4-6%) ( $X_4$ );  
 $d$  – розмір випускного отвору бункера (0.08-0.11м) ( $X_5$ );  
 $\omega_1$  – швидкість подачі меленої кави в бункер (рад/сек) ( $X_6$ );  
 $v_{ic}$  – швидкість витікання МК (0.03 – 0.4 м/с) ( $X_7$ );  
 $\rho$  – щільність МК (300 – 600  $\text{кг}/\text{м}^3$ ) ( $X_8$ );  
 $f_w'$  – коефіцієнт тертя (0.5 – 0.7) ( $X_9$ );  
 $q_2$  – витрата меленої кави на виході бункера, ( $\text{м}^3$ ) ( $Y_2$ );  
 $h$  – рівень меленої кави в бункері (0.2 – 1м) ( $Y_3$ ).

Розмір діаметра випускного отвору бункера  $d$ , вологість  $W$  та щільність МК  $\rho$ , а також коефіцієнт витікання  $Cd$  та коефіцієнт тертя  $f_w'$  є основними властивостями при витіканні меленої кави з бункера стаканчикowego дозатора у процесі дозування.

Для меленої кави існує мінімальний діаметр отвору ( $d_{\text{мін}}$ ), при якому над ним утворюється стійке скупчення частинок меленої кави, що перешкоджає їх проходженню з отвору рис. 2.4. Також висока вологість меленої кави призводить до уповільнення проходження кави з бункеру дозатора.

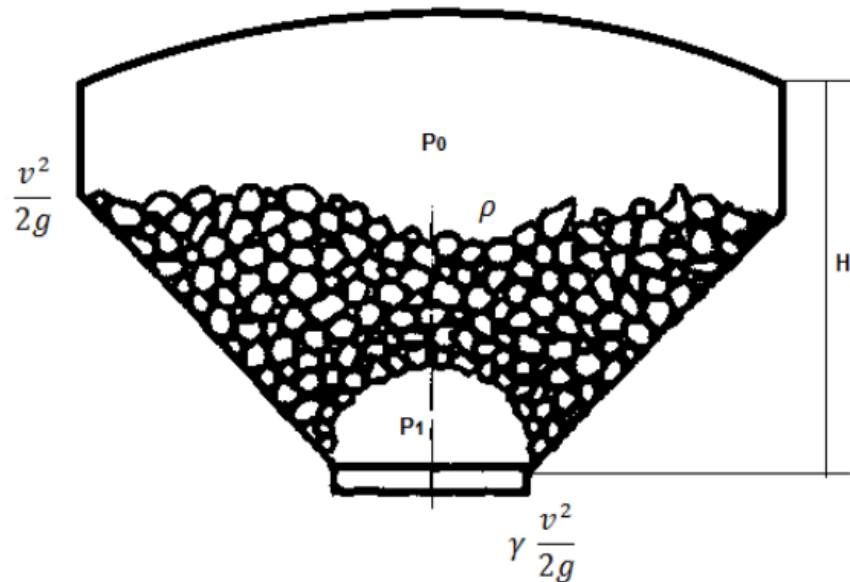


Рисунок 2.4 – Скупчення меленої кави над отвором бункера

Щоб визначити коефіцієнт витікання, розглядаємо гідравлічний підхід до витікання МК, що описується через рівняння механіки, де теоретична швидкість МК, визначається за теоремою Бернуллі.

$$H + \frac{P_0}{\rho} = \frac{P_1}{\rho} + \frac{v^2}{2g} + \gamma \frac{v^2}{2g}$$

де  $H$  – висота бункера;

$\rho$  – щільність меленої кави;

$\frac{P_0}{\rho}, \frac{P_1}{\rho}$  – навантаження тиском;

$\frac{v^2}{2g}$  – навантаження швидкості;

$\gamma \frac{v^2}{2g}$  – навантаження коефіцієнта опору отвору витікання;

$\gamma$  – коефіцієнт опору.

Для вирішення задачі визначається початкова умова: швидкість у точці  $P_0=0$ , абсолютний тиск  $P$ , буде рівним:

$$P = H + \frac{P_0 - P_1}{\rho}$$



Оскільки розглядаємо атмосферичний тиск у точці  $P_1$ , то  $P_1 = P_0 = P_{\text{атм}}$ .  
тоді  $P = H$ . Отримуємо:

$$P = \frac{v^2}{2g} (1 + \gamma)$$

Визначаємо швидкість руху меленої кави:

$$v = \frac{1}{\sqrt{1+\gamma}} \sqrt{2gH} = C \sqrt{2gH}$$

де  $C$  – коефіцієнт швидкості.

У меленій каві при витіканні з бункера, як сипкого матеріалу, має коефіцієнт витікання. Цей коефіцієнт витікання визначається за такими формулами:

$$Cd = \varepsilon C$$

де  $\varepsilon$  – коефіцієнт, що залежить від розміру частки меленої кави ( $\mu$ ) та розміру отвору витікання з бункера ( $d$ ).

$$\varepsilon = \left( \frac{d_{\text{МК}}}{d} \right)^2$$

де  $d_{\text{МК}}$  – діаметр частинок меленої кави;  
 $d$  – діаметр отвору витікання з бункера.

Тоді гідравлічна швидкість витікання меленої кави з бункера буде:

$$v_{\text{ГД}} = Cd \sqrt{2gH}$$

Вільна поверхня кави в бункері не має чітко вираженої вирви, всі частки даної поверхні меленої кави опускаються одночасно і швидкість деяких частинок має стохастичний характер. При такому вигляді витікання відсутні застійні зони, що дозволяє вирівнювати потік МК, який надходить у бункер.

При нормальному вигляді витікання меленої кави вздовж стінок бункера дозатора утворюється застійна зона. У цій зоні частинки нерухомі доти, доки вирва утворена на поверхні меленої кави, не досягне самого нижнього поперечного перерізу бункера.

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

МК відрізняється від рідин наявністю внутрішнього тертя, а також є сили зчеплення. При процесі зберігання МК у бункері дозатора, здійснюються напруження на стінці бункера.

Для визначення оптимальних параметрів бункерів для витікання кави, розглядається теорія Janssen і Walker. Аналітичний підхід до визначення тиску, який діє в бункері СД при процесі зберігання МК приймається згідно з результатами дослідження тензорів напруг сипучих матеріалів заснований Janssen в 1895. Він за допомогою циліндра знаходив різні тензори напруги, які діють на сипкий матеріал при його знаходженні у бункері.

$$\sigma_{\text{нап}} = \frac{\sigma_y}{\sigma_x}; 0 < \sigma < 1; \sigma_c = \frac{f_v}{f_h};$$

де,  $\sigma_{\text{нап}}$  – відношення між тангенціальною (дотичною) та нормальною напругами;

$\sigma_y$  – тензор в осі Y (тангенціальна або дотична напруга);

$\sigma_x$  – тензор в осі X (нормальна напруга);  $\sigma_c$  – напруга в умовах критичного стану меленої кави;

$f_h$  – тензор в осі X частинок меленої кави;

$f_v$  – тензор в осі Y частинок меленої кави.

У 1970 році Hancock аналізував теорію Janssen і представив метод (Method of differential slices), який став основою конструкції бункерів для сипучих матеріалів. У 1966 році Walker виправив теорію Janssen з приводу основних тензорів напруги через теорію Mohr, але вона є необхідною лише коли є помилка. Згідно з теоріями Jenike відомою як “wald yield locus” (WYL), можна визначити адгезію частинок меленої кави в бункері та коефіцієнт тертя. Для рівноваги меленої кави, дотична напруга на будь-якому майданчику, має бути меншою або рівною опору зсуву МК.

Напруги, які діють в процесі витікання меленої кави з бункера дозатора описуються:

$$\sigma_y = c_w + \sigma_x \tan \beta_w = c_w \sigma_x f'_w$$

де  $\sigma_y$  – дотична напруга (напруга до стінки бункера);

$c_w$  – коефіцієнт МК до стінки бункера;

$\sigma_x$  – нормальна напруга;

$\beta_w$  – кут внутрішнього тертя на стінці бункера;

$f'_w$  – коефіцієнт внутрішнього тертя.

