МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ҐЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

К В А Л І Ф І К А Ц І Й Н А Р О Б О Т А

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему:

“Удосконалення дозатора сипкої сировини шляхом дослідження його конструктивних параметрів”

Виконав: студент VI курсу, групи Маш-62

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)
Тарас ВУС
(Ім’я та прізвище)

Керівник: к.т.н. доцент Руслан ГУМЕНЮК
(Ім’я та прізвище)

Львів 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ҐЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА МАШИНОБУДУВАННЯ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Зав. кафедри _____
(підпис)
д.т.н., професор Власовець В.М.
“28” лютого 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту
Вусу Тарасу Володимировичу

1. Тема роботи: **«Удосконалення дозатора сипкої сировини шляхом дослідження його конструктивних параметрів»**

Керівник роботи: *Гуменюк Руслан Васильович*, к.т.н., доцент

Затверджена наказом по університету від 28.02.2025 року № 140/к-с

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 08.12.2025 року

3. Вихідні дані: *Літературні джерела за тематикою кваліфікаційної роботи відомих технологічних процесів виробництва та розрахунків технологічного обладнання; Матеріали навчальної, методичної довідкової та наукової літератури; Методики визначення економічної ефективності впровадження нового технологічного рішення.*

4. Перелік питань, які необхідно розробити:
1. Стан питання, літературно-патентний пошук;
2. Програма і методика досліджень;
3. Результати досліджень та їх аналіз;
4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях;
Висновки та пропозиції;
Бібліографічний список

5. Перелік ілюстративного матеріалу:
Ілюстративний матеріал представити у вигляді презентації у застосунку Microsoft PowerPoint: Мета та завдання роботи, об'єкт дослідження; Класифікація дозувальних пристроїв; Огляд конструкцій дозаторів; Загальний вигляд дозатора сипкої сировини; Залежність продуктивності дозатора від частоти обертання шнеків та від кроку шнека; Карта продуктивності Q(n,s); Карта часу перебування t_{res}(n,s); 3Д залежність продуктивності Q від частоти обертання і кроку шнеків; Робоча область дозатора за обмеженнями; Час перебування матеріалу tres(n,s) при L = 296 мм; Висновки та пропозиції.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3	*Гуменюк Р.В. к.т.н., доц. кафедри машинобудування*			
4	*Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри інженерної механіки*			

7. Дата видачі завдання: 28.02.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	*Виконання розділу: «Стан питання, літературно-патентний пошук»*	*28.02.25-23.04.25*	
2.	*Виконання другого розділу: «Програма і методика досліджень»*	*24.04.25-25.06.25*	
3.	*Виконання розділу: «Результати досліджень та їх аналіз»*	*26.06.25-14.10.25*	
4.	*Виконання розділу: «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»*	*15.10.25-24.11.25*	
5.	*Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки. Завершення роботи в цілому*	*25.11.25-08.12.25*	

Студент _____ Тарас ВУС
(підпис)

Керівник роботи _____Руслан ГУМЕНЮК
(підпис)

УДК 629.979

Удосконалення дозатора сипкої сировини шляхом дослідження його конструктивних параметрів. Вус Т.В. Кваліфікаційна робота. Кафедра машинобудування. – Дубляни, Львівський НУВМБТ, 2025р.

81 с. текст. част., 20 рис., 10 табл., 30 джерел інформації.

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення ефективності процесу дозування сипких матеріалів шляхом удосконалення конструкції дозатора сировини. Метою роботи є підвищення рівномірності подачі, точності дозування та зниження енергоспоживання обладнання за рахунок оптимізації геометричних і кінематичних параметрів шнекового механізму.

У роботі виконано аналіз сучасних конструкцій дозаторів, виявлено їхні недоліки та обґрунтовано переваги застосування двошнекової схеми з паралельним обертанням шнеків.

Розроблено удосконалену конструкцію дозатора, проведено теоретичні розрахунки масової продуктивності залежно від частоти обертання й кроку шнека, побудовано карти робочих режимів Q(n,s) та тривимірну поверхню продуктивності. Для номінальних параметрів D = 90 мм, d = 25 мм, s = 90 мм, n = 90 об/хв, η = 0,4 отримано продуктивність 2,6 т/год при середньому часі перебування матеріалу 2,2 с.

Проведено аналіз виробничих небезпек та безпеки в надзвичайних ситуаціях при експлуатації обладнання у цеху, розроблено логіко-імітаційну модель виникнення травматизму.

ЗМІСТ

Стор.

ВСТУП 7

1. СТАН ПИТАННЯ, ЛІТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНИЙ ПОШУК ……. 10

1.1 Загальна характеристика процесу дозування сипучої продукції ……. 10

1.2 Класифікація пристроїв дозування сипучих матеріалів ….. 14

1.2.1. Дозатори з обертальним рухом робочого органу. ……. 18

1.2.2. Дозатори з вібраційним рухом робочого органу …… 20

1.2.3. Вагові дозатори сипких матеріалів …….. 23

1.3 Пристрої дозування сипучої продукції об’ємного типу…… 25

1.3.1. Дозатор стаканчикового типу…….. 25

1.3.2. Дозатори шиберного типу…… 27

1.3.3. Дозатори камерного типу……. 30

1.3.4. Дозатори маятникового типу…… 32

1.3.5. Дозатори шнекового типу…… 34

2. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ…… 45

2.1 Програма досліджень…….. 45

2.2 Методика розрахунку шнекових дозаторів ……. 46

2.2.1 Призначення та область застосування…….. 46

2.2.2 Розрахунок подачі (продуктивності)……. 47

2.2.3 Точність і рівномірність дозування…… 48

2.3 Методика розрахунку об’ємних дозаторів…….. 50

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ…… 57

3.1 Дослідження конструктивних параметрів двошнекового дозатора сипкої сировини ……..... 57

3.2 Аналітичне обґрунтування конструктивних параметрів дозатора…….……. 61

3.3 Результати моделювання технологічних та конструктивних параметрів дозатора сипкої сировини ..……. 62

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ…… 69
4.1. Загальні положення …… 69
4.2. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів ……. 69
4.3. Вимоги безпеки під час монтажу, експлуатації та обслуговування дозатора ……. 71
4.4. Засоби колективного та індивідуального захисту …… 71
4.5. Пожежна безпека …….. 72
4.6. Електробезпека…….. 73
4.7. Виробнича санітарія……. 73
4.8. Безпека в надзвичайних ситуаціях……. 74
4.9. Організація навчання та інструктажів……. 74
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ……. 76
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК……. 78

ВСТУП

Сучасний рівень розвитку промисловості, будівництва та сільського господарства вимагає постійного вдосконалення технологічних процесів, пов’язаних із транспортуванням, зберіганням і дозуванням сипких матеріалів. Значна частина продукції у вигляді порошків, гранул, зерна або сумішей потребує точного й рівномірного подавання у виробничі лінії. Від стабільності подачі залежить якість кінцевого продукту, ефективність роботи обладнання, а також економічність процесу в цілому.

Особливе місце серед обладнання для подачі сипких матеріалів займають дозатори шнекового типу. Вони забезпечують безперервне або порційне дозування завдяки обертанню гвинтового елемента — шнека, який переміщує матеріал у заданому напрямку. Такі пристрої широко застосовуються у виробництві цементу, сухих будівельних сумішей, комбікормів, борошна, а також у хімічній, фармацевтичній та харчовій промисловості.

Проте досвід експлуатації традиційних одношнекових дозаторів показує, що вони мають низку недоліків: нерівномірність подачі, пульсації потоку, схильність до утворення “містків” і залипання матеріалу у корпусі. Ці фактори негативно впливають на точність дозування та надійність роботи обладнання. Тому актуальною є задача підвищення рівномірності подачі та точності дозування сипких матеріалів шляхом удосконалення конструкції дозаторів.

Одним із найперспективніших напрямів вирішення цієї проблеми є застосування двошнекових дозаторів, у яких два шнеки працюють синхронно - співобертово або зустрічно. Така компоновка дає змогу підвищити заповнення робочого простору, зменшити нерівномірність потоку матеріалу та уникнути зависання. Двошнекові дозатори ефективно працюють з важкоплинними сипкими матеріалами.

В умовах зростання вимог до автоматизації виробничих процесів, економії енергоресурсів і дотримання екологічних стандартів удосконалення конструкції шнекових дозаторів набуває особливої актуальності. Розробка конструкції двошнекового дозатора з оптимальними параметрами дозволить підвищити ефективність подачі сировини, зменшити енергоспоживання приводу, покращити точність дозування та знизити запиленість робочої зони.

Актуальність теми

Проблема точного дозування сипких матеріалів є однією з найважливіших у машинобудуванні, будівельній, харчовій та комбікормовій промисловості. Від точності подачі сировини залежить якість бетонних сумішей, міцність будівельних конструкцій, а також стабільність технологічних процесів. Розробка й удосконалення двошнекових дозаторів забезпечує не лише підвищення продуктивності, але й створює умови для екологічно безпечної експлуатації обладнання, що особливо важливо при роботі з пилоподібними матеріалами.

Мета і завдання роботи

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження конструктивних параметрів дозатора сипкої сировини для забезпечення стабільної продуктивності, підвищення точності дозування та зменшення енергоспоживання.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися такі завдання:

1. Провести аналіз існуючих конструкцій дозаторів сипких матеріалів і визначити їх переваги та недоліки.
2. Обґрунтувати вибір двошнекової схеми та розробити удосконалену конструкцію дозатора.
3. Виконати аналітичні розрахунки масової продуктивності залежно від частоти обертання шнеків і кроку гвинтової лінії.
4. Провести моделювання технологічного процесу дозування, побудувати графічні залежності та визначити оптимальні параметри.

5. Розробити заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях при експлуатації обладнання.

Об’єкт і предмет дослідження

Об’єктом дослідження є процес дозування сипких матеріалів у дозаторах безперервної дії.

Предметом дослідження - конструкція та робочі параметри дозатора сипких матеріалів, що впливають на його продуктивність і рівномірність подачі.

Методи дослідження

Для досягнення мети використано комплекс методів:

- аналітичні розрахунки для визначення продуктивності шнекового транспортера;
- методи математичного моделювання для побудови залежностей Q(n,s);
- експериментальні дані для перевірки адекватності моделі;
- графоаналітичний аналіз для візуалізації робочих характеристик;
- нормативно-розрахункові методики ДСТУ і НПАОП для оцінки безпеки праці.

Наукова новизна та практичне значення

Наукова новизна роботи полягає у встановленні впливу геометричних параметрів шнеків (діаметра, кроку, довжини) та частоти їх обертання на продуктивність і стабільність подачі сипкої сировини. Практичне значення результатів полягає у можливості впровадження удосконаленої конструкції двошнекового дозатора у виробничі лінії підприємств, що забезпечить підвищення ефективності роботи на 10–15 %.

1. СТАН ПИТАННЯ, ЛІТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНИЙ ПОШУК

1.1. Загальна характеристика процесу дозування сипучої продукції

Сипучі матеріали являють собою складні дисперсні системи, фізико-механічні властивості яких змінюються залежно від щільності укладання частинок, виду зовнішнього впливу та умов середовища (вологість, температура тощо) [1, 2]. Одна й та сама речовина може поводитися як вільноплинна, так і як зв’язана маса, що суттєво впливає на процес дозування.

Під час роботи дозувальних механізмів сипкий матеріал може ущільнюватися або розрихлюватися, аж до стану вібро- чи пневморозрідження. Тому розуміння нормативних характеристик сипучих продуктів та зміни їх параметрів під впливом робочих органів має вирішальне значення для правильного вибору конструкції дозатора та запобігання помилкам у проектуванні.

Для різних видів сипких речовин створено класифікаційні таблиці, що містять дані про гранулометричний склад, об’ємну густину, плинність, здатність до аерації та схильність до утворення склепів. Згідно з їх рухомістю, усі сипкі матеріали умовно поділяють на три групи:

- незв’язані;
- зв’язано-текучі;
- зв’язані.

Кут природного укосу є однією з ключових характеристик сипкої продукції, що визначає її здатність до самопливного руху. Цей параметр відображає співвідношення між силами ваги частинок і силами внутрішнього тертя, які протидіють їх зсуву. Чим більший кут природного укосу, тим гірше матеріал пересувається у бункерах та живильниках, і тим більша ймовірність утворення «зводів» та порожнин.