Тиск в циліндричній частині бункера з меленою кавою рис. 2.56 буде

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

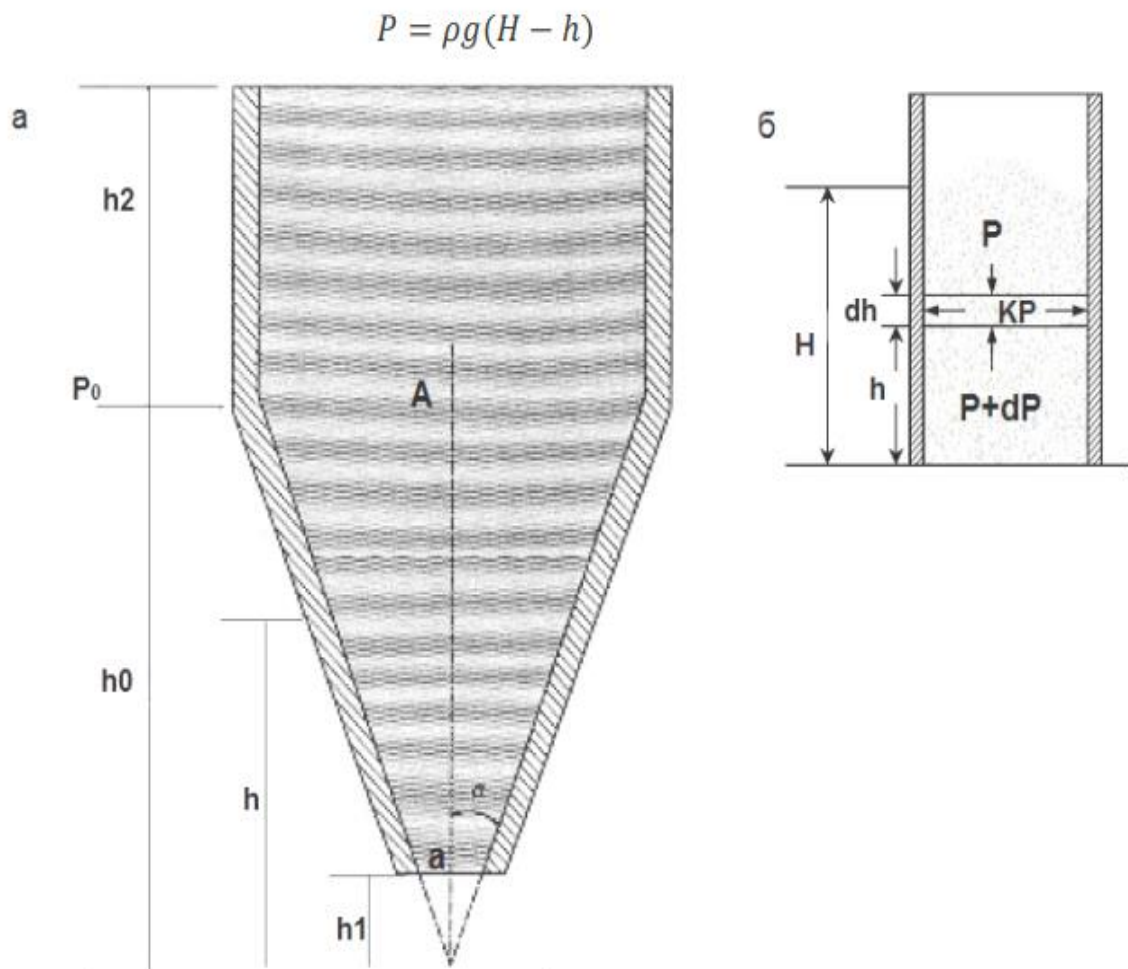


Рисунок 2.5 – Параметри, що визначають тиск у бункері під час зберігання МК  
 а) у конічній частині; б) в циліндричній частині

Тиск постійний в певній секції циліндра бункера з певною висотою рівня МК. Тиск на основі частини циліндра бункера дозатора позначається  $P_0$ , рис. 2.5. а;

$h_2, h_1, h_0, h$  – величини рівня МК в бункері.

Тиск у циліндричній частині бункера визначається через рівняння коефіцієнтів та параметрів діючих на диференціальний елемент частинок МК при зберіганні в бункері СД.

$$A \rho g h dh + (P + dP)A - PA - (C_w + f_w' KP)C dh = 0,$$

$$A \rho g h dh + (P + dP)A = (C_w + f_w' KP)C dh + PA$$

де  $A \rho g h dh$  – коефіцієнти, що визначають вагу частинок меленої кави;

$(P + dP)A$  – тиск напрямку вниз;

$(C_w + f_w' KP)C dh$  – коефіцієнти, що визначають тертя, яке тримають частки МК;

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

$P_A$  – тиск напрямку вниз;  
 $\rho$  – щільність меленої кави;  
 $A$  – площа циліндра бункера СД;  
 $C$  – коефіцієнт периметра (мокрої поверхні від МК) у конусі бункера;  
 $K$  – коефіцієнт рухливості (плинності) МК;  
 $C_w$  – коефіцієнт адгезій меленої кави на стінку;  
 $f_w'$  – коефіцієнт внутрішнього тертя меленої кави по стінках бункера.

Максимальний тиск, який можна отримати в бункері, відбувається за умови  $H \rightarrow \infty$ , тоді:

$$P_{0,\text{макс}} = \frac{\rho_b g D}{4 f_w' K}$$

В результаті вага меленої кави зменшується через тертя при ковзанні на стінки бункера СД. Максимальний тиск, він пропорційний діаметру  $D$ , а обернено пропорційний коефіцієнту внутрішнього тертя  $f_w'$ . Коефіцієнт  $K$  визначається за формулою по теорії Walker:

$$K = \frac{1 - \sin \delta}{1 + \sin \delta}$$

де  $\delta$  – ефективний кут тертя.

Визначаємо тиск, що діє в кінчній частині бункера дозатора. Тиск для кінчної частини бункера описується

$$\left. \begin{aligned} P &= \left(\frac{h}{h_0}\right)^p P_0 + \frac{h\rho g}{p-1} \left[1 - \left(\frac{h}{h_0}\right)^{p-1}\right]; \quad p \neq 1 \\ P &= \left(\frac{h}{h_0}\right) P_0 + h\rho g \ln \left[\frac{h}{h_0}\right]; \quad p = 1 \end{aligned} \right\}$$

де  $h_0$  – це висота діючого тиску  $P_0$  (тиск у конусі бункера);  
 $p$  – коефіцієнт форми бункера (конус).

Коефіцієнт форми бункера визначається:

$$p = \frac{2B'D^*}{\tan \phi}$$

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

де  $\emptyset$  – половина кута стінки конуса бункера;  
 $D^*$  – коефіцієнт функції розподілу ( $D^* = 1$ ).

Таким чином, отримані рівняння досить точно дозволяють визначити розрахункові коефіцієнти тиску, що діють у конічній та циліндричній частині бункера дозатора.

Коефіцієнти, які залежать від каналу витрати бункера дозатора і сипкості меленої кави.

$$\frac{v^2}{2gH(\tan\beta_w)} - pd + \frac{\tau_0}{\rho} = \partial$$

де  $\frac{v^2}{2gH(\tan\beta_w)} - pd$  – коефіцієнти залежності від каналу витрати бункера;

$\partial$  – прискорення залежності від підвищення швидкості витікання МК;

$\tau_0/\rho$  – коефіцієнти залежності від сипучості МК;

$H$  – висота бункера.

При збільшенні швидкості витікання меленої кави,  $\partial \rightarrow 0$ . Швидкість руху буде дорівнювати:

$$v_n = Cd \sqrt{2gh(\tan\beta_w) \left[ pd - \frac{\tau_0}{\rho} \right]}, [m/c]$$

де  $v_i$  – швидкість витікання МК;

$Cd$  – коефіцієнт витікання (для МК = 0.3);

$g$  – прискорення сили тяжіння;

$\tau_0$  – опір зсуву;

$\rho$  – щільність МК;

$p$  – коефіцієнт залежності від форми бункера ( $p = 1$  для конічної частини бункера);

$d$  – діаметр отвору каналу;

$\beta_w$  – кут нахилу бункера дозатора;

$h$  – рівень МК у бункері.

Графіки залежності швидкості руху МК від конструктивних параметрів бункера дозатора, рис. 2.6. Адекватні параметри для витікання МК із бункера дозатора становлять (бункер із розміром отвору  $d = 0.10$  м та кут нахилу  $\beta_w = 31^\circ$  на рис.2.6).

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

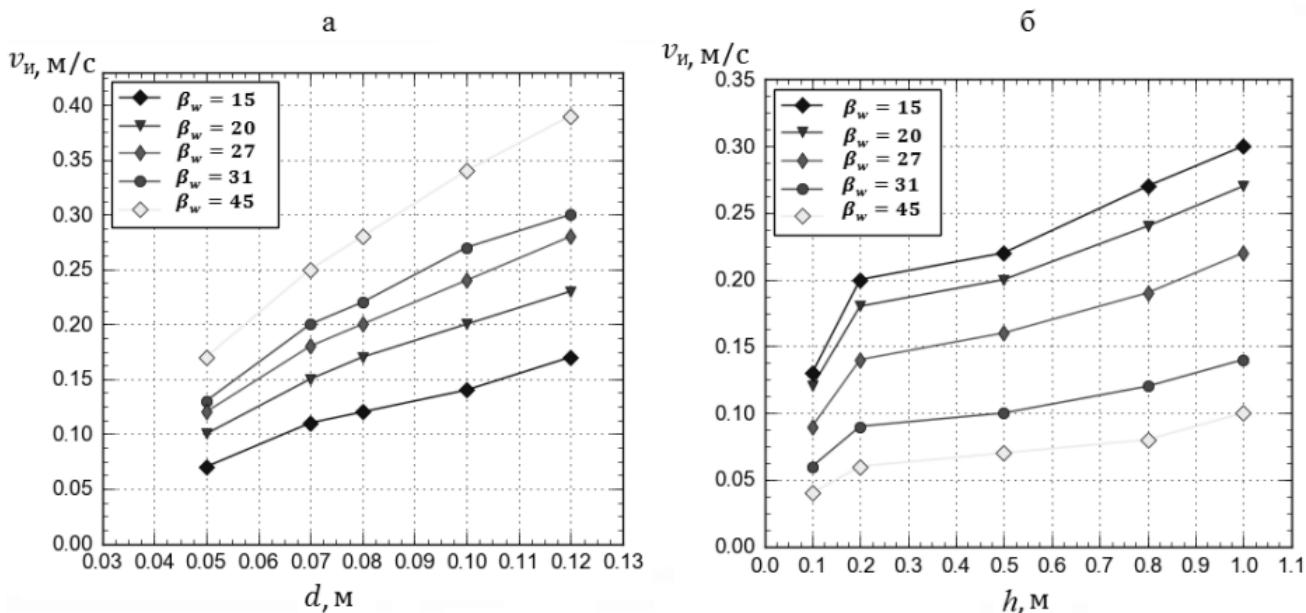


Рисунок 2.6 – Характерні залежності швидкості витікання МК, враховуючи кут нахилу бункера  $\beta_w$

а) від діаметра отвору бункера ЦД; б) від рівня МК у бункері дозатора

Визначення швидкості витікання, час витікання та кругового поля напруг у сипучому середовищі МК дозволяє виявити параметри бункера, які забезпечують стабільність витікання меленої кави без сводоутворення та правильно налаштувати об'ємний дозатор СД для ефективності оцінки якості продукту.

### 2.3 Параметри конструкції бункера дозатора

Щоб забезпечити стійкий перебіг меленої кави з бункера дозатора, необхідно правильно визначити його геометричні розміри та параметри конструкції: форму, кут нахилу стінок  $\beta_w$ , мінімально допустимий розмір випускного отвору бункера  $d_{\text{мін}}$ .

Одним із показників, що характеризує конструкцію бункера СД (круглий, квадратний, щілинний, складний тощо), призначеного для об'ємного дозування неправильних форм частинок МК є критичний (мінімально допустимий) розмір випускного отвору  $d_{\text{мін}}$  бункера СД.

На рис. 2.7а нормальна напруга  $\sigma_x$  більша ніж критичний тензор напруги МК  $\sigma_c$  тому при витіканні МК з такої конструкції бункера, не утворюється скупчення. Але якщо діаметр отвору витікання бункера зменшити за умови того, що напруга вільного витікання в умовах критичного стану меленої кави  $\sigma_c$  буде більша ніж нормальна напруга з постійним кутом нахилу бункера дозатора то МК утворює скупчення. Точка перетину між критичною напругою  $\sigma_c$  та нормальною напругою  $\sigma_x$  є мінімальним діаметром отвору витікання бункера для меленої кави.

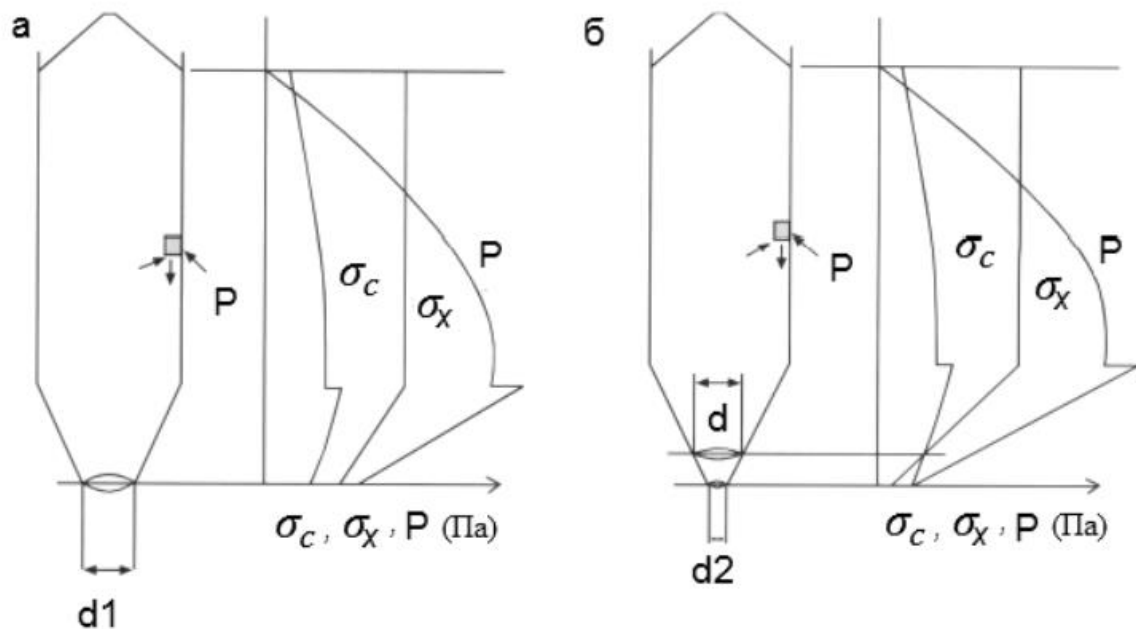


Рисунок 2.7 – Параметри бункера дозатора  
 а) при появі сводоутворення, б) без сводоутворення

Критичний розмір отвору для меленої кави визначається за формулою:

$$d_{\text{мин}} = p \frac{\sigma_c}{\rho g}$$

де,  $d_{\text{мин}}$  – критичний розмір випускного отвору бункера дозатора для меленої кави, м;

$p$  – коефіцієнт залежності від форми бункера дозатора;

$\sigma_c$  – напруга вільного закінчення в умовах критичного стану меленої кави, Па;

$\rho$  – щільність меленої кави,  $\text{кг/м}^3$ ;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с.

Результати аналізу параметрів напруги, сил рівноваги, тиску та швидкості витікання МК у бункері дозатора дозволяє визначити адекватні параметри конструкції бункера, щоб витрата МК була масовою і без скупчення.

Практика показала, що мінімальний кут нахилу стінок бункера  $\beta_w(\text{хв})$  становить  $27^\circ$  для середнього помелу МК з мінімальним діаметром  $d_{\text{мин}} = 4 * 10^2, \text{мм}^2$  та час витікання  $t = 20\text{с}$ , а для тонкого помелу  $50^\circ$  з мінімальним діаметром  $d_{\text{мин}} = 2 * 10^2, \text{мм}^2$  та час витікання  $t = 40\text{с}$ .

## 2.4 Моделювання руху частинок МК в бункері об'ємного дозатора

У кожній операції технологічного процесу виробництва МК існує будь-який критерій якості. Це може бути якість продукції, максимальна продуктивність або один з багатьох інших параметрів оцінки. Завданням САР є підтримка змінних параметрів на такому рівні, щоб вихідний параметр кожного процесу знаходився всередині області значень, що диктуються критерієм якості регулювання.

У процесі дозування виробництва МК пред'являються такі вимоги як: точність у встановлених режимах, вимоги до стійкості, вимоги до якості перехідних процесів. Точність дозування залежить від багатьох факторів: нерівномірності подачі меленої кави до механізму дозування; здригання механізму дозування та фундаментів; варіативності меленої кави (питома вага, розмір, неоднорідність, насипна щільність, гігроскопічність, плинність), здатність до сводоутворення.

Критерій стійкості за видом перехідної характеристики (перехідного процесу), є стійким, якщо перехідний процес згасає. Однак система може бути стійкою, але її перехідні процеси, залежно від зміни параметрів, сильно відрізнятимуться. Ці процеси суттєво відрізняються на вигляд, мають різну частоту коливань, час завершення, амплітуду відхилення заданої величини.

З точки зору управління процесом дозування меленої кави, якості складових критерію управління розглядається продуктивність об'ємного дозатора. До основних характеристик дозатора відносяться: тип дозованої меленої кави, кількість мірних склянок, діапазон варіювання обсягу мірної склянки, продуктивність, споживана потужність, маса та габарити, вид пакувального матеріалу (тари).