Висоту стійкого відкосу h можна орієнтовно визначити за геометричною залежністю:

$$\tan \varphi = \frac{h}{r}$$

де, φ — кут природного укосу сипкого матеріалу, °;

r — радіус основи конуса насипу або ширина шару матеріалу, м;

h — висота рівноважного відкосу, м.

Для різних матеріалів значення φφ змінюється в широких межах:

- для сипкої сировини, борошна, крейди — 30…40°;
- для піску сухого - 28…32°;
- для зернових сумішей - 25…35°;
- для вологих або злежалих матеріалів — понад 40°.

Кут природного укосу тісно пов’язаний із плинністю матеріалу, що впливає на конструкцію дозувального пристрою. Наприклад, для сипких продуктів із великим φ застосовують бункери зі збільшеним кутом конічної частини (до 60–70°), вібраційні чи пневматичні системи розрихлення, а також двошнекові дозатори, які забезпечують стабільну подачу навіть «важкоплинних» матеріалів.

Таким чином, при проєктуванні шнекового дозатора необхідно враховувати гранулометричний склад, насипну густину та кут природного укосу матеріалу, оскільки саме ці параметри визначають коефіцієнт заповнення робочого об’єму шнека, рівномірність подачі й точність дозування.

Незв’язані матеріали не утворюють стійких відкосів, оскільки для них початковий опір зсуву практично відсутній. Висоту рівноважного відкосу такої продукції визначають за залежністю, у яку входять основні фізико-механічні характеристики матеріалу, що відображають його здатність до зсуву та внутрішнього тертя.

$$h_c = \frac{4\tau_0 \cos\varphi}{\rho g(1-\sin\varphi)},$$

де τ_0 – початкове напруження зсуву, Па;

φ – кут внутрішнього тертя або кут природного укосу, рад;

ρ – об’ємна (насипна) густина, кг/м3;

g – вертикальна компонента вектора прискорення вільного падіння, м/с^2.

У зв’язаних сипких матеріалах сили міжчастинкового зчеплення настільки великі, що значно перевищують вагу окремих частинок. Через це переміщення елементів під дією власної маси в полі сили тяжіння практично неможливе. Таке середовище поводиться подібно до пластичної або напівтвердої маси, утворює стійкі вертикальні відкоси, має схильність до склепоутворення, утворює комки та характеризується вираженими адгезійними властивостями.

До зв’язано-текучих матеріалів відносять проміжний тип сипких систем, у яких поведінка частинок залежить від щільності їх укладання. Такі матеріали можуть виявляти властивості як незв’язаної, так і зв’язаної продукції, переходячи з одного стану в інший під впливом зовнішніх чинників.

Для попереднього вибору способу дозування та типу дозувального механізму часто користуються спрощеною класифікацією, що базується на гранулометричному складі матеріалу. Згідно з нею, сипкі продукти умовно поділяють на три основні групи:

1. Порошкоподібні матеріали — із середнім розміром частинок від 0,02 до 0,6 мм. Для їх точного дозування найчастіше застосовують шнекові дозатори, які забезпечують рівномірну подачу навіть малоплинних матеріалів.
2. Дрібнозернисті (подрібнені) сипкі продукти, у яких діаметр частинок перебуває в межах 0,6–6 мм. Для цієї групи характерним є використання об’ємних дозаторів різних типів — стаканчикових,

маятникових або шиберних, що дозволяють забезпечити стабільну дозу при середній плинності.

3. Крупнозернисті сипкі матеріали, з частинками розміром понад 6 мм. Для таких продуктів доцільно застосовувати вагові дозатори лінійного типу, які дозволяють працювати з великими порціями матеріалу. Якщо ж необхідна висока продуктивність — понад 100 доз/хв, використовують багатопозиційні системи дозування, що працюють паралельно.

Фасування сипкої продукції здійснюється у різні види споживчої тари — пачки, пакети, мішки тощо, які можуть виготовлятися з паперу, полімерних або комбінованих матеріалів.

Дозувальні механізми для сипких продуктів відрізняються великою різноманітністю конструкцій. Їх вибір визначається продуктивністю обладнання, методом дозування (об’ємне, вагове або комбіноване), а також структурно-механічними характеристиками матеріалу. Згідно з прийнятою класифікацією, дозатори можуть бути:

- дискретними, безперервними або безперервно-циклічними;
- об’ємними, ваговими, комбінованими;
- за конструкцією — шнекові, стаканчикові, шиберні, маятникові, камерні тощо.

1.2 Класифікація пристроїв дозування сипучих матеріалів

Сучасний етап розвитку обладнання для виробництва комбікормів висуває вимогу оптимізації технологічного процесу за рахунок зменшення кількості одиниць машин, скорочення довжини транспортних ліній та, як наслідок, зниження енергоспоживання. Водночас актуальними залишаються питання високої якості готової продукції, надійності роботи обладнання при підвищеному рівні автоматизації, а також забезпечення безпеки технологічного процесу і комфортних умов праці обслуговуючого персоналу.

Одним із визначальних чинників якості кінцевого комбікорму є точність дозування компонентів. Ручне дозування сипких матеріалів практично не дозволяє досягти необхідної точності, тому на сучасних підприємствах застосовують механізовані та автоматизовані дозатори різних типів.

Розмаїття існуючих конструкцій дозувальних пристроїв зумовлене тим, що потік сипкого матеріалу характеризується широким діапазоном фізико-механічних і технологічних властивостей — від плинності та злежуваності до різної форми частинок, вологості й густини. Крім того, обладнання часто має відповідати специфічним вимогам конкретного технологічного процесу, що визначає особливості його конструкції.

Загальну класифікацію дозаторів можна виконати за трьома основними ознаками (рис. 1.1):

- за структурою робочого циклу,
- за конструктивними особливостями,
- за принципом дії.

Відповідно до структури робочого циклу дозувальні пристрої поділяють на безперервної та дискретної дії.

- Дозатори безперервної дії (переважно вагового типу) призначені для автоматичного підтримання заданої масової подачі матеріалу в одиницю часу. Вони широко використовуються у транспортних потоках промислових і сільськогосподарських виробництв, де матеріал надходить із живильника або приймального лотка на конвеєр, а система керування забезпечує стабільну продуктивність.
- Дозатори дискретної дії подають матеріал окремими порціями через визначені інтервали часу. Регулювання кількості поданого матеріалу здійснюється шляхом зміни об’єму однієї порції або частоти їх подачі. Такі дозатори відзначаються простотою конструкції, легкістю обслуговування та надійністю в роботі, що робить їх придатними для експлуатації у складних

виробничих умовах, хоча точність дозування в них дещо нижча, ніж у безперервних систем.

Рисунок 1.1 – Класифікація дозувальних пристроїв

У практиці машинобудування для дозування різних видів продукції розрізняють три основні принципи дозування: об’ємний, ваговий і масовий.

Об’ємні дозатори

Такі пристрої працюють переважно з рідкими та частково газоподібними середовищами. Їхня конструкція проста, вони вирізняються довговічністю, надійністю та зручністю експлуатації. Проте точність відмірювання у таких системах знижується при роботі з неоднорідними або нестабільними за щільністю речовинами, тому об’ємні дозатори

використовуються переважно у тих випадках, коли висока точність не є визначальною [3].

Вагові дозатори

Цей тип дозувальних пристроїв вважається найбільш універсальним і може застосовуватись для сипких матеріалів будь-якої фракції, а також для рідини чи пастоподібних сумішей. Основними перевагами вагових систем є висока точність, повна автоматизація процесу та можливість керування подачею в реальному часі. Сучасні вагові дозатори обладнані тензометричними датчиками, що забезпечують безперервний контроль маси та коригування швидкості подачі. У керуванні такими пристроями оператор лише задає параметри дози, а всі операції зважування та спорожнення виконуються автоматично. Недоліком вагових дозаторів є менша швидкість роботи порівняно з іншими типами [4].

Масові дозатори

Масові системи здатні ефективно працювати з твердими, сипкими, в’язкими та пастоподібними продуктами. Їх застосовують у багатьох галузях промисловості, зокрема у харчовій, хімічній та сільськогосподарській. Вони поєднують високу швидкість, надійність і точність, що робить їх ефективним рішенням для високопродуктивних технологічних ліній [4].

Класифікація дозаторів за конструктивними ознаками

Класифікація дозувальних механізмів за конструктивними характеристиками є найбільш розгалуженою. Основним критерієм у цьому випадку виступає тип руху робочого органу та принцип взаємодії його з матеріалом.

На вибір конструкції дозатора істотно впливають фізико-механічні властивості матеріалу, серед яких найважливішими є: розмір частинок, насипна густина, плинність і адгезійна здатність.

Розмір частинок

Залежно від гранулометричного складу сипкі матеріали поділяють на такі групи:

- шматкові - d>10 мм;
- крупнозернисті - d=2...10 мм;
- дрібнозернисті - d=0,5...2,0 мм;
- порошкоподібні - d=0,05...0,50мм;
- пилоподібні - d<0,05 мм.

У процесі виробництва комбікормів живильники найчастіше працюють із шматковими, крупнозернистими або дрібнозернистими матеріалами, для яких характерна достатня плинність і відносно невеликий опір зсуву.

Плинність сипкого матеріалу

Плинність визначається сукупністю параметрів - гранулометричним складом, формою частинок, коефіцієнтом внутрішнього тертя та вологістю. Від цього залежить характер руху матеріалу в живильниках і змішувачах, час заповнення та спорожнення бункера, а також рівномірність подачі. Чим вища плинність, тим стабільніше працює дозатор і тим менше схильність матеріалу до злежування.

Насипна густина

Насипна густина ρn визначає масу одиниці об’єму сипкого матеріалу у вільному стані й залежить від розміру частинок, їхньої форми, вологості та щільності укладання. Цей параметр змінюється під впливом вібрацій і механічних коливань: під час спокою матеріал ущільнюється, а при русі - розпушується.

За величиною насипної густини сипкі матеріали класифікують так:

- легкі - до 600 кг/м³;
- середні - 600...1100 кг/м³;
- важкі - 1100...2000 кг/м³;
- дуже важкі - понад 2000 кг/м³.

Для кормових сумішей характерні насипні густини, що відповідають легким і середнім сипким матеріалам [4].

1.2.1. Дозатори з обертальним рухом робочого органу.

Барабанні дозатори

Одним із представників дозувальних пристроїв з обертальним робочим елементом є барабанний дозатор з лопатевою насадкою (рис. 1.2). Такий пристрій використовується як для порційного, так і для безперервного подавання дрібнодисперсних і порошкоподібних матеріалів [6]. Принцип його дії полягає в тому, що при обертанні барабана-накопичувача матеріал захоплюється лопатями, піднімається вгору і потім зсипається через випускний лоток. За один оберт барабана кожна лопать переміщує визначений об'єм матеріалу, що дає змогу дозувати продукцію із заданою точністю та стабільною продуктивністю.

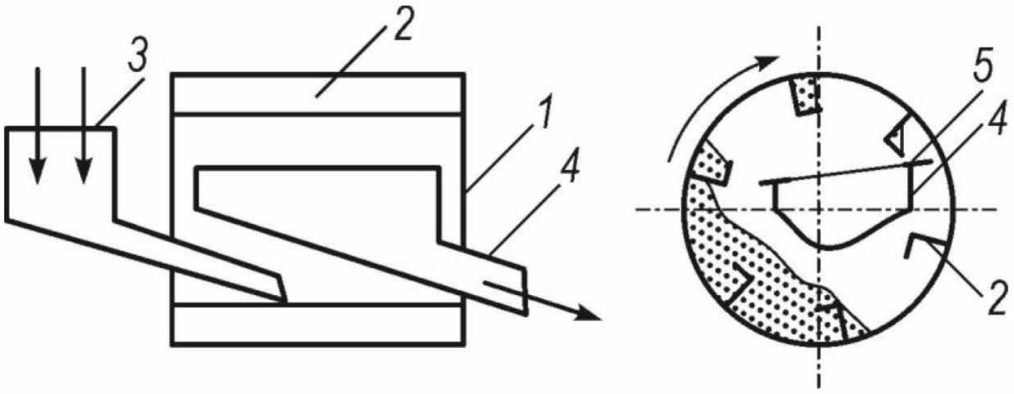

Рисунок 1.2 – Барабанний дозатор з лопатевою насадкою

Кількість лопатей барабанного дозатора, а також конструкція та положення кришки приймального лотка можуть бути спроєктовані таким чином, щоб забезпечити одночасне висипання матеріалу лише з однієї лопаті (у режимі порційного дозування) або з двох лопатей (у режимі безперервної подачі). Така варіативність дає можливість налаштовувати дозатор залежно від технологічних вимог процесу.