У роботі розглядається процес руху частинок МК в бункері об'ємного дозатора. З цією метою було здійснено моделювання для розрахунку руху великої кількості частинок МК, що дозволяє оптимізувати та обробити рухи всіх частинок окремо як суцільне середовище у системах безперервного дозування.

Важливою при використанні аналізованих методів є можливість візуалізації моделюваних процесів з використанням систем комп'ютерного зору або з використанням 3D-віртуальної реальності. Такі процеси як процес витікання та дозування МК, щоб вирішити проблеми створення автоматизованої системи контролю у потоці основних показників якості меленої кави, які адекватно відображають, що відбувається в дозаторах, процеси ДМК.

Моделювання реальної геометричної форми частинок меленої кави ускладнює завдання моделювання та опису правильних диференціальних рівнянь процесу витікання меленої кави з бункера (стаканчиковий дозатор). Щоб моделювати частинки МК за реальною геометричною формою, було використано 3 поверхні фігури (рис. 2.8) для визначення кута зовнішнього тертя МК. На рис. 2.8 показуються результати моделювання форми частинок, діаметри частинок, висота, ширина об'ємної маси частинок та гірка МК для визначення кута зовнішнього тертя.

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31



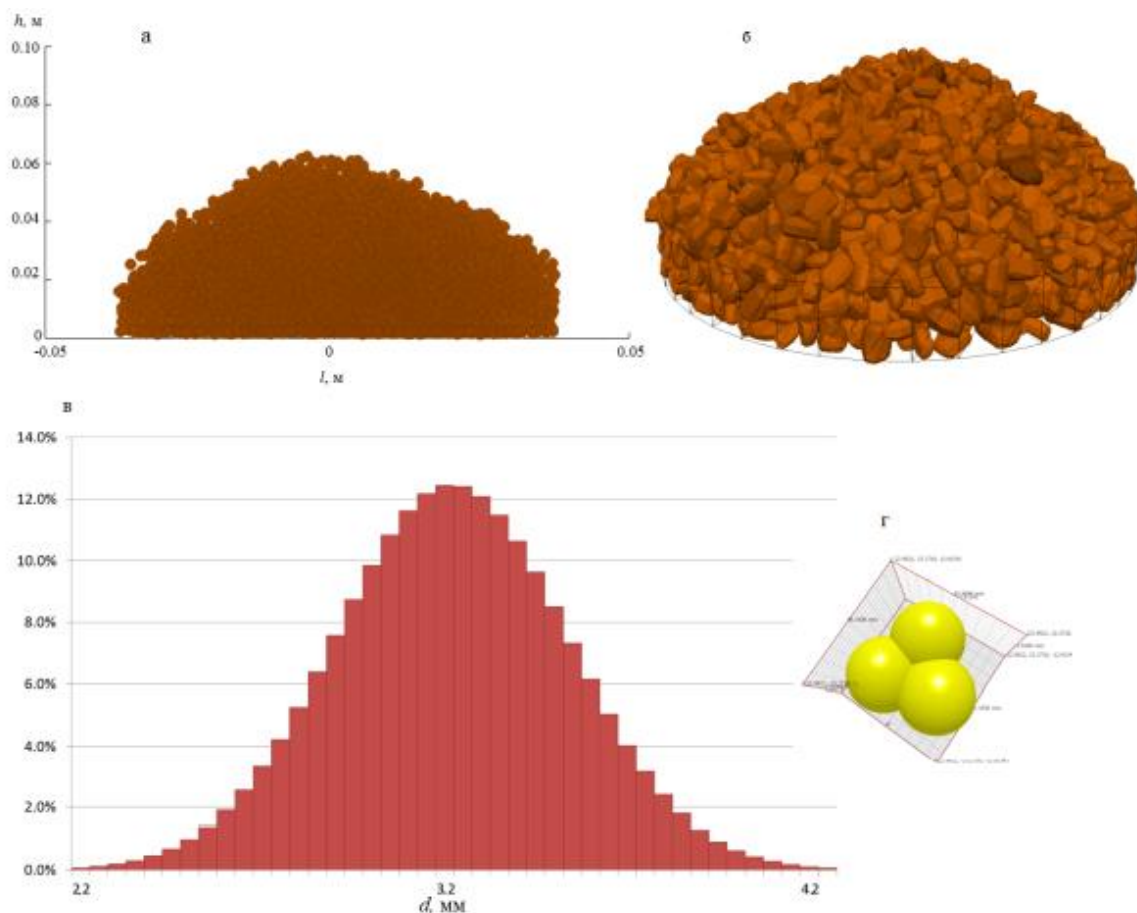


Рисунок 2.8 – Проектування частинок МК

а) висота та ширина об’ємної маси матеріалу; б) гірка матеріалу на неправильній формі основи; в) положення центру розподілу частинок; г) форма частинок

Проведений чисельний аналіз показав, що на кут зовнішнього тертя МК, розрахований методом МДЕ, суттєво впливають значення коефіцієнтів тертя ковзання  $f_s$ , що калібруються від 0.3-0.8. Результати різних значень  $f_s$  показують, що частинки мають кут зовнішнього тертя від ( $27^\circ - 45^\circ$ ). У нашому прикладі МК має неправильну форму, щоб збільшити кількість аналізованих дискретних частинок меленої кави прийняли форму частинок як кульки у процесі моделювання, але враховувалися і важливі фізико-механічні властивості МК та бункера для визначення швидкості при процесі витікання та можливості появи процесу сводоутворення.

На рис. 2.9 а, показуються лінії напрямку витрати меленої кави при витіканні меленої кави з бункера з кутом нахилу  $\beta_w = 15^\circ$  та діаметром витікання ( $d = 30$  мм). Концентрована витрата меленої кави (рис. 2.9 б) з’являється регулярно, коли коефіцієнт внутрішнього тертя між частинками МК і стінок бункера більше ніж коефіцієнт між частинками меленої кави.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



Рисунок 2.9 – Процес утворення порожнечі біля вихідного отвору при руху з бункера дрібних частинок МК (кут нахилу бункера  $15^\circ$ , діаметр отвору витікання = 30 мм)

На рис. 2.10 показується процес сводоутворення дрібних частинок МК при куті нахилу бункера  $\beta_w = 35^\circ$  і діаметра  $d = 35$  мм. В бункері, у яких кут нахилу менше коефіцієнта тертя меленої кави ( $< 27^\circ$ ), швидше з'являються своди в процесі витікання.

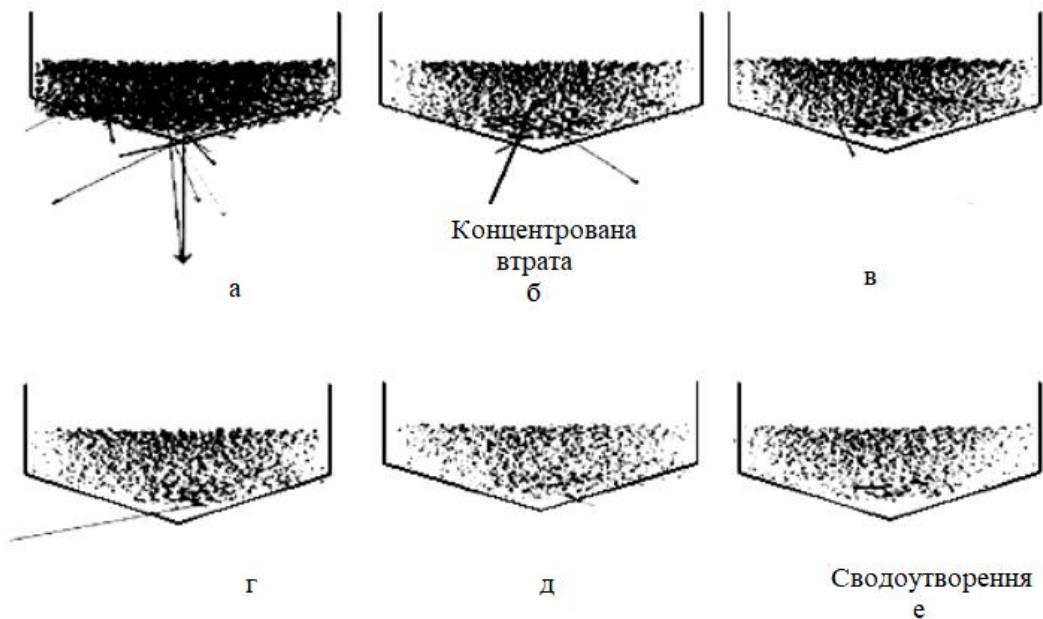


Рисунок 2.10 – Процес утворення порожнечі біля вихідного отвору при витіканні дрібних частинок з бункера (кут нахилу бункера  $35^\circ$  та діаметр отвору 35 мм)

Таким чином, підтверджується, що для конструкції об'ємного бункера дозатора у процесі ДМК рекомендується кут нахилу бункера не менше  $27$  градусів з діаметром випускного отвору не менше  $0.10$  м.

На рис. 2.11 а, б, можна спостерігати різні процеси утворення порожнечі, які відбуваються при витіканні МК. Дрібніші частинки МК переважають у центрі бункера, а більші і мокрі частки скочуються і накопичуються біля стінок бункера.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Таким чином, дрібніші частинки МК розвантажуються в першу чергу, а більші в останню чергу. При підвищеній вологості меленої кави більше 6% (рис. 2.11 в), швидкість витікання зменшується (ближче до нуля) і це призводить до помилок у процесі дозування при тривалому зберіганні меленої кави в бункері СД. Швидкість витікання менше (0.1м/с).

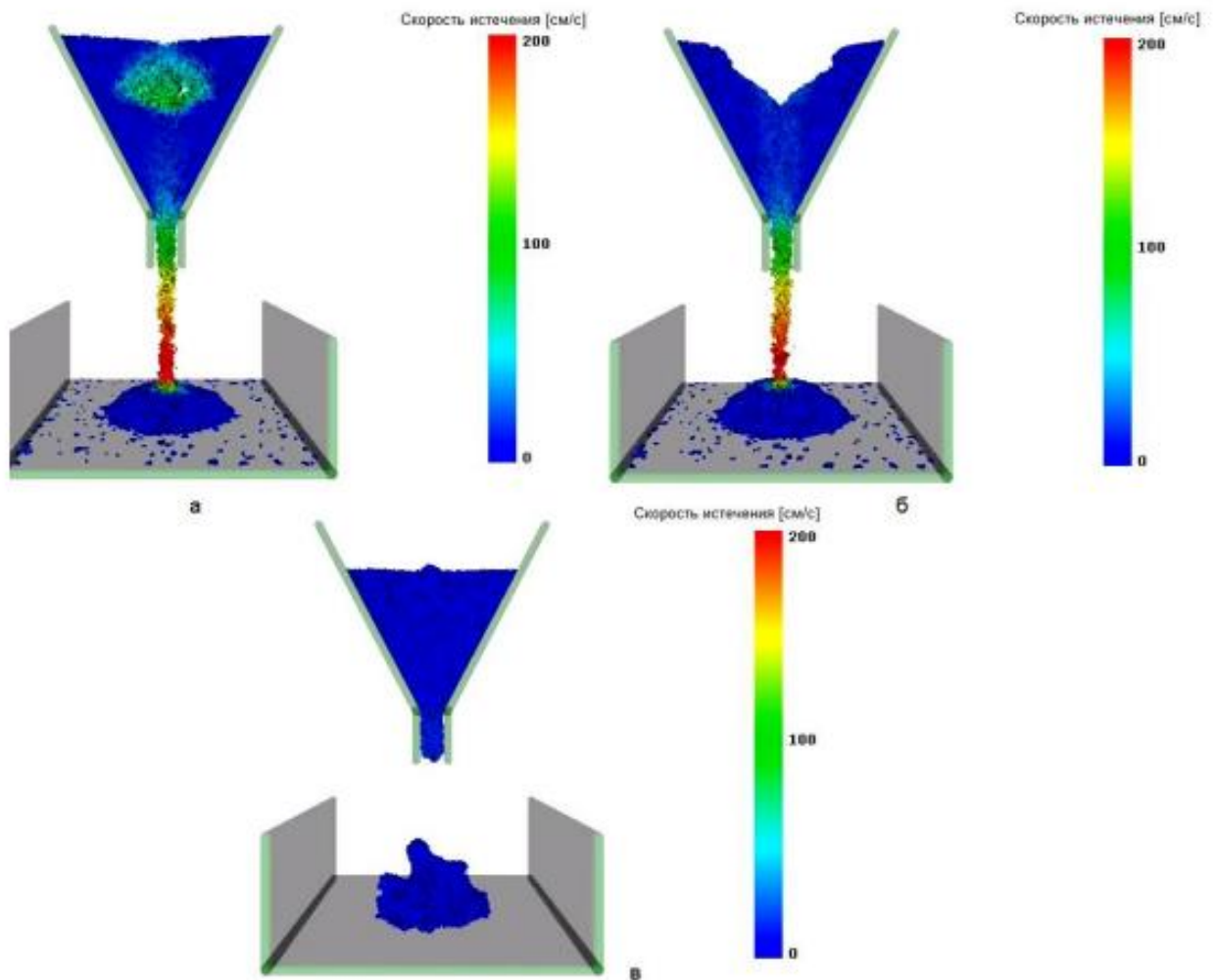


Рисунок 2.11 – Швидкість руху дрібних частинок МК а), б) при тривалому зберіганні частинок меленої кави, в) при підвищеній вологості

При нормальному стані виду меленої кави та правильній конструкції бункера СД для його витікання, процес здійснюється без сводів. Результат моделювання з кутом нахилу бункера  $\beta_w = 31^\circ$  зображено на рис. 2.12, який показує, що не здійснюється процес сводоутворення.

Швидкість МК з параметрами конструкція бункера ( $d = 0.10$  м,  $\beta_w = 31^\circ$ ) калібрується між (0.1 – 0.75 м/с).

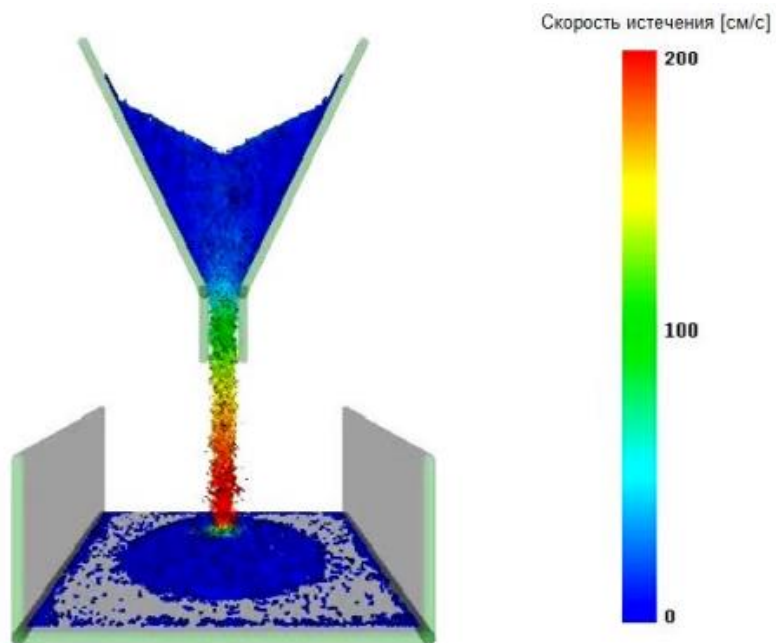


Рисунок 2.12 – Швидкість руху частинок МК при куті нахилу бункера  $\beta_w = 31^\circ$

На основі вищезазначеного, можна зробити висновок, що на швидкість руху продукту впливає у першу чергу діаметр вихідного отвору бункера та коефіцієнт зчеплення частинок МК. За підтримкою рівня МК, можна контролювати процес сводоутворення. Величина швидкості витікання МК є однією з основних параметрів для правильного налаштування режиму об'ємного дозатора та контролю застійних зон у бункері дозатора.

У процесі руху частинок МК щільність залишається постійною. В початку руху меленої кави з отвору бункера, частина опори всередині бункера губиться, наслідком чого є зміна тиску всередині меленої кави. Насипна щільність внаслідок розпушування зменшується, наближаючись до мінімального значення. У процесі витікання мелена кави, може або розширятися, або стискатися залежно від початкової густини упаковки відповідно до тиску, що діє на окремі її частинки. Якщо в процесі руху насипна щільність меленої кави залишається постійною, це рівносильно стисливості. При нормальному вигляді витіканні меленої кави вздовж стінок бункера утворюється застійна зона.

Залежність коефіцієнта внутрішнього тертя від насипної густини МК – рис.2.13, рис. 2.14. Насипна щільність МК практично не впливає на чисельні значення коефіцієнтів зовнішнього тертя. При збільшенні нормальної напруги у зоні зсуву на 15 % збільшується коефіцієнт внутрішнього тертя трохи більше, ніж 2–3 %.