Шнекові дозатори сипких матеріалів

Одним із найпоширеніших типів дозувальних механізмів є шнековий дозатор, конструктивно виконаний у вигляді гвинтового транспортера, розміщеного у циліндричному або жолобоподібному кожусі (рис. 1.3). Такі

пристрої призначені для подачі та дозування порошкоподібних і зернистих речовин, що не зазнають руйнування або подрібнення під час транспортування.

Робочий орган шнекового дозатора може бути розташований горизонтально, вертикально або під певним кутом до горизонту, залежно від конструкції обладнання та властивостей матеріалу. У промисловій практиці також використовують багатошнекові дозатори, які забезпечують більш рівномірний потік і високу стабільність подачі.

Для підтримання однорідності потоку сипкої речовини застосовують шнеки зі змінним кроком витків. Зокрема, крок гвинта може зменшуватися у напрямку до зони розвантаження, що сприяє стабілізації подачі й запобігає пульсаціям потоку. У разі, коли існує ризик ущільнення матеріалу всередині корпусу дозатора, навпаки, використовують шнеки зі збільшуваним кроком у напрямку руху продукту — це забезпечує часткове розрихлення і знижує тиск у робочій зоні.

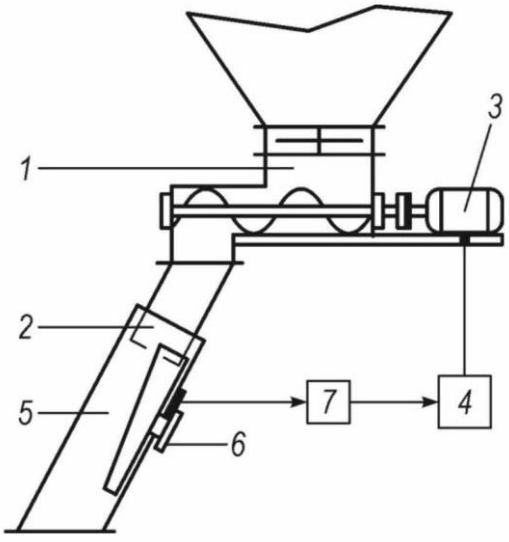

Рисунок 1.3 – Принципова схема шнекового вагового дозатора

Принцип дії шнекового вагового дозатора

Принцип роботи шнекового вагового дозатора наведено на рис. 1.3. Чотиришнековий живильник 1 здійснює відбір сипкого матеріалу з приймального бункера та подає його у витратомір 2. Швидкість обертання

шнеків регулюється плавно, що забезпечується керованим електроприводом, який складається з асинхронного мотор-редуктора 3 та перетворювача частоти 4.

Матеріал, що надходить із живильника, потрапляє у витратомір і лоток 5, який установлено на тензометричному датчику 6. Останній перетворює механічне навантаження від маси матеріалу на електричний сигнал, пропорційний його вазі. Цей сигнал надходить до мікроконтролера 7, де виконується обчислення фактичної продуктивності потоку матеріалу.

Мікропроцесорна система безперервно порівнює поточну продуктивність із заданою рецептурною величиною, і в разі відхилення здійснює автоматичну корекцію швидкості обертання шнеків через перетворювач частоти.

Таким чином, забезпечується замкнута система керування, що підтримує стабільну витрату матеріалу у відповідності до технологічного завдання.

Завдяки такій схемі керування похибка дозування у сучасних вагових шнекових дозаторах не перевищує ±0,5 % від загальної маси матеріалу, що пройшов через пристрій [7].

1.2.2. Дозатори з вібраційним рухом робочого органу

До групи дозаторів із вібраційним типом дії належать лоткові або вібраційні живильники, призначені переважно для подачі шматкових і крупнозернистих матеріалів. Принцип їх роботи базується на поступальних коливаннях лотка, який спрямовує матеріал до зони розвантаження.

Залежно від конструкції, вібраційні живильники поділяються на підвісні та кареткові.

- Підвісні вібраційні дозатори мають лоток, підвішений на ресорах або гнучких підвісках, і використовуються для дозування матеріалів з насипною густиною до 1000 кг/м³.

- Кареткові дозатори встановлюються на пружних опорах і передають коливання безпосередньо від електромагнітного або механічного віброприводу.

Перевагами дозаторів цього типу є рівномірна подача матеріалу, відсутність ущільнення або подрібнення частинок, а також можливість роботи в умовах підвищеної запиленості. Вібраційні дозатори широко використовуються у процесах підготовки сировини, фасування та завантаження транспортних систем, особливо тоді, коли необхідна делікатна подача матеріалу без руйнування структури частинок.

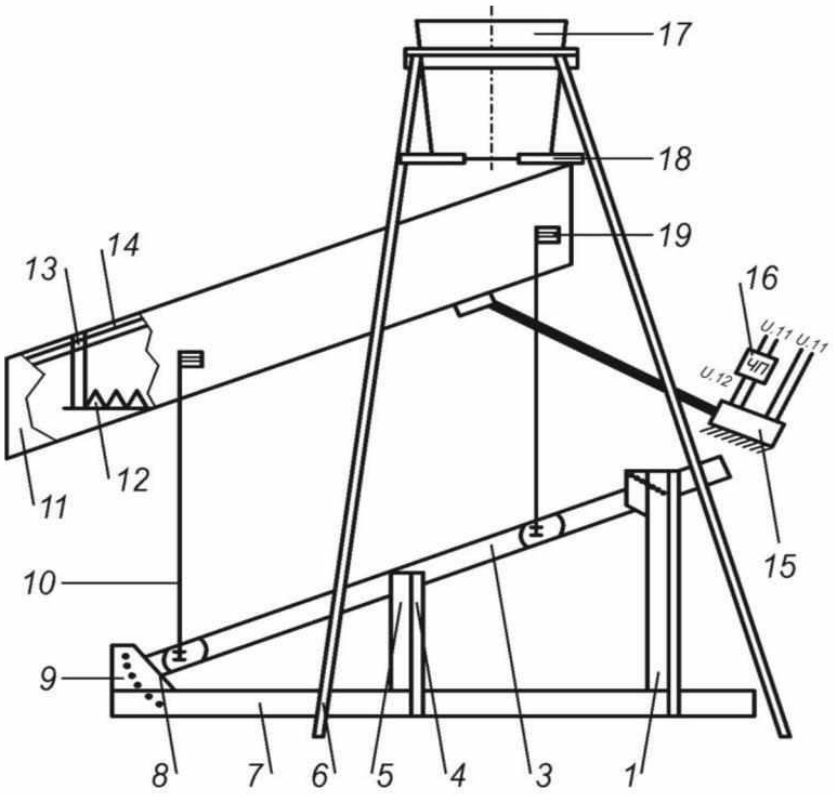

Рисунок 1.4 – Вібраційний дозатор сипучих матеріалів

Кареткові живильники призначені для рівномірної подачі сипких і кускових матеріалів. Принцип їхньої роботи базується на симетричних поступально-поворотних коливаннях лотка, що рухається по прямолінійній траєкторії. Такий тип коливань забезпечує стабільну подачу матеріалу та зменшує його злежування під час транспортування.

Вібраційні дозатори сипких матеріалів

На рис. 1.4 зображено вібраційний дозатор [8], який складається з поздовжніх балок 7, з'єднаних поперечинами, до яких кріпляться кутники 9, передні 4 і задні стійки 1, а також поздовжні кутники 3 і перемички 8. За допомогою кронштейнів 19 на цих елементах закріплені ресори 10, що з'єднують поворотну раму 5 з віброжолобом 11.

Конструкція віброжолоба включає перемішувальні елементи 12, стрижні 13 і регулювальні пластини 14, які відповідають за переміщення та інтенсивність змішування сипкої маси. На рамі 6 встановлені бункери 18 для подачі кормів. До складу системи також входять однофазний частотний перетворювач 16 (під'єднаний до мережі змінного струму) та трифазний лінійний асинхронний двигун 15. Його вторинним елементом є тяга 2, жорстко пов'язана з віброжолобом 11, розташована на стороні приводу. Одна обмотка асинхронного двигуна з'єднана безпосередньо з мережею живлення, тоді як дві інші підключені послідовно до виходу частотного перетворювача, що створює змінне магнітне поле для збудження вібрації.

Принцип роботи

Під час роботи сипкі корми з дозувальних бункерів 17 надходять у віброжолоб 11, де під дією вібраційного руху переміщуються вздовж його довжини. На першому перемішувальному елементі 12 завдяки конічним поверхням відбувається розпушування шару матеріалу та його первинне змішування. Частинки, що відбиваються від конусів під різними кутами й швидкостями, створюють турбулентний рух сипкої маси, який сприяє більш інтенсивному перемішуванню.

Далі корм поступово переміщується по днищу віброжолоба до наступних перемішувальних елементів, де відбувається остаточне перемішування та вирівнювання потоку. Після цього готова однорідна маса сходить із розвантажувального жолоба, надходячи до наступного технологічного етапу [8].

1.2.3. Вагові дозатори сипких матеріалів

Вагові дозатори сипких речовин забезпечують вищу точність дозування, ніж об’ємні аналоги, проте відзначаються більшою конструктивною складністю та вартістю. Такі пристрої можуть працювати в режимі безперервної або періодичної дії, а за типом конструкції поділяються на стрічкові, шнекові та роторні.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики дозаторів сипкої сировини

Тип	Об’ємна маса дозованого матеріалу, кг/м³	Розмір частинок, мм	Ширина стрічки транспортера, мм	Продуктивність, кг/год	Похибка, % (±)	Маса дозатора, кг
ДН - 36	280 - 1100	Дрібно подрібнені	125	0,5 - 25	0,5	76
ДН - 12	2000 -2300	Порошок	-	7,5 -12,5		180
ДН - 11			-	30 - 50		180
ДН - 10			-	45 -75		180
ДН - 26	200 - 5000	Сипкі матеріали	125	2 -125		-
ДН - 27			200	15 -800		-
ДН - 28			400	63 - 2500		-
ДВ-8-40	-	До 5	400	8 – 40	4	877
ДВ-40-400	-			40 – 400	2	940
ДВ-400-4000	-			40 - 4000		1790
ДН – 22 У	200 - 2000		200	100 - 1600		125
ЛДВ-20		Легко сипкі	500	1500 – 20 000	1	375
ЛДВ-50			650	300 – 500 000		1115

Контроль продуктивності здійснюється зважуванням усієї маси матеріалу, що перебуває у приймальному бункері, або вимірюванням швидкості її зменшення під час подачі. Роторні вагові дозатори застосовуються переважно для низькошвидкісного дозування та роботи з важкодозованими матеріалами, що мають погану плинність.

Найбільш поширеними є вагові дозатори безперервної дії зі стрічковими живильниками, які можуть працювати з продуктивністю від 0,5 до 200 000 кг/год. Такі системи дозволяють точно дозувати порошкоподібні та дрібнозернисті сипкі матеріали з розміром частинок до 5 мм. Точність дозування залежить від типу системи керування та може становити 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 або 4 % від поточної продуктивності.

Таблиця 1.2 – Типові довідкові значення для вагових стрічкових дозаторів

Тип	Об’ємна маса дозованого матеріалу, кг/м³	Розмір частинок, мм	Ширина стрічки транспортера, мм	Продуктивність, кг/год	Похибка, % (±)	Маса дозатора, кг
Дрібно подрібнена сировина	900–1500	≤0,5	300	500–3000	0,5–1,5	~180
Дрібно подрібнені	900–1500	≤0,5	400	1000–6000	0,5–1,0	~240
Дрібно подрібнені	900–1500	≤0,5	500	2000–12 000	0,5–1,0	~320
Дрібно подрібнені	900–1500	≤0,5	650	4000–20 000	0,5–1,0	~450

Керування роботою дозаторів здійснюється автоматично, дистанційно або вручну, залежно від рівня автоматизації виробничої лінії. Використання таких систем у складі технологічних комплексів комбікормового та харчового виробництва дозволяє підвищити стабільність процесу, знизити

похибки дозування і підтримувати задані пропорції компонентів у реальному часі.