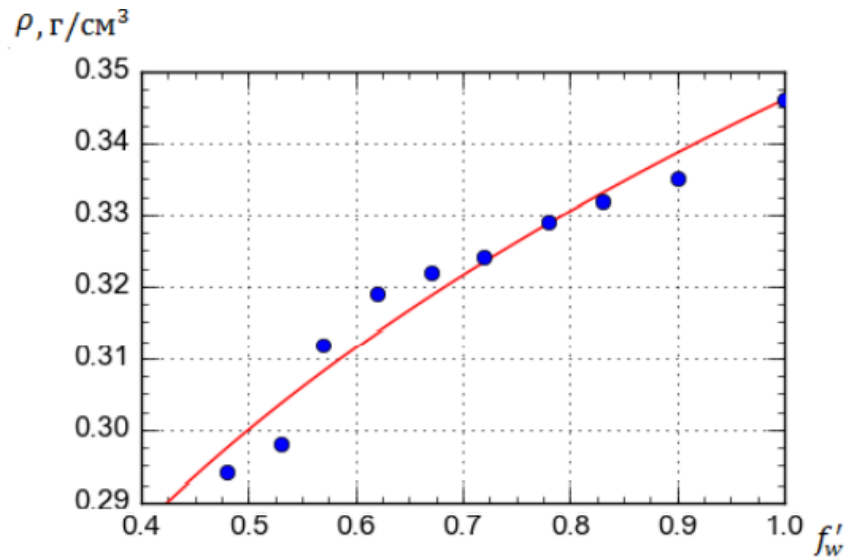


Рисунок 2.13 – Характерна залежність щільності МК від коефіцієнта внутрішнього тертя

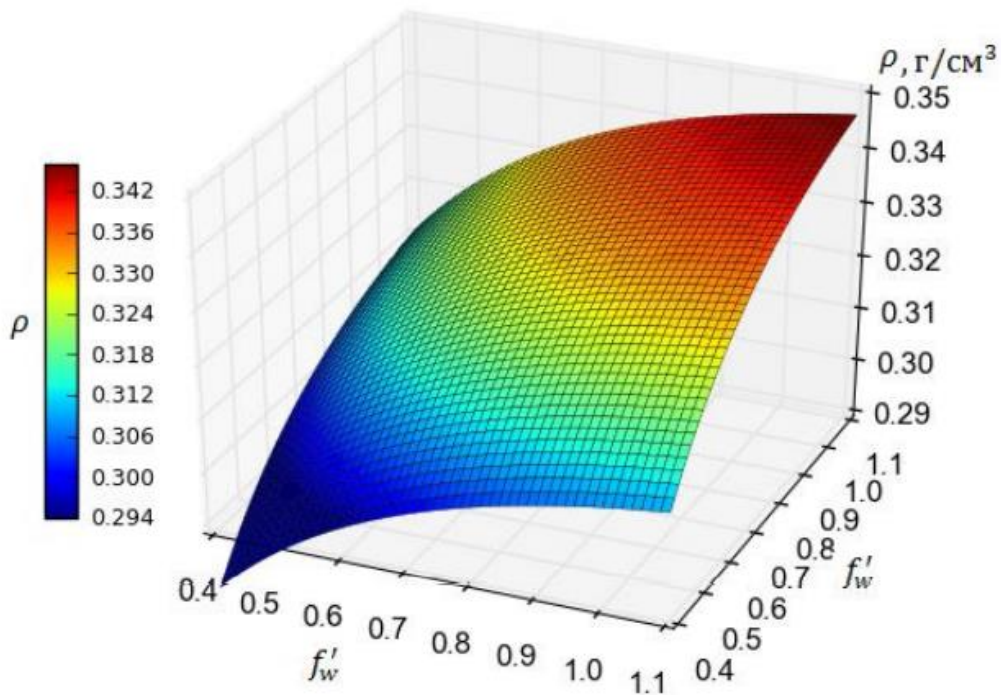


Рисунок 2.14 – Графік поверхні зміни щільності від коефіцієнта тертя МК

## 2.5 Імітаційна модель системи управління процесом дозування меленої кави

У роботі була створена модель системи управління процесом дозування меленої кави. Модель системи управління процесом дозування меленої кави представляє багатоблочну структуру. Кількість блоків відповідає числу компонентів у процесі в середовищі моделювання «Matlab simulink», рис. 2.15. У разі застосування для регулювання швидкостей живильника та дозатора частотних перетворювачів можливо для управління приводами використовувати класичні ПІД регулятори. Оцінюючи поведінку дозатора при

дії збурень з використанням у якості САЕ системи середовища Matlab використовується привід у вигляді послідовного включення двох аперіодичних ланок.

У схемі є контур управління приводу живильника, контур управління приводу дозатора СД та бункер циліндроконічної форми. Пропонується контролювати рівень МК як проміжну координату в бункері стаканчикowego дозатора.

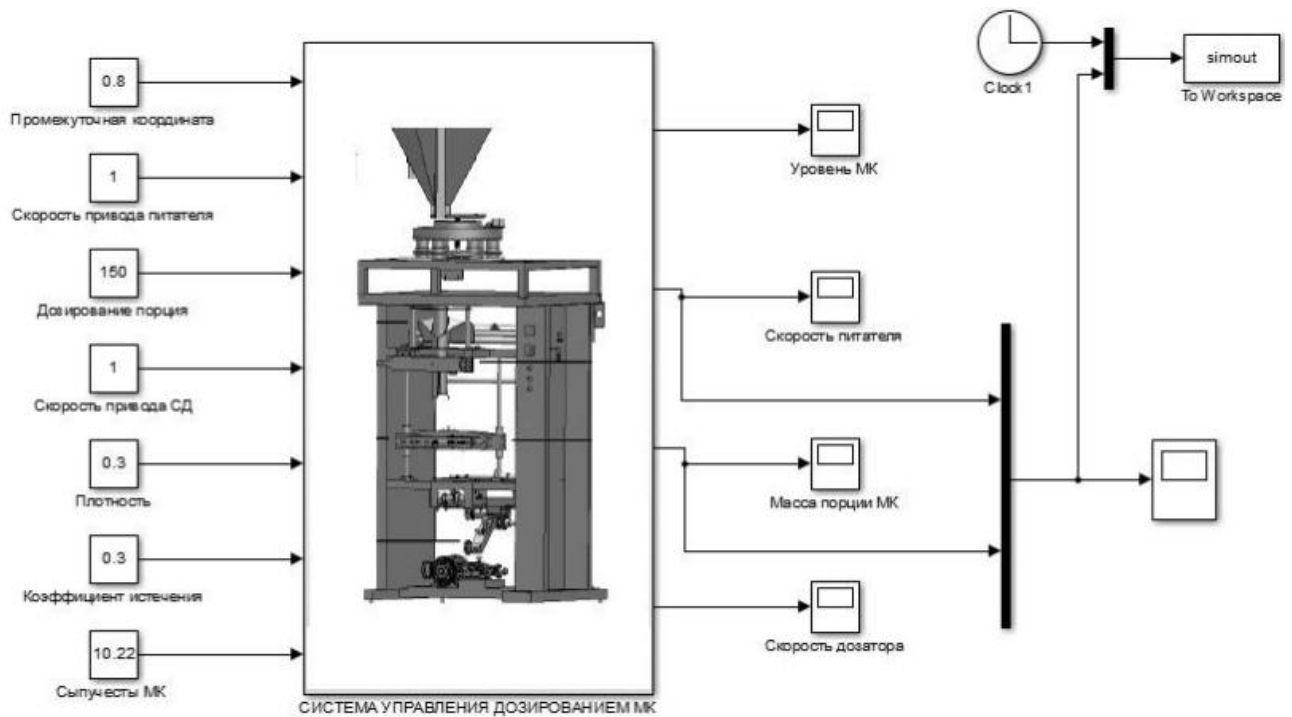


Рисунок 2.15 – Імітаційна модель системи управління дозуванням меленої кави розробленої в Matlab – simulink

Об’єм МК  $q_3$ , що засипається в мірні склянки на  $t$  – циклі дозування, буде формуватимуться за законами розподілу, з урахуванням зміни математичного очікування  $m_i$ , середнє квадратичне відхилення обсягу МК та проміжної координати в бункері дозатора, а також середній обсяг та дисперсія частинок МК, які задаються на початку. При рівномірному розподілі продукту МК, математичне очікування  $m_i$  повністю визначає цей закон при заданому середньому значенні порцій обсягу та дисперсії частинок МК.

## РОДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ

### 3.1 Забезпечення умов безпеки праці на виробництві

Неналежне застосування персоналом обладнання або недотримання вимог техніки безпеки можуть призвести до каліцтв і навіть нещасних випадків з летальним вироком.

Перш ніж приступити до роботи, технічного обслуговування, пошуків несправностей або ремонту будь-якого вузла установки слід ознайомитись з правилами та вжити всіх запобіжних заходів (наприклад: навчання, письмові розпорядження та попередження операторів про відповідальність, огорожу робочої ділянки під час монтажу або технічного обслуговування тощо), які необхідні для запобігання будь-яких нещасних випадків. Крім того, мають бути видані відповідні розпорядження, обов'язкові для виконання, якщо нещасний випадок все ж таки стався.