1.3 Пристрої дозування сипучої продукції об’ємного типу

Дозатори об’ємного принципу дії функціонують у дискретному режимі, тобто здійснюють подачу матеріалу окремими дозами. До основних складових таких систем належать:

- бункер-накопичувач, у якому зберігається запас продукції;
- дозувальний вузол, що забезпечує відбір необхідного об’єму матеріалу;
- механізм подачі або видачі дози, який регулює подальше транспортування продукту.

Для дозування сипких матеріалів у харчовій, комбікормовій, хімічній та інших галузях найчастіше застосовуються об’ємні дозатори стаканчикового, камерного, шиберного, маятникового та шнекового типів [1,2].

1.3.1. Дозатор стаканчикового типу

Стаканчиковий дозатор належить до найпростіших і найпоширеніших конструкцій об’ємних дозувальних пристроїв. Його основою є два співвісно розташовані циліндри, розміщені телескопічно один у одному (рис. 1.5). Внутрішній простір між цими циліндрами утворює мірну ємність, об’єм якої визначає кількість матеріалу в одній дозі.

Процес наповнення мірної камери здійснюється через верхню горловину, а випорожнення — через нижній отвір, який під час заповнення закритий заслінкою 3.

Для зміни об’єму дози проводиться регулювання положення внутрішнього циліндра (стакана 2) — його піднімають або опускають відносно зовнішнього корпусу, змінюючи таким чином геометрію мірного простору.

У типовій конструкції верхній стакан закріплений до нерухомої верхньої плити 4, тоді як нижній стакан кріпиться до рухомої нижньої плити 5.

Механізм відкривання та закривання заслінки може працювати у двох варіантах:

- за допомогою пневматичного циліндра, що встановлюється на корпусі нижнього стакана;
- або за рахунок переміщення ролика 6, закріпленого на заслінці, який рухається по копіру 7, відкриваючи або перекриваючи канал випуску.

Таке конструктивне рішення забезпечує високу надійність, простоту регулювання об’єму дози та зручність обслуговування. Стаканчикові дозатори застосовуються для фасування сипких і зернистих матеріалів, що мають стабільну плинність і невисоку злежуваність, а також у випадках, коли необхідна середня точність дозування при невеликих витратах матеріалу.

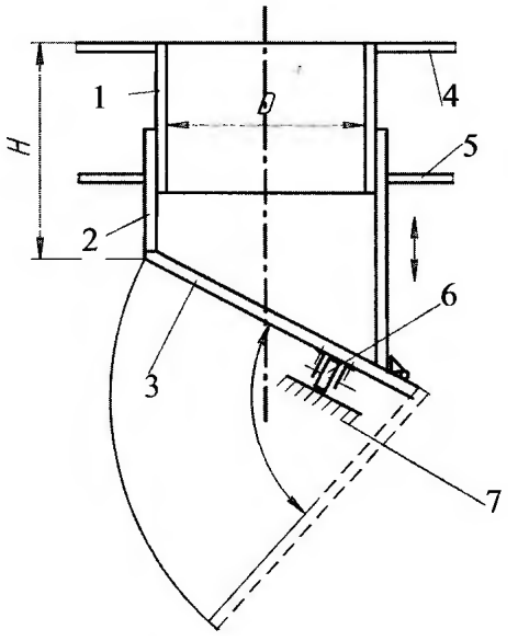

Рисунок 1.5 - Схема стаканчикового дозатора сипучої продукції

Стаканчикові дозатори найчастіше використовуються для легкоплинних і нев’язких сипких продуктів, таких як борошно, крупи, гранули або порошки. У випадках, коли необхідно дозувати зв’язано-текучі матеріали, у конструкцію вводять вібраційний пристрій, який створює

поперечні коливання стаканів. Такі коливання забезпечують повне й рівномірне заповнення мірної камери, а також ефективне її спорожнення, що сприяє підвищенню точності дозування та стабільності процесу.

Для характеристики стаканчикового дозатора визначальними є два геометричні параметри:

- D – внутрішній діаметр мірного циліндра, м;
- H – висота мірної ємності, м.

Експериментальні дослідження показали, що співвідношення висоти до діаметра (H/D) залежить як від виду продукції, так і від продуктивності дозатора, і зазвичай перебуває у межах 0,8–1,3. Більші значення цього співвідношення характерні для легкоплинних матеріалів та дозаторів із малою продуктивністю. Телескопічне розміщення стаканів забезпечує плавне регулювання дози, що дозволяє налаштовувати пристрій під конкретний вид матеріалу без зміни конструкції.

У пакувальних машинах стаканчикові дозатори можуть мати карусельне або лінійне компонування (рис. 1.6).

- Карусельний тип передбачає розташування мірних стаканів на обертовому диску, кількість яких може сягати 12 одиниць. Проте при збільшенні дози маса й діаметр диска також зростають, тому на практиці найчастіше застосовують 6–8 мірних ємностей.
- Лінійна схема компонування полягає у розташуванні стаканів у ряд, зазвичай по дві мірні ємності, які працюють почергово: одна камера заповнюється, тоді як інша спорожнюється. Такий підхід забезпечує безперервність процесу дозування при збереженні високої точності.

1.3.2. Дозатори шиберного типу

Шиберні дозатори за принципом формування дози подібні до стаканчикових, оскільки кількість продукції визначається об’ємом матеріалу, обмеженим мірним каналом між двома рухомими заслінками — верхнім і нижнім шиберами (рис. 1.7).

Під час формування дози нижній шибер 4 перекриває вихідний отвір дозатора, тоді як верхній 3 перебуває у відкритому положенні. Матеріал із бункера 1 під дією сили тяжіння заповнює мірний канал, після чого верхній шибер закривається, відсікаючи об’єм продукції, рівний заданій дозі. Після цього нижній шибер відкриває канал, і матеріал через лійку 5 потрапляє у тару або пакувальну ємність.

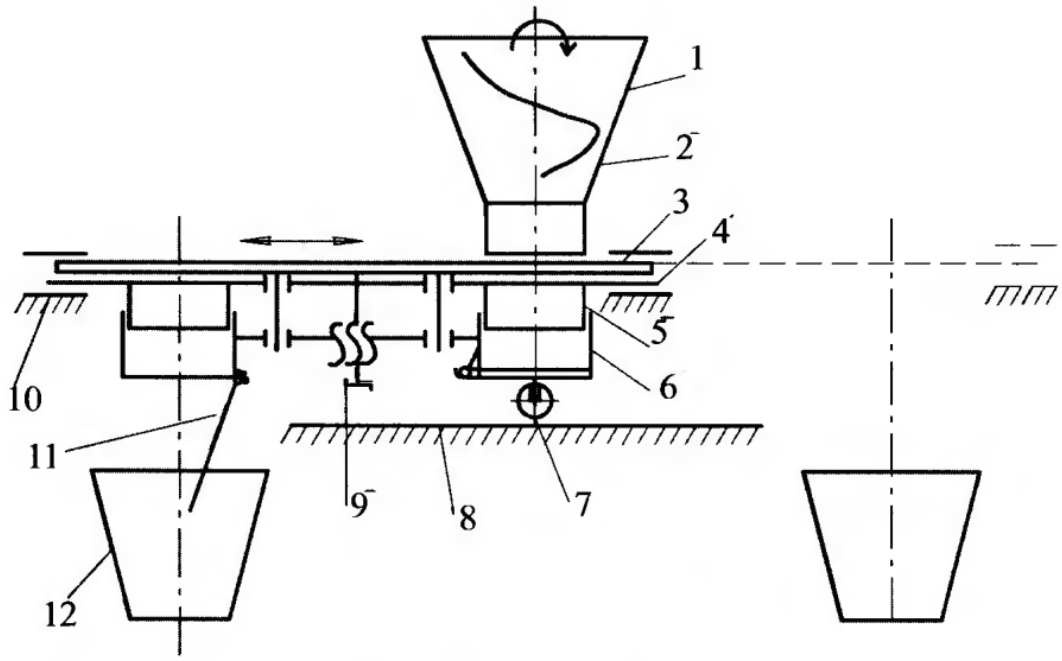

Рисунок 1.6 - Схема стаканчикового дозатора лінійного типу

1 – бункер-накопичувач; *2* – мішалка; *3* – верхній лист; *4* – нижній лист; *5* – верхній стакан; *6* – нижній стакан; *7* – ролик; *8* – копір; *9* – пристрій регулювання дози; *10* – напрямні; *11* – заслінка; *12* – лінійка

У більшості випадків рух шиберів здійснюється пневматичними приводами, які забезпечують зворотно-поступальне переміщення. Нижній шибер може бути виконаний аналогічно верхньому та мати зворотно-коливальний рух навколо вертикальної або горизонтальної осі, залежно від компоновки обладнання. Для регулювання об’єму дози часто застосовують телескопічні мірні канали, що дозволяють змінювати висоту дозувальної порожнини без зупинки машини.

Шиберні дозатори оптимально підходять для легкоплинних сипких матеріалів, частинки яких мають достатню твердість і низьку злежуваність. Вони характеризуються простотою конструкції, невибагливістю в експлуатації та достатньою точністю дозування у поєднанні з високою швидкістю циклу, що робить їх ефективними для автоматизованих пакувальних ліній.

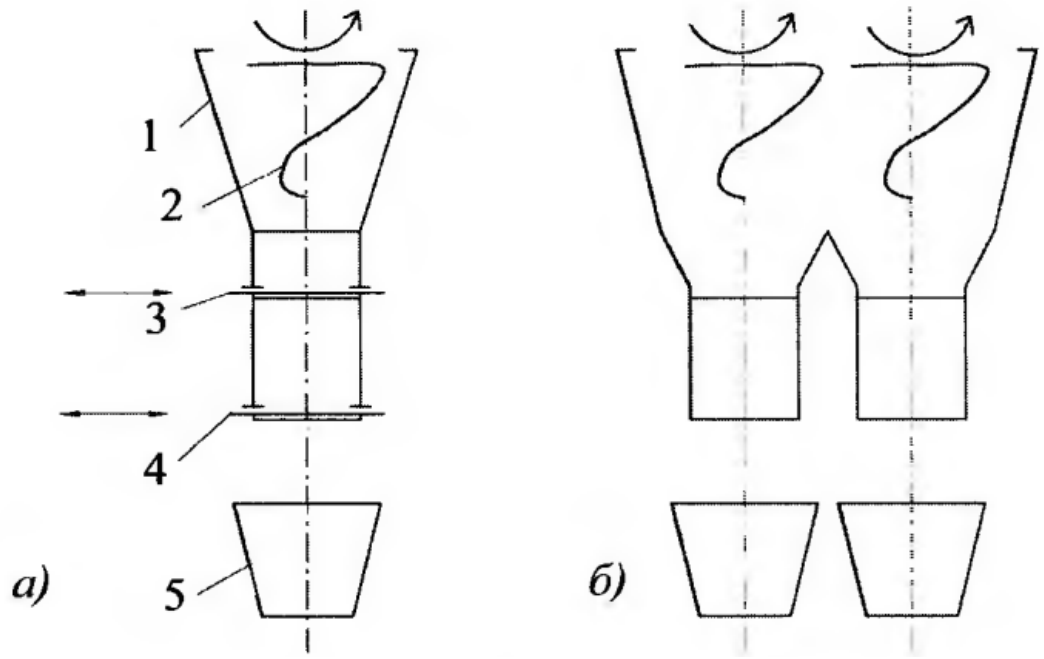

Рисунок 1.7 - Схема дозатора шиберного типу

а – однопозиційний; б – багатопозиційний; 1 – бункер; 2 – мішалка; 3,4 – відповідно верхній і нижній шибери; 5 – лійка

Для підвищення продуктивності пакувальних машин об’ємні дозатори часто встановлюють у ряд, об’єднуючи їх спільним бункером-накопичувачем. Така схема застосовується переважно у багатоканальних автоматах для фасування сипких матеріалів, де одночасно працює кілька дозувальних каналів.

Для забезпечення високої точності дозування необхідно підтримувати стабільний рівень матеріалу у бункері, запобігати утворенню склепів (арок) та забезпечувати постійну плинність і сталість реологічних властивостей продукту в процесі дозування.

1.3.3. Дозатори камерного типу

У технічній літературі дозатори цього типу можуть зустрічатися під різними назвами — барабанні, роторні або сегментні, однак загальна назва «камерний дозатор» найточніше відображає особливість конструкції мірної ємності.

Основна принципова відмінність камерного дозатора від стаканчикового та шиберного полягає у тому, що мірна камера (ємність) здійснює обертальний рух навколо горизонтальної осі (рис. 1.8).

У такій конструкції дозування відбувається за рахунок почергового заповнення і випорожнення камер, розміщених у обертовому роторі. Під час обертання одна камера перебуває у зоні завантаження, куди сипкий матеріал надходить із бункера, тоді як інша — у зоні розвантаження, де продукт висипається через нижній отвір у лійку або пакувальну тару.

Такий принцип забезпечує безперервність процесу, а також дає змогу досягати високої стабільності подачі матеріалу при мінімальних коливаннях маси дози.

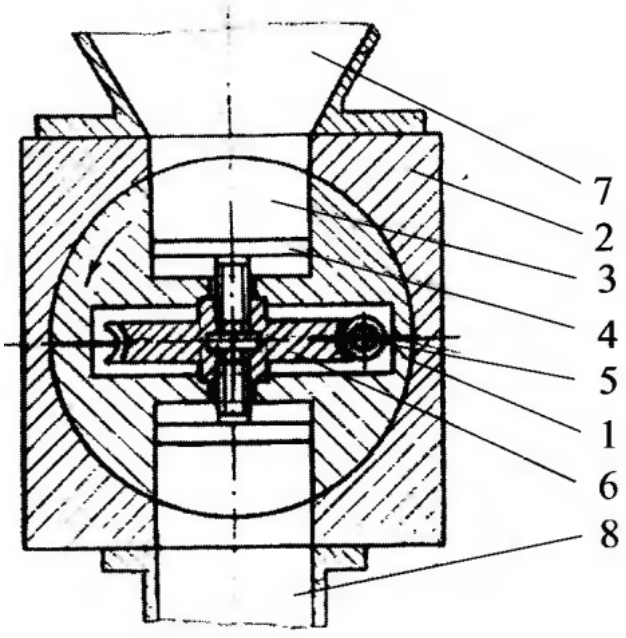

Рисунок 1.8 - Схема дозатора камерного типу

1 – циліндр (в даному випадку складається з двох половинок); *2* – корпус; *3* – отвори в циліндрі; *4* – денця; *5* – черв’як; *6* – колесо черв’ячної передачі; *7* – бункер; *8* – випускний канал

Камерний дозатор являє собою циліндричний ротор 1, який має один або кілька наскрізних співвісних отворів, розташованих перпендикулярно осі обертання. Усередині кожного отвору встановлені рухомі денця 4, що формують дно мірної камери. Денця можуть переміщуватися вздовж отворів за допомогою гвинтових або механічних приводів 5 і 6, зсуваючись чи розсуваючись, що дозволяє змінювати об’єм мірної ємності відповідно до заданої дози.

Регулювання об’єму дози здійснюється поздовжнім переміщенням денець у межах отворів. Циліндр обертається в корпусі 2 навколо горизонтальної осі, що забезпечує почергове заповнення та випорожнення камер. Під час обертання, коли мірна ємність займає верхнє положення, у неї через бункер 7 надходить матеріал. При подальшому повороті циліндра на 180° відбувається розвантаження дози у випускний канал 8, звідки продукт потрапляє у тару або фасувальну лійку. Одночасно протилежна камера в цей момент перебуває у позиції заповнення, що забезпечує безперервність процесу дозування.

Для важкоплинних або в’язких матеріалів конструкція дозатора модифікується: денця встановлюються вільно, без жорсткого кріплення, що дозволяє їм поступально рухатися вздовж осей отворів і примусово виштовхувати матеріал із мірної камери під час розвантаження. Це суттєво покращує спорожнення об’єму та зменшує залишки продукції на стінках.

Камерні дозатори найчастіше використовуються в автоматах для фасування дрібнодисперсних сипких продуктів у плоскі чотиришовні пакети, які формуються з двох полімерних стрічок, накладених одна на одну. Особливо ефективними є багатоканальні виконання, у яких одночасно працює кілька камерних вузлів. Завдяки цьому продуктивність пакувальних машин може досягати 150–180 доз/хв, що робить такі системи одними з найшвидших серед об’ємних дозаторів.

До недоліків камерних дозаторів належать:

- обмежена можливість регулювання дози під час роботи (у більшості конструкцій потрібна зупинка машини);
- ускладнене очищення внутрішніх поверхонь камер від налиплих частинок матеріалу, особливо під час роботи з порошкоподібною або в’язкою продукцією.

1.3.4. Дозатори маятникового типу

Дозатори маятникового типу застосовуються на пакувальних машинах аналогічного призначення, що й камерні, однак мають інший принцип подачі матеріалу.

Конструктивно дозатор складається з мірної ємності, усередині якої встановлена рухома заслінка-маятник (рис. 1.9). Під час роботи заслінка здійснює зворотно-поступальні коливання, почергово дотикаючись до протилежних стінок ємності 3.

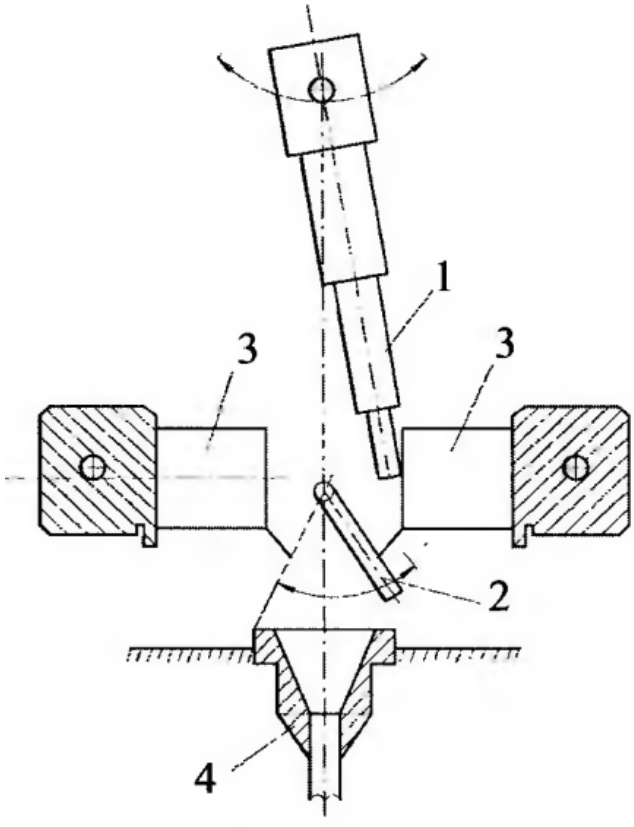

Рисунок 1.9 - Схема дозатора маятникового типу

1 – канал подачі продукції; *2* – маятник; *3* – мірні ємності; *4* – канал для переміщення продукції в упаковку

У момент, коли одна частина мірної камери закрита заслінкою, матеріал заповнює іншу половину об’єму. Після завершення циклу заслінка переміщується у протилежне положення, внаслідок чого перша частина ємності спорожнюється, а друга — заповнюється новою порцією продукції.

Такий принцип дозволяє реалізувати ритмічне, безперервне дозування, а також зменшити вплив нерівномірного сипання матеріалу з бункера.

Перевагами маятникових дозаторів є:

- плавність подачі та мінімальне травмування частинок матеріалу;
- стабільність маси доз при високій швидкодії;
- простота конструкції та зручність в обслуговуванні.

Такі дозатори часто застосовують для пакування сипких, гранульованих або зернистих продуктів у плоскі або об’ємні пакети.

Синхронізація рухів маятника 2 (заслінки) та каналу подачі матеріалу здійснюється за допомогою жорстких кінематичних зв’язків, найчастіше — через зубчасту передачу.

Тривалість одного циклу коливань маятника прямо пропорційна часу формування дози, тому, змінюючи частоту або період коливань, можна регулювати величину поданої дози за умови постійного потоку матеріалу.

Для підвищення точності дозування в деяких конструкціях маятникових дозаторів передбачено одночасне регулювання швидкості подачі продукції, що дозволяє компенсувати зміни густини або сипкості матеріалу.

Якщо маса дози формується виключно за рахунок часу подачі при постійному потоці, такі пристрої називають часовими дозаторами. У випадку, коли за певний інтервал часу змінюється інтенсивність потоку матеріалу, дозатор відносять до потокового типу. Подібні системи широко застосовують у високошвидкісних фасувальних автоматах, де важливо підтримувати узгодженість рухів робочих органів і сталість динамічних характеристик подачі.

1.3.5. Дозатори шнекового типу

Шнекові дозатори належать до найбільш ефективних конструкцій, призначених для дозування важкоплинних матеріалів, зокрема порошкоподібних, пилоподібних та дрібнодисперсних речовин. Такі матеріали характеризуються низькою плинністю, а також схильністю до злежування і злипання при незначному стисканні, тому їх дозування потребує спеціальних механізмів примусової подачі.

Забезпечити точність дозування подібних продуктів можна лише за допомогою шнекового механізму, який переміщує матеріал у контрольованому об’ємі вздовж осі обертання робочого органу.

Класична конструкція шнекового дозатора наведена на рис. 1.10.

Основними елементами є:

- завантажувальний бункер, у який надходить матеріал;
- шнек (гвинт), розташований у трубчастому корпусі;
- привід обертання, який задає швидкість подачі;
- випускний патрубок або лійка, через яку доза надходить у тару.

Шнековий дозатор може працювати у двох режимах:

- дискретному, коли кожен оберт шнека відповідає певній дозі матеріалу;
- безперервному, коли подача здійснюється неперервним потоком при сталих параметрах обертання.

Особливістю таких дозаторів є можливість точного керування об’ємом дози за рахунок регулювання швидкості обертання шнека, зміни його кроку або геометрії гвинтової поверхні.

Для роботи з матеріалами, схильними до злипання, конструкцію оснащують вібратором, розпушувачем або системою подачі стисненого повітря, що запобігає утворенню склепів і знижує опір руху частинок. Такі технічні рішення дозволяють підтримувати стабільність дозування навіть для продуктів із нестійкими реологічними властивостями.

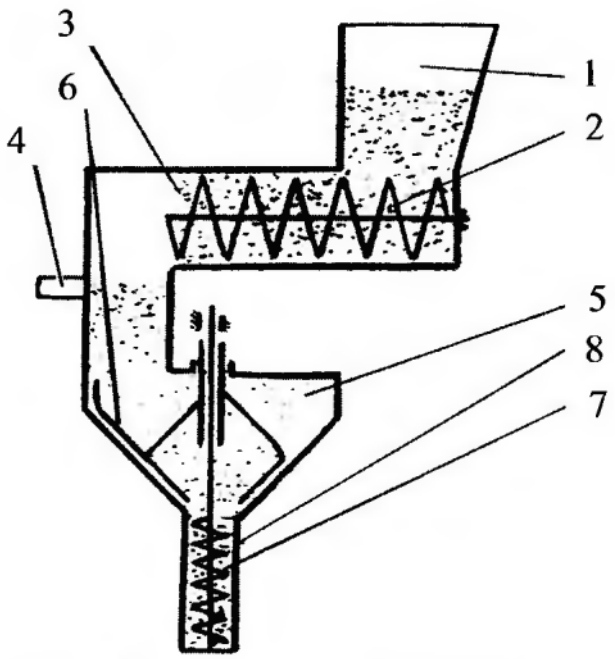

Рисунок 1.10 - Схема дозатора шнекового типу

1 – бункер; *2* – живильний шнек; *3* – проміжна ємність; *4* – датчик рівня продукції; *5* – конічний бункер; *6* – лопаті мішалки; *7* – дозувальний шнек; *8* – циліндричний патрубок

Конструкція шнекового дозатора (див. рис. 1.10) передбачає наявність конічного бункера 5, із якого за допомогою вертикального дозувального шнека 7 відбирається та подається порція сипкого матеріалу.

У верхній частині дозатора розташована проміжна ємність 3, у якій підтримується стабільний рівень матеріалу. Подача продукції до цієї ємності здійснюється за допомогою живильного шнека 2, який періодично вмикається для поповнення запасу матеріалу в проміжній зоні.

Усередині конічного бункера постійно обертаються лопаті мішалки 6, що запобігають злежуванню матеріалу та забезпечують рівномірне його надходження до зони захоплення дозувальним шнеком.

Таке рішення дозволяє уникнути утворення склепів, забезпечує стабільність потоку та підвищує точність дозування, особливо під час роботи з важкоплинними або злипальними матеріалами.

Величина поданої дози визначається геометричними параметрами шнека та кількістю його обертів.