Обслуговуючий персонал, призначений для роботи чи технічного обслуговування повинен:

- дотримуватися всіх нормативів, розпоряджень та порядку виконання, що стосуються індивідуальної та колективної безпеки;
- у разі потреби користуватися запобіжними пристроями та засобами захисту;
- негайно повідомляти про несправні пристрої та інші небезпечні ситуації;
- не демонтувати чи переробляти захисні пристрої;
- знати де знаходяться засоби безпеки та правила їх використання;
- не одягати надто вільний одяг при роботі поблизу обертових вузлів та механізмів обладнання, не одягати або носити кільця, намиста, годинник, металеві ручки або інші струмопровідні предмети під час роботи з електрообладнанням або вузлами, що обертаються.

Одяг повинен відповідати характеру виконуваної роботи. Не можна одягати широкий вільний одяг, носити прикраси. Особливу увагу слід звернути на рукава одягу, які мають бути надійно застебнуті на зап'ясті. Недотримання цієї вимоги може призвести до захоплення або зачеплення одягу рухомими вузлами та механізмами. Також рекомендується користуватися спеціальними рукавичками, що оберігають від порізів, та відповідним взуттям;

- користуватися відповідними засобами захисту під час роботи з розчинниками для миття. Уникайте тривалого зіткнення з парами цих складів, не допускайте попадання агресивних рідин на руки або очі.

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Ободенко</i>			<b>Модернізація технологічного процесу об'ємного дозування у виробництві меленої кави</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Омельченко</i>					4	52
<i>Н. Контр.</i>		<i>Омельченко</i>			<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>			
<i>Затверд.</i>		<i>Цвіркун</i>						

### 3.2 Природне освітлення

На підприємстві організовано природне освітлення у світлий час доби (кількість віконних отворів у цеху становить 14 шт., розташовані вони на рівні другого поверху). Для роботи у темний час доби застосовується штучне загальне освітлення. Світильники розміщуються у верхній зоні приміщення з урахуванням розташування обладнання та робочих місць.

Встановлено люмінесцентні лампи денного світла (ЛД) та денного світла з покращеною кольоропередачею (ЛДЦ), які мають голубуватий колір спектру, який найбільш наближається до денного світла.

Для люмінесцентних ламп застосовуються переважно багатолампові світильники, що дозволяє використовувати спеціальні схеми включення для зменшення пульсації світлового потоку та виключають стробоскопічний ефект. Люмінесцентні та інші ртутні лампи, що вийшли з ладу, повинні підлягати утилізації. В кожній такій лампі є та чи інша кількість металевої ртуті, яка при механічному руйнуванні лампи забруднює навколишнє середовище (повітря, ґрунт), що надзвичайно небезпечно для здоров'я людей. Тому, до утилізації несправні лампи зберігають на складах. Перед вивозом ламп на звалище ртуть з них має бути вилучена або нейтралізована.

### 3.3 Електробезпека на підприємстві харчової промисловості

Пристрої та експлуатація електричних установок повинні проводитися відповідно до вимог чинних законів та електротехнічних правил. Влаштування нових та реконструкція існуючих систем електропостачання та електроустановок повинні здійснюватися за проектами, виконаними відповідно до технічних умов електропостачальної організації.

Підприємства харчової промисловості мають бути виконані за надійністю електропостачання як електроприймачі не нижче II категорії, протипожежні електроприймачі – I категорії.

Знов споруджені та реконструйовані електроустановки мають бути піддані приймально-видавковим випробуванням і вводяться в промислову експлуатацію лише після прийняття рішень приймальної комісії з обов'язковим оформленням відповідних актів та протоколів.

Вся технічна документація, відповідно до якої електроустановка допущена до експлуатації, повинна зберігатися на підприємстві головного енергетика чи особи, відповідальної за електрогосподарство.

Виконання електрообладнання, кабелів, проводів має відповідати виду виробництва, умовам навколишнього середовища та класу вибухопожежонебезпеки приміщень.

У вибухонебезпечних зонах класу В-II рекомендується застосовувати вибухобезпечне електрообладнання або електроустаткування загального призначення зі ступенем захисту оболонки не менше ніж IP54.

У пожежонебезпечних зонах класів П-II, П-IIa мінімально допустимі ступеня захисту оболонок електричних машин IP44; електричних апаратів для класів: П-II – IP54, П-IIa та П-III – IP44.

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40



Влаштування електромереж на підприємстві має передбачати можливість відключення напруги на окремих ділянках для забезпечення безпеки під час проведення ремонтних робіт на електроустановках.

Роботи з переобладнання електричних мереж та влаштування тимчасової електропроводки на території, у приміщенні та цехах підприємств повинні проводитись за письмовим дозволом головного енергетика (енергетика) або особи, на яку покладено обов'язки відповідального за електрогосподарство.

Місця прокладання кабелів у землі мають бути нанесені на генплан підприємства та відзначені розпізнавальними знаками через кожні 100 м і на поворотах траси.

Під час проведення на території підприємства земляних робіт поблизу кабельних ліній наказом по підприємству має бути виділено особу електротехнічного персоналу, відповідальну за безпеку кабелю.

### **3.4 Виробничий шум і вібрація**

Усі машини, що є джерелом шуму та вібрації (преси, вентилятори, відцентрові насоси, повітродувки, компресори), повинні бути встановлені на звукопоглинаючі фундаменти або окремі фундаменти, не пов'язані із фундаментом будівлі.

Найбільш шумне обладнання (компресори, повітродувки, відцентрові насоси) рекомендується розміщувати в ізольованих приміщеннях.

Допустимі рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях не повинні перевищувати значень, встановлених стандартами. Зони з рівнем звуку або еквівалентним рівнем звуку вище 80 дБА мають бути позначені знаками небезпеки.

З метою зменшення шуму в машинах необхідно передбачити: систематичне ретельне мастило та своєчасну заміну зношених деталей, балансування деталей, що рухаються. Зчленування окремих вузлів та деталей необхідно виконувати за допомогою звукопоглинаючих матеріалів.

### **3.5 Пожежна безпека**

Однією зі складових охорони праці, для працівників при виконанні ними своїх трудових обов'язків, є забезпечення пожежної безпеки для здійснення трудової діяльності. Пожежна безпека передбачає створення безпечних умов для людей та збереження матеріальних цінностей.

Основними системами пожежної безпеки є запобігання пожежі та протипожежного захисту, включаючи організаційно-технічні заходи.

Засоби пожежної сигналізації та сповіщення поділяються на: автоматичну та охоронно-пожежну сигналізацію та на пожежний зв'язок. Для своєчасного повідомлення про пожежу в найближчу пожежну частину застосовується електрична система пожежної сигналізації (кнопкова чи автоматична). Основним недоліком кнопкової (ручної) системи сигналізації є те, що повідомлення про пожежу може бути передано людиною лише після виявлення ним пожежі чи загоряння.

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Організація пожежної безпеки. Система пожежного захисту.

Система пожежного захисту на підприємстві включає заходи та засоби, спрямовані на застосування конструкцій з регламентованою межею вогнестійкості; запобігання поширенню пожежі, забезпечення евакуації працюючих на підприємстві у разі виникнення пожежі; організацію пожежної охорони; обмеження застосування горючих речовин в технологічному процесі; ізоляцію пального середовища; використання засобів пожежної сигналізації, сповіщення та гасіння пожежі.

Серед заходів, що запобігають поширенню пожежі, крім розглянутих раніше, важливе значення має застосування вогнеперешкоджаючих запобіжних пристроїв на технологічних комунікаціях, а також у системах вентиляції, повітряного опалення та кондиціонування повітря.

У вентиляційних повітроводах ці пристрої складаються з чутливих елементів, що реагують на підвищення температури (легкоплавкі замки, порохова або полістирольна нитка, напівпровідникові термоопори), і виконавчих органів, що приводять в рух заслінки, шибери, клапани, пристрої, що перекривають канал повітропроводу.

Дане підприємство харчової промисловості обладнане сповіщувачами, які реагують на появу диму або полум'я, підвищення температури. При виникненні пожежі електричний сигнал, що утворюється в автоматичному пожежному сповіщувачі, передається по проводах на станцію прийому пожежних. Приймавши сигнали, станція перетворює його на світлові та звукові сигнали тривоги і дозволяє за допомогою релейних пристроїв вмикати автоматичні засоби пожежогасіння. Теплові сповіщувачі спрацьовують при підвищенні температури довкілля.

					ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

## ВИСНОВКИ

Бакалаврська робота присвячена модернізації технологічного процесу об'ємного дозування у виробництві меленої кави. Зазначено, що однією з найважливіших технологічних операцій під час приймання, зберігання та переробки кави при виробництві меленої обсмаженої кави є дозування.

Процес дозування меленої кави (ДМК) безпосередньо залежить від його фізико-механічні властивості, тому їх особливості мають вирішальне значення при виборі всього комплексу пристроїв, що дозують. ДМК є найважливішою частиною виробництва, тому що від точності дозування залежить якість продукту, дуже важко точно дозувати вручну, тому на виробництвах використовуються різні типи дозаторів.

Перший розділ присвячено аналізу технологічного процесу виробництва меленої кави. Узагальнено, систематизовано та проаналізовано особливості даного процесу, охарактеризовано основні стадії виробництва меленої кави. Проведено класифікацію операцій процесу дозування меленої кави та обрані фактори, що визначають ефективність цих операцій.

Для дозування меленої кави застосовують автоматичні ваги та об'ємні дозатори. Кава має певні фізичні та механічні властивості та їх поведінка як сипучої маси залежить від свободи руху, розміру та форми частинок, щільності, кута природного укосу, внутрішнього та зовнішнього тертя, зчеплюваності, вологості тощо. У роботі обрано стаканчиковий дозатор для процесу дозування меленої кави у якості простого та недорогого рішення, тому що немає необхідності у високій точності дозування порівняно з ваговими дозаторами.

Недотримання у процесі дозування меленої кави хоча б однієї з фізико-механічних властивостей меленої кави (вологість, розмір та форма, гранулометричний склад тощо) неминуче впливає на структуроутворення продукту, що у свою чергу, також впливає на процес утворення порожнечі біля вихідного отвору при дозуванні меленої кави.

Для забезпечення стабільності перебігу процесів ДМК, оптимізації режимів роботи технологічних ліній виробництва МК необхідна достовірна, своєчасна і водночас не надмірна інформація саме про основні параметри, що мають найбільший вплив при процесі ДМК. Обрано контрольовані та регульовані параметри як показники контролю якості: проміжний координат (рівень), щільність, коефіцієнт закінчення, швидкість дозатора та швидкість приводу живильника.

Другий розділ присвячено удосконаленню параметрів конструкції бункера об'ємного дозатора. Визначення швидкості руху меленої кави з урахуванням фізико-механічних властивостей МК дозволяє удосконалити параметри бункера, що забезпечує стабільність руху меленої кави

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Ободенко</i>			<b>Модернізація технологічного процесу об'ємного дозування у виробництві меленої кави</b>		
<i>Перевір.</i>		<i>Омельченко</i>					
						2	52
<i>Н. Контр.</i>		<i>Омельченко</i>			<b>ДонНУЕТ Кафедра ЗІДО</b>		
<i>Затверд.</i>		<i>Цвіркун</i>					

без утворення порожнечі біля вихідного отвору та правильно налаштувати об'ємний дозатор. Проведені розрахунки дозволили узагальнити характерні залежності швидкості руху меленої кави від параметрів конструкції бункера та від фізико-механічних властивостей МК.

Зазначено, що рух меленої кави відрізняється від рідин наявністю коефіцієнта внутрішньої тертя, сили зчеплення, а також здійснюються напруги на стіні циліндроконічного бункера об'ємного дозатора. Визначено геометричні розміри та параметри конструкції бункера об'ємного дозатора, які забезпечать стійкий перебіг меленої кави.

У роботі розглядається процес руху частинок МК в бункері об'ємного дозатора. З цією метою було здійснено моделювання для розрахунку руху великої кількості частинок меленої кави, що дозволяє оптимізувати та обробити рухи всіх частинок окремо як суцільна середовище у системах безперервного дозування. Важливою при використанні аналізованих методів є можливість візуалізації моделюваних процесів з використанням комп'ютерних технологій.

Проте реальна геометрична форма частинок МК ускладнює завдання моделювання у процесі руху. При цьому з урахуванням фізико-механічних властивостей МК та параметрів конструкції бункера, проведений аналіз показав, що на кут зовнішнього тертя МК суттєво впливають ефективні значення коефіцієнтів тертя ковзання  $f_s$ .

У нашому прикладі мелена кава має неправильну форму, щоб збільшувати кількість аналізованих дискретних частинок меленої кави прийняли форму частинок як кульки у процесі моделювання, але враховувалися важливі параметри фізико-механічних властивостей МК та бункера.

У процесі моделювання було виявлено, що дрібніші частинки МК переважають у центрі бункера, а більші та мокрі частки скочуються і накопичуються біля стінок бункера. Таким чином, дрібніші частинки МК розвантажуються в першу чергу, а більші в останню чергу. При підвищеній вологості меленої кави більша швидкість закінчення помітно зменшується (ближче до нуля) і це призводить до помилок у процесі дозування при тривалому зберіганні меленої кави в бункері.

При нормальному стані виду меленої кави та правильній конструкції бункера процес руху здійснюється без скупчення. Результат моделювання з кутом нахилу бункера  $\beta_w = 31^\circ$  показав, що не здійснюється процес утворення порожнечі біля вихідного отвору. Швидкість меленої кави з параметрами конструкції бункера ( $d = 0.10$  м,  $\beta_w = 31^\circ$ ) калібрується між (0.1 – 0.75 м/с).

На швидкість руху меленої кави впливає у першу чергу діаметр вихідного отвору бункера та коефіцієнт зчеплення частинок МК. За підтримки рівня МК можна контролювати процес утворення порожнечі біля вихідного отвору. Швидкості руху МК є одним з основних параметрів для правильного налаштування режиму об'ємного дозатора та контролю застійних зон у бункері дозатора.

					<b>ДонНУЕТ.133.зГМБ-18.2022.ПЗ</b>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Модель об'ємного дозування меленої кави на базі Scada системи Labview. Режим доступу: <http://chemengine.kpi.ua/article/view/119419/113961>.
2. Мирончук В.Г. Обладнання підприємств переробної і харчової промисловості: підручник. Вінниця: Нова книга, 2007. 648 с.
3. Гулий І.С., Пушанко М.М., Орлов Л.О. Обладнання підприємств переробної та харчової промисловості. Вінниця: Нова книга, 2001. 576 с.
4. Ingeniería Química, Vol 3: "Flujo de fluidos". E. Costa Novella; Ed. Alhambra Universidad, 1ªed, 1985.
5. 2nd International Conference on Discrete Element Methods, Editors Williams, J.R. and Mustoe, G.G.W., IESL Press, 1992 ISBN 0-918062-88-8.
6. Acevedon, J.L. Influencia del agua de apagado sobre el color, la densidad aparente, el contenido de humedad y en general las propiedades fisico quimicas del cafe tostado. Manizales, Universidad Nacional de Colombia, 1996. 119p.
7. Cleve Moler. The Origins of Matlab // MathWorks.com. 2004. URL: [http://www.mathworks.com/company/newsletters/news\\_notes/clevescorner/dec04](http://www.mathworks.com/company/newsletters/news_notes/clevescorner/dec04).
8. Duran, J., Reisinger A., Sands, Powders, and Grains: An Introduction to the Physics of Granular Materials. Noviembre de 1999, Springer-Verlag New York, Inc., New York, ISBN 0-387-98656-1.
9. Guevara B., R. A. Caracterización granulométrica del café tostado y molido colombiano. Manizales, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Arquitectura, 2000. 131 p. (Tesis: Ingeniero Químico).
10. Holdich, R.G., Fundamentals of Particle Technology, Midland Information Technology and Publishing, United Kingdom, 2002. f Thomson, F. M., "Storage and Flow of Particulate Solids", Capítulo 8 en Handbook of Powder Science & Technology, editado por Fayed, M. E., Otten, L., Chapman & Hall, N.Y., 1997.
11. Holland, F.A. y Bragg, R."Fluid Flow for Chemical Engineers". Edward Arnold (1995).
12. Гвоздєв О.В., Ялпачик Ф.Ю., Рогач Ю.П., Сердюк М.М. Механізація переробної галузі агропромислового комплексу. К.: Вища освіта. 2006. 479 с.
13. Бедрій Я. І. Безпека життєдіяльності: навчальний посібник / Я. І. Бедрій, В. Я. Нечай. Львів: Магнолія 2006, 2007. 499 с.
14. Джигирей В. С. Безпека життєдіяльності: навчальний посібник / В.С. Джигирей, В.Ц. Жидецький. Львів: Афіша, 2000. 256 с.
15. Williams, J.R. and O'Connor, R., Discrete Element Simulation and the Contact Problem, Archives of Computational Methods in Engineering, Vol. 6, 4, 279-304, 1999.

					<b>ДонНУЕТ.133.ГМБ-18.2022.ПЗ</b>	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		