Основними параметрами є:

- D - зовнішній діаметр шнека, м;
- d - внутрішній діаметр або діаметр вала, м;
- H - крок гвинтової поверхні, м.

Кількість матеріалу, що подається за один оберт, прямо залежить від різниці між зовнішнім і внутрішнім діаметрами, а також від кроку спіралі, який визначає об’єм простору, заповненого матеріалом у міжвитковому проміжку.

Отже, регулюючи швидкість обертання шнека або змінюючи його геометрію, можна точно встановлювати масу однієї дози.

Запропонований пристрій для дозування сипких матеріалів складається із завантажувального бункера з кришкою, порожнистого шнека, приводу дозатора, який включає електродвигун і ремінну передачу, а також корпуса з розвантажувальним отвором, пневмолінії та сальникового вузла.

Відмінною особливістю конструкції є те, що порожнистий шнек оснащено наскрізними отворами, через які подається стиснене повітря у робочий об’єм дозатора. Це дозволяє створити всередині камери псевдоожижений стан матеріалу, що значно покращує умови його подачі.

Корисна модель належить до обладнання для дозування сипких речовин і може ефективно використовуватися у харчовій, комбікормовій, сільськогосподарській та хімічній промисловості.

Відомі конструкції об’ємних шнекових дозаторів з горизонтальним розташуванням шнека [1] передбачають подачу матеріалу з бункера до внутрішнього об’єму корпусу, де він транспортується вздовж нерухомої стінки до вихідного патрубка. Проте така система має істотний недолік — перемелювання частини матеріалу, що призводить до ущільнення, підвищення опору руху та утворення зводів на поверхнях корпусу.

Ближчим аналогом є дозатор із вертикальним шнеком [2], який додатково оснащено пневмоімпульсним пристроєм, що подає стиснене повітря у зону завантаження. Цей елемент забезпечує часткове псевдоожиження матеріалу біля лопатей шнека, покращуючи його плинність. Недоліком є локальний характер дії — повітря впливає лише на невелику частину об’єму, не усуваючи злежування у нижніх шарах.

Метою вдосконаленої конструкції є зменшення кількості перемелюваного матеріалу та підвищення стабільності подачі шляхом створення псевдотекучого стану по всьому об’єму дозатора.

Для цього шнековий дозатор горизонтального типу оснащено порожнистим шнеком із наскрізними отворами, через які подається стиснене повітря безпосередньо в шар матеріалу. Повітря рівномірно розподіляється вздовж усієї довжини робочої зони, зменшуючи сили тертя між частинками та корпусом.

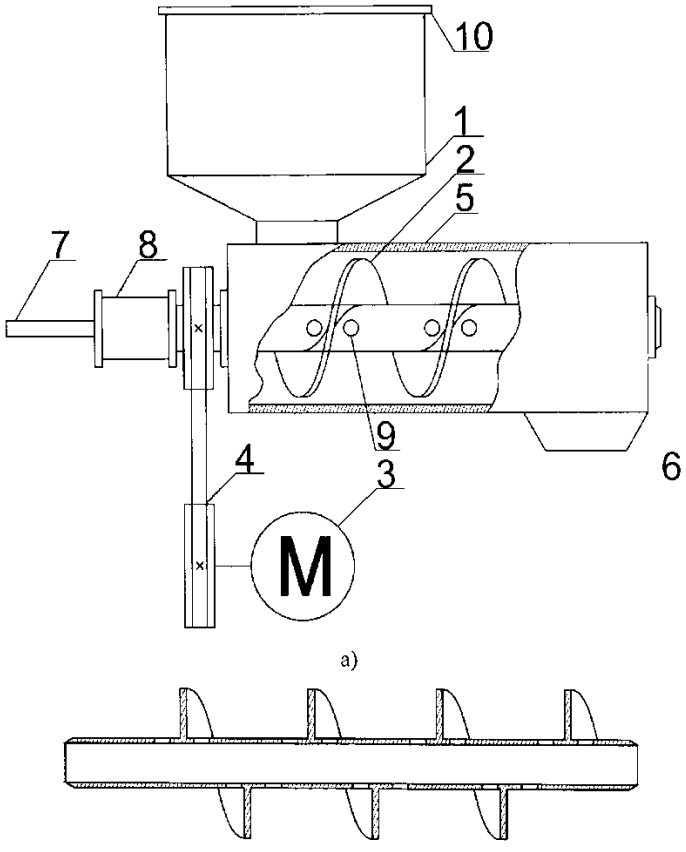

Рисунок 1.11 - Пристрій для дозування сипких матеріалів

На рис. 1.11 подано схему конструкції удосконаленого дозатора. Пристрій містить:

- завантажувальний бункер 1;
- порожнистий шнек 2;
- електродвигун 3;
- ремінну передачу 4;
- корпус 5;
- розвантажувальний отвір 6;
- пневмолінію 7;
- сальниковий вузол 8;
- наскрізні отвори 9 у шнеку;
- захисну кришку 10 бункера.

Під час роботи матеріал із бункера 1 потрапляє на витки шнека 2, який обертається від приводу (двигун 3, передача 4). Матеріал переміщується вздовж корпусу 5 і виходить через розвантажувальний отвір 6. Одночасно стиснене повітря з пневмолінії 7 через сальниковий вузол 8 подається у порожнину шнека і далі — через наскрізні отвори 9 до робочого простору дозатора. Потік повітря розпушує шар матеріалу, перетворюючи його на псевдотекуче середовище, яке легко транспортується вздовж каналу.

У результаті знижується опір руху частинок, зменшується перемелювання матеріалу, а виведення дрібнодисперсної фракції у вигляді пилоповітряної суміші запобігає ущільненню та утворенню зводів у бункері.

Таким чином, запропонована конструкція забезпечує:

- зменшення механічного впливу на матеріал;
- стабільну подачу сипких речовин навіть з низькою плинністю;
- зниження енергоспоживання приводу;
- підвищення довговічності та надійності дозатора.

Дозатори сипких продуктів типу ДСП (рис. 1.12)призначені для зважування та дозування сипких матеріалів у широкому діапазоні мас — від 0,25 до 600 кг. Виробництво цих дозаторів здійснюється за сучасними

технологіями з використанням нержавіючої сталі або вуглецевої сталі, покритої порошковою поліефірною оплавлюваною емаллю, що забезпечує високу корозійну стійкість і довговічність конструкції.

Дозатори комплектуються приймальними бункерами — швидкозбірними або зварними, об’ємом від 160 до 600 кг, і забезпечують точність зважування ±50 г на кожні 100 кг від дози продукту.

Конструкція може виконуватися у різних варіантах установки:

- підлоговому,
- настінному,
- стельовому — залежно від умов виробничого процесу.

Рисунок 1.12 - Дозатори сипких продуктів (ДСП)

Системи керування дозаторами оснащені ваговими терміналами, які забезпечують:

- автоматичне завантаження матеріалів із 1–7 різних бункерів;
- облік кількості доз та сумарної маси поданого продукту;
- можливість підключення до обчислювальної мережі підприємства через відповідний комунікаційний порт.

За бажанням замовника дозатори можуть комплектуватися поворотним відвідним рукавом (“хоботом”) довжиною до 2,5 м, який дозволяє розвантажувати продукт у декілька точок у межах кута до 210°. Крім того, можливе встановлення ручних, механічних або пневматичних заслінок для регулювання подачі продукту.

Дозатори типу ДСП застосовуються переважно в харчовій промисловості, де забезпечують автоматичне дозування продукту заданої маси та його подачу в технологічне обладнання різними видами транспортних систем:

- пневмотранспортом,
- аерозольним транспортом,
- механічними системами на основі жорстких або гнучких шнеків.

У мінімальній базовій комплектації дозатори типу ДСП оснащуються:

- тензометричними датчиками зважування,
- контролером або ваговим терміналом,
- розвантажувальним клапаном,
- елементами пневмосистеми,
- захисним кожухом.

Завдяки модульній конструкції дозатори ДСП можуть бути інтегровані в автоматизовані лінії фасування, змішування та транспортування сипких матеріалів, забезпечуючи високу точність, продуктивність і надійність роботи.

Таблиця 1.3 - Технічні параметри та характеристики дозаторів

Параметр	Позначення / Одиниця виміру	Значення
Діапазон дозування	кг	0,25 – 600
Об’єм робочого бункера	л	25 – 630
Діаметр бункера	мм	400 / 600 / 800 / 1000
Довжина розподільника	мм	500 – 2500
Кут нахилу спіралі	°	15
Сектор обертання розподільника	°	0 – 270
Тип заслінки	—	дискова поворотна
Привід заслінки	—	електромеханічний / пневматичний / ручний
Система зважування	—	трьохдатчикова тензометрична рама
Точність дозування	%	±0,05 – ±0,5
Матеріал виконання	—	нержавіюча або вуглецева сталь з порошковим покриттям
Варіанти установки	—	підлоговий / настінний / підвісний
Керування	—	ручне, автоматичне або дистанційне
Вага дозатора (без бункера)	кг	150 – 450

Конструкція дозатора сипких матеріалів типу ДСП передбачає наявність ряду основних вузлів, які забезпечують його надійну роботу, точність дозування та зручність експлуатації. До складу входять:

- Бункер дозатора — робочий об’єм від 25 до 630 л, що забезпечує стабільне накопичення та подачу матеріалу. Виконується з нержавіючої або вуглецевої сталі. Діаметр бункера може становити 400, 600, 800 або 1000 мм, залежно від продуктивності та типу сировини.

- Поворотний спіральний розподільник із приводом, розташований під кутом 15° вгору. Його довжина становить від 500 до 2500 мм, а сектор обертання — 0–270°. Цей елемент забезпечує рівномірне розподілення дозованого матеріалу у напрямку розвантаження.
- Дискова поворотна заслінка — керувальний елемент, який виконує функцію регулювання потоку матеріалу. Залежно від комплектації, заслінка може мати електромеханічний, пневматичний або ручний привід, що дозволяє адаптувати роботу дозатора до конкретних умов технологічного процесу.

Дозатори сипких матеріалів типу ДСП мають широкий спектр технічних та експлуатаційних переваг, що зумовило їхнє широке застосування у харчовій, комбікормовій, хімічній та будівельній промисловості. Основні з них наведено нижче.

- Широкий модельний ряд. Виробнича серія дозаторів охоплює широкий діапазон робочих об’ємів, мас дозування та варіантів комплектації, що дає змогу підбирати обладнання під конкретні виробничі потреби.
- Точний облік за кожним компонентом. Кожен продукт, який проходить через дозатор, зважується індивідуально, що забезпечує достовірний контроль технологічного процесу й точний облік витрат сировини.
- Висока точність дозування. Тензометрична система дозволяє підтримувати похибку в межах ±0,1 %, що особливо важливо при складанні рецептур комбікормів і змішуванні харчових інгредієнтів.
- Ефективне руйнування зводів. Конструкція бункера передбачає систему активного обрушення зводів, завдяки якій запобігається залипання або зависання матеріалу на стінках.
- Оптимальна геометрія бункера. Гострий кут конічної частини сприяє повному розвантаженню набраної дози та зменшує залишки матеріалу після циклу подачі.

Таблиця 1.4 - Технічні характеристики дозаторів сипких продуктів типу ДСП

№ з/п	Найменування параметра	Значення параметра	
		ДСП-03	ДСП-04
1	Продуктивність, кг/год, не більше	4000*	3600*
2	Ємність приймального бункера дозатора, л, не більше	730	540
3	Споживана потужність електроприводу заслінки, кВт	0,55	0,55
4	Номінальна напруга живлення, В	~380	~380
5	Похибка зважування дози, %, не більше	0,1	0,1
6	Габаритні розміри дозатора, мм, не більше:		
	— довжина	3250	3250
	— ширина	2200	2200
	— висота	9500	5000
7	Маса дозатора, кг, не більше	800	700
8	Максимальний струм, А	16	16
9	Частота струму, Гц	50	50
10	Клас точності вимірювання за ДСТУ 29329	Середній	Середній
11	Тиск у магістралі додаткових пневматичних виконавчих механізмів, МПа	0,6…1,0	0,6…1,0
12	Витрата повітря в магістралі додаткових пневматичних виконавчих механізмів, не більше, л/хв	30	30

 Герметичність конструкції. Усі з’єднання ущільнені, що забезпечує чистоту робочої зони, зменшує запиленість та втрати продукту.

 Трьохдатчикова тензометрична система.

Така конструкція забезпечує:

• стабільність метрологічних характеристик дозатора;

• високу точність дозування й обліку;

• механічну жорсткість і стійкість до вібрацій;

• вільний доступ до верхньої частини бункера, що дозволяє встановлювати обладнання подачі продуктів через один центральний отвір Ø 250 мм.

Поворотний спіральний розподільник (розвантажувач):

• забезпечує рівномірне розвантаження продукту з мінімальним пиловиділенням;

• дозволяє подавати матеріал у кілька точок у секторі повороту 0…270°;

• реалізує вираховуючий принцип дозування, тобто автоматичне коригування ваги дози в реальному часі.

Сучасна система керування.

Використання спеціалізованих вагових контролерів типу «АГРО-КОМП» дає змогу створювати одно- та багатокомпонентні рецептурні дозувальні станції (від 1 до 9 компонентів) з повною автоматизацією процесу, реєстрацією даних і можливістю підключення до загальної мережі управління підприємства

2. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Програма досліджень

В основі розробки і проектування нових технологій і техніки, здійснення оптимізації їх експлуатаційних характеристик лежить науковий підхід до виявлення взаємозалежності ключових параметрів, їх впливу на кінцевий результат взаємодії на оброблюваний продукт. Для такого вирішення питання необхідно всебічно підійти до вивчення об’єкта дослідження. Необхідно усвідомити сутність технологічного процесу, що протікає в конкретній машині або апараті, чинники, які впливають на характер протікання цього процесу та багато інших супутніх положень, без яких реальне удосконалення існуючих машин і технологій, і особливо, розробка нових технічних засобів є неможливою.

В даній кваліфікаційній роботі здійснюється аналіз конструктивної структури дозатора сипкої сировини зі складовими різної конфігурації з метою виявлення його оптимальних параметрів для заданих умов проектування. Для цього необхідно здійснити наступні кроки:

1. Дослідити сучасні тенденції розвитку і проектування дозаторів.

2. Виявити можливі напрямки удосконалення засобів дозування сировини.

3. Провести теоретичний аналіз процесу дозування на обладнанні з різним принципом дії.

4. На основі існуючих конструктивних рішень дослідити конструктивну схему двошнекового дозатора сипкої сировини.

5. Провести моделювання технологічних і конструктивних параметрів дозатора.

6. Зробити висновки з виконаної роботи.

2.2 Методика розрахунку шнекових дозаторів

2.2.1 Призначення та область застосування

Шнекові дозатори застосовують для безперервного та порційного дозування сипких матеріалів (сипка сировина, зола, борошно, комбікорм, гранулят). Переваги: компактність, простота конструкції, можливість тонкого керування подачею; недоліки: чутливість до плинності матеріалу, до утворення «зводів» і до коливань коефіцієнта заповнення η\etaη.

Вихідні дані та класифікація матеріалу

- Матеріал: насипна густина ρ (кг/м³), гранулометрія (d10–d90), кут природного укосу φ, вологість, абразивність, злипання, електростатика.
- Режим: безперервний/порційний; цільова подача Qзад (кг/с або т/год), вимоги до точності ε і рівномірності (CV).
- Умови: орієнтація осі (кут β), ліміт шуму/пилу, доступна потужність, компоновка, наявність аспірації/аерації.
- Керування: об’ємне / вагове; ПЧ (VFD); «вираховуючий» чи «досипний» принцип.

Класи плинності (орієнтовно):

A - вільноплинні (сіль, цукор), B - помірні (сипка сировина), C - злипкі (мокрі порошки), D — волокнисті. Для класів B–C бажані: двошнекова схема, аерація/вібрація бункера, гострий конус.

Конструктивна схема та вибір базових параметрів

- 1-шнековий - простіший, для вільноплинних матеріалів.
- 2-шнековий (співобертові) - кращий захват і розрихлення; менше ризику «містків»; вища стабільність η.
- Зустрічно-обертові - ще агресивніше розрихлення, але складніший привід.

Геометрія (рекомендації для дозаторів)

- Зовнішній діаметр D: 60–160 мм (часто 80–120 мм).

- Внутрішній діаметр (вал) d: d/D=0,25…0,35 (жорсткість та кріплення лопатей).
- Крок s: s/D=0,8…1,2 (типово s=D).
- Довжина робочої частини L: 0,2–0,6 м (залежно від компоновки).
- Зазор шнек–корпус δ: 0,2–0,6 мм (менший - точніше, але знос).
- Орієнтація: горизонт (β=0°) - пріоритет для дозування; при нахилі враховують cos⁡β.

Приймальний бункер

- Конус з гострим кутом 55–70°, мінімізація «мертвих зон».
- Вихідна горловина за методиками Дженіке (diameter–height ratio); для сипучих матеріалів - широка горловина + аерація або вібрація.
- Обов’язково: оглядові люки, фланці під аспірацію, «глухих кутів» уникати.

2.2.2 Розрахунок подачі (продуктивності)

Об’єм за один оберт

$$V_{\text{rev}} = \frac{\pi}{4}\left(D^2 - d^2\right) s \tag{2.1}$$

де D, d, s - у метрах.

Об’ємна та масова подача

$$Q_V = \eta\, V_{\text{rev}}\, n\, \cos\beta, \qquad n \text{ — об/с}$$

$$Q_m = \rho\, Q_V \quad [\text{кг/с}], \qquad Q_{\text{т/год}} = 3{,}6\, Q_m/1000 \tag{2.2}$$

Поправка для двошнекової схеми

Взаємодія гвинтів збільшує ефективність захвату:

$$Q_m^{(2)} = k_{tw}\, \rho\, \eta\, V_{\text{rev}}\, n \cos\beta, \quad k_{tw} \approx 1{,}7 \ldots 2{,}0 \tag{2.3}$$

η - ключовий параметр; для сипкої сировини без аерації 0,30–0,45; з аерацією/вібруванням — 0,40–0,55.

Підбір частоти обертання

Виконуємо вимогу Qm≥Qзад і знаходимо:

$$n = \frac{Q_{\text{зад}}}{\rho\,\eta\,V_{\text{rev}}\cos\beta} \quad (1\ \text{шнек}), \qquad n = \frac{Q_{\text{зад}}}{k_{tw}\rho\,\eta\,V_{\text{rev}}\cos\beta} \quad (2\ \text{шнеки})$$

Перевірка: nnn у межах 30–120 об/хв для точного дозування (для «грубих» подач — до 150 об/хв). Якщо ні — коригуємо D або s.

Час перебування і рівномірність

Осьова швидкість: $v_{ax} \approx s \cdot n$.

Середній час перебування:

$$t_{\text{res}} = \frac{L}{s\,n} \tag{2.4}$$

Рекомендація для порційного дозування: t_{res}=2…3 с — достатнє осереднення потоку; менше 2 с — зростають пульсації, понад 4–5 с — інерція дозування при зупинці.

Оцінка потужності та крутного моменту (інженерне наближення)

- Загальна ідея балансу: P≈Рпідйом+Ртертя+Рзміш.
- Для горизонтального дозатора підйом малий, переважають втрати на тертя/зсув. Зручно користуватись емпіричною оцінкою моменту:

$$M \approx k_M\,Q_m\,D, \quad P = \frac{2\pi n M}{\eta_{\text{ред}}} \tag{2.5}$$

де k_M - питомий коефіцієнт (визначається досвідом для матеріалу/шнека), $\eta_{ред}$ - ККД редуктора (0,9…0,95). Запас: P, M беруть із коефіцієнтом 1,2–1,3; перевірити вал на кручення/вигин і підшипники на динамічне навантаження.

2.2.3 Точність і рівномірність дозування

Джерела похибок (об’ємні схеми)

- Зміна ρ і η (вологість, аерація, злежування).
- Пульсації потоку (надто малий tres, великий s, зазори).
- Коливання швидкості n без ПЧ.

Як зменшити похибку

- Стабілізувати завантаження (гострий конус, вібратор, аерація).
- Підібрати s/D≈1,0 та δ мінімально прийнятну.

- Застосувати двошнекову схему (краще заповнення).
- Для високої точності — ваговий зворотний зв’язок (тензодатчики), ПІД-регулятор подачі.

ПІД-настройка (коротко)

- Ціль: мінімізувати статичну похибку (І-ланка), обмежити перерегулювання (D), забезпечити швидку реакцію (Р).
- Для «досипання» — профіль: груба подача (високий n) → наближення до цілі → тонка подача (низький n) → стоп.

Приймальний бункер: протидія «зводоутворенню»

- Розрахувати/підібрати горловину за методиками Дженіке; для сипкої сировини — збільшити отвір + забезпечити аераційні вставки.
- Вібратори з регульованою амплітудою; поворотний розподільник («хобот») для рівномірного розвантаження.
- Внутрішні поверхні — із низьким коефіцієнтом тертя (вкладиші, полімерні покриття).

Вибір приводу, редуктора і ПЧ

1. Розрахувати робочу nnn на валу шнека → підібрати редуктор за передаточним числом iii.
2. Перевірити: пускові моменти, спрацювання захистів, гальмування (для порційного режиму).
3. ПЧ (VFD): плавний розгін/стоп, режим «досипання», завдання по аналоговому/польовому інтерфейсу, індикація аварій.

Калібрування та підтвердження точності

- Статична калібровка: еталонні вантажі; багатоточкова шкала (мін. 3–5 точок).
- Динамічна: серії зважувань порцій (10–20 вимірів/точка), обчислення середньої похибки ε та CV.
- Оформити «паспорт точності»: $\varepsilon_{сер}$, CV, графік залишкових (Bland–Altman або barplot), умови випробувань.

Перевірка на знос і ремонтопридатність

- Лопаті: товщина, матеріал, зносостійкі накладки (для абразивів).
- Сальникові вузли/манжети: пилозахист; можливість швидкої заміни.
- Демонтаж/очистка: знімні кришки, сервісні люки, стандартні кріплення.

Приклад розрахунку (сипка сировина, двошнековий)

Задано:

$Q_{зад} = 2{,}5$ т/год $= 0{,}694$ кг/с;

$D = 0{,}09$ м, $d = 0{,}025$ м, $s = 0{,}09$ м;

$\rho = 1200$ кг/м^3, $\eta = 0{,}40$, $\beta = 0°$, $k_{tw} = 1{,}9$; $L = 0{,}296$ м.

1. $V_{rev} = \frac{\pi}{4}(0{,}09^2 - 0{,}025^2) \cdot 0{,}09 \approx 5{,}34 \cdot 10^{-4}$ м^3/об.
2. Подача на 1 об/с для 1 шнека: $\rho\eta V_{rev} \approx 0{,}257$ кг/с.
3. Два шнеки з k_{tw}: $Q_m \approx 0{,}257 \cdot 1{,}9 \cdot n = 0{,}488\,n$ кг/с.
4. Потрібне $n = 0{,}694/0{,}488 \approx 1{,}42$ об/с $= 85$ об/хв.
5. $t_{res} = L/(s\,n) = 0{,}296/(0{,}09 \cdot 1{,}42) \approx 2{,}3$ с
   - у рекомендованому діапазоні.

Привід: перевірити момент/потужність; вибрати двигун із запасом 25 %; ПЧ для «грубої/тонкої» подачі.

Наведені формули - інженерні; для критичних застосувань (медична, харчова із високими вимогами, вибухонебезпечні пилоповітряні суміші) потрібна перевірка за галузевими нормами, врахування ATEX, вимірювання реальної η на пілотних випробуваннях.

2.3 Методика розрахунку об’ємних дозаторів

Основними критеріями при проведенні технологічного розрахунку об’ємних дозаторів періодичної дії є визначення їх продуктивності та питомих енерговитрат [1, 2]. Оскільки такі дозувальні пристрої працюють у режимі подачі окремих доз, для них характерним показником виступає одинична (штучна) продуктивність.

Штучну продуктивність доцільно розраховувати за співвідношенням:

$$Z = \frac{k}{t_\Sigma}, \tag{2.6}$$

де, k - кількість дозувальних механізмів, що одночасно беруть участь у формуванні дози продукції; t_Σ — сумарний час формування, зважування та подачі дози у споживчу тару, с.

Тривалість робочого циклу дозатора зазвичай визначають на основі циклограми його роботи, де враховано послідовність і тривалість усіх технологічних операцій. Під час проєктування розрахунок проводять із урахуванням повного часу одного циклу, який охоплює проміжок від моменту початку заповнення мірної ємності до закінчення її випорожнення під час подачі наступної дози.

Наприклад, для дозаторів періодичної дії тривалість циклу включає такі складові:

$$t_\Sigma = t_1 + t_2 + t_3 + t_4, \tag{2.7}$$

де, t_1 - час заповнення мірної ємності продуктом, який визначають за довідковими даними або встановлюють експериментальним шляхом для конкретного виду матеріалу, його стану та конструктивного виконання дозатора, с;

t_2 - час переміщення мірної ємності з положення заповнення у положення розвантаження, с;

t_3 - час розвантаження мірної ємності, с;

t_4 - тривалість передавання керувальних сигналів на включення або вимикання окремих етапів дозування, у першому наближенні приймається в межах 0,5–0,7 с.

Результати експериментальних досліджень показують, що тривалість етапу заповнення t_1 є значно меншою, ніж тривалість вивантаження t_3.

Для дозаторів карусельного типу (стаканчикових), шнекових і маятникових конструкцій процеси заповнення та розвантаження відбуваються одночасно під час обертання мірних ємностей, тобто частково

накладаються у часі. Це дає підстави при виконанні проектних розрахунків приймати, що тривалість заповнення t_1 можна не враховувати у загальному балансі часу циклу дозування.

Тривалість операції вивантаження мірної ємності, яка визначає основну частину циклу, можна розрахувати за залежністю:

$$t_3 = \frac{W}{\Pi}, \tag{2.8}$$

де, W – об'єм дози, м^3; $\Pi=\mu_0 f_{eff}\, v$ – пропускна здатність випускного каналу мірної ємності, м^3/с; μ_0 – коефіцієнт втрати швидкості переміщення частинки порівняно з вільним гравітаційним падінням за рахунок тертя; f_{eff} – ефективна площа ємності, для циліндричної ємності маємо

$$f_{eff} = \frac{\pi D^2}{4}, \text{ м}^2; \tag{2.9}$$

D – внутрішній діаметр мірного стакана, м; $v = 2gH$ – швидкість вільного падіння частинки у момент її контакту з приймальною поверхнею (лінійкою), м/с, м/с; H – висота мірного стакана (ємності), м.

Під час розвантаження сипкого матеріалу виникають втрати енергії внаслідок тертя, що зумовлені низкою факторів: – внутрішнім тертям між частинками матеріалу; – силами зчеплення між окремими частками; – тертям частинок об поверхню стінок мірної ємності.

Для врахування цих втрат у розрахунках використовують коефіцієнт тертя, який визначають експериментально. Для легкоплинних матеріалів його значення зазвичай приймається у межах 0,7–0,9.

Наведені вище залежності для визначення тривалості вивантаження мірної ємності коректні для випадків, коли рух сипкої маси має характер гідравлічного (вільного) переміщення. Якщо ж процес розвантаження відбувається іншим способом — наприклад, шнековим, вібраційним або примусовим подаванням, — то для розрахунків необхідно застосовувати емпіричні формули, які враховують структурно-механічні властивості матеріалу (гранулометричний склад, плинність, вологість, адгезію тощо).

Тривалість переміщення мірної ємності з положення заповнення у положення вивантаження визначають, виходячи з припущення про сталий характер руху при карусельному компонуванні дозатора, тобто (ω, *v* = const)

$$t_2 = \frac{\varphi_0}{\omega}, \tag{2.10}$$

де, $\varphi_0 = \frac{2\pi}{m_0}$ – кут розташування мірних ємностей, рад; m_0– кількість мірних ємностей в дозаторі; ω=2πn – кутова швидкість обертання каруселі, рад/с; n – частота обертання каруселі, $с^{-1}$.

У разі лінійного компонування мірних ємностей, маємо

$$t_2' = \frac{L}{v}, \tag{2.11}$$

де, L - відстань між центрами мірних ємностей у положеннях заповнення та вивантаження, м;

v - лінійна швидкість переміщення мірної ємності при сталому русі, м/с.

У практичних умовах вихідними даними для проектування дозатора є такі параметри:

– необхідна продуктивність установки;

– тип і фізико-механічні властивості дозованого матеріалу;

– величина дози;

– вид та об’єм тари, у яку подається продукт.

Виходячи з цих параметрів, для карусельного компонування дозатора визначають кількість мірних ємностей, які одночасно беруть участь у процесі дозування, при заданій частоті обертання каруселі. Для лінійного компонування основним параметром розрахунку виступає лінійна швидкість переміщення мірних ємностей вздовж робочої траєкторії.

На етапі попереднього проектування, коли необхідно оцінити енергетичні витрати приводу, розрахунки можуть виконуватись за спрощеними залежностями. Так, для дозаторів карусельного типу зі

стаканчиковими мірними ємностями потужність приводу можна визначити за виразом

$$N = \frac{T\omega_c}{1000\eta}, \text{ кВт}, \tag{2.12}$$

де, T – крутний момент на приводному валі каруселі, Нм; ω_c – кутова швидкість обертання каруселі за сталого режиму руху, $с^{-1}$; □ – механічний ККД приводу.

В свою чергу крутний момент T на приводному валу визначається співвідношенням

$$T = k_1 k_2 \sum M_0 , \tag{2.13}$$

де, k_1=1,05–1,1 – коефіцієнт, що враховує подрібнення частинок сипучого матеріалу; k_2 – коефіцієнт, що враховує динамічну складову в момент початку руху каруселі (для періодичної дії), приймають рівним k_2=1,2–1,4; □$M_0=M_1+M_2+M_3$ – сумарний статичний момент опору переміщенню каруселі, Нм; M_1 – момент опору в підшипниках вертикального валу каруселі, Нм;

$$M_2 = k_3 N_2 \frac{2k}{r_p} R_1 \tag{2.14}$$

M_2– Момент опору переміщенню роликів заслінок мірних ємностей по копіру визначається з урахуванням сил тертя, ваги рухомих частин та геометрії копіра і позначається як, Нм; N_2– нормальна реакція копіра, яка виникає внаслідок тиску ролика на його поверхню. Її величина залежить від маси сипкого матеріалу у мірній ємності, власної ваги заслінки, розташування ролика, його розмірів і форми профілю копіра, Нм; k_3=1,02–1,05 – коефіцієнт урахування додаткового опору, що зумовлений налипанням частинок матеріалу на поверхню копіра; k– коефіцієнт кочення ролика по поверхні копіра (визначається експериментально, залежить від матеріалу ролика і шорсткості копіра); r_p– радіус ролика, м; R_1– радіус траєкторії руху ролика заслінки відносно центрального вертикального вала приводу, м; M_3 =

$F_0\, pf_c\, R_2$ — момент опору від переміщення шарів сипучої продукції в момент виходу стаканчика із зони його наповнення, Нм; ρ– тиск продукції в бункері на частину верхнього диску визначається за формулою Янсена, Па

$$p = \frac{R_g \rho}{f_c K}, \tag{2.15}$$

де, Rg – гідравлічний радіус випускного отвору бункера (м), визначається як

$$R_g = \frac{F_0}{\Pi_0}, \tag{2.16}$$

де, F_0 – площа випускного отвору бункера, м^2; $П_0$ – периметр випускного отвору бункера, м; ρ – густина сипучого матеріалу в бункері, кг/м^3; fc – коефіцієнт внутрішнього тертя сипучої продукції; K – коефіцієнт переміщення продукції, визначається як

$$K = \frac{1-\sin\varphi}{1+\sin\varphi}, \tag{2.17}$$

де, □– кут природного укосу сипучої продукції, що піддається пакуванню, рад.

Для лінійного компонування дозатора потужність приводу визначється формулою

$$N = \frac{Pv}{1000\eta}, \text{ кВт}, \tag{2.18}$$

де, P – рушійна сила приводу, яка визначається за формулою

$$P = k_1 k_2 \sum_i F_i, \text{ Н}, \tag{2.19}$$

де, k_1, k_2– коефіцієнти коригування, які враховують відповідно подрібнення частинок сипкого матеріалу під час їх переміщення та динамічну складову навантаження у момент початку руху каретки; ∑Fi — сумарний опір переміщенню каретки з мірними стаканами із положення заповнення в положення розвантаження, Н.

До складу ∑Fi входять ті ж компоненти, що і при розрахунку карусельного дозатора, за винятком моменту опору М1, оскільки в цьому випадку розглядається рух каретки в горизонтальній площині, а не обертання вала каруселі. Опір формується силами тертя в напрямних, масою дозувальних стаканів, інерційними навантаженнями та реакцією з боку приводу.

Запропонована методика інженерного розрахунку дозаторів об’ємного типу дає можливість отримати необхідні вихідні дані для компонування, вибору параметрів приводу та проектування пакувальних машин.

На її основі визначають продуктивність, тривалість циклу дозування, потужність електродвигуна та оптимальні геометричні параметри мірних ємностей. Це дозволяє ще на етапі проєктування забезпечити високу точність дозування, економічність та надійність роботи обладнання.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

3.1 Дослідження конструктивних параметрів двошнекового дозатора сипкої сировини

Двошнековий дозатор призначений для подачі та високоточного дозування сипких матеріалів та дрібнодисперсних порошкоподібних речовин. Його конструкція забезпечує стабільну та рівномірну подачу матеріалу, запобігає утворенню «містків» і злежуванню продукту в бункері. Пристрій широко застосовується у технологічних лініях для фасування сипких продуктів, підготовки будівельних сумішей, комбікормів, мінеральних добавок тощо.

Конструктивне виконання

Дозатор складається з металевого корпусу, до якого приєднані вхідний та вихідний патрубки, розвантажувальний отвір, захисна кришка, а також два паралельно розташовані шнеки. Обидва шнеки обертаються у протилежних напрямках, завдяки чому відбувається активне перемішування сипкої маси та запобігається її ущільненню. Привідна система складається з електродвигуна, редуктора та передавального механізму, який забезпечує синхронне обертання обох гвинтів.

Таке компонування дозволяє ефективно транспортувати навіть важкоплинні матеріали, підтримуючи рівномірний рух частинок уздовж корпусу. Матеріал не прилипає до стінок і не утворює застійних зон, що забезпечує стабільну продуктивність дозатора.

Принцип роботи

Під час роботи сипка сировина з накопичувального бункера надходить у зону захоплення шнеків. Обертові гвинти переміщують матеріал уздовж корпусу до випускного патрубка, де він подається у тару або наступний елемент технологічної лінії. Кількість поданого матеріалу залежить від частоти обертання шнеків та їх геометричних параметрів (зовнішній діаметр,

крок витка, довжина робочої зони). Завдяки синхронній роботі двох шнеків забезпечується стала витрата продукту, рівномірний потік і висока точність дозування.

Рисунок 3.1 - Дозатор сипкої сировини

Функціональне призначення

- Дозатор використовується для фасування дрібнодисперсних сипких продуктів у мішки або іншу тару.
- Може працювати як у режимі дозування за брутто, так і за нетто.
- Передбачено попереднє налаштування чотирьох різних доз із можливістю збільшення їх кількості в процесі експлуатації.
- Забезпечується автоматичний облік кількості доз або мішків, сформованих у кожному режимі роботи.
- Є індикація поточної маси продукту під час заповнення мішка та фіксація фактичної маси після завершення циклу дозування.
- Конструкція передбачає монтаж дозатора безпосередньо на накопичувальний бункер та оснащення системою пилоуловлювання, що забезпечує відведення і утилізацію пилу.

Таким чином, двошнековий дозатор поєднує високу точність, стабільність подачі та надійність роботи, що робить його ефективним елементом автоматизованих дозувальних і фасувальних систем.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики двошнекового дозатора сипкої сировини

№	Показник	Позначення	Од. виміру	Значення	Примітка
1	Кількість шнеків	–	шт.	2	співобертові
2	Зовнішній діаметр шнека	D	мм	90	згідно креслення
3	Діаметр вала	d	мм	25	–
4	Крок гвинтової лінії	s	мм	90	s/D=1,0s/D = 1{,}0s/D=1,0
5	Довжина робочої частини	L	мм	296	–
6	Кут нахилу осі шнека	β	град	0	горизонтальне розташування

№	Показник	Позначення	Од. виміру	Значення	Примітка
7	Коефіцієнт заповнення міжвиткового простору	η	–	0,40	експериментально
8	Частота обертання шнеків	n	об/хв	90	номінальний режим
9	Насипна щільність матеріалу	ρ	кг/м³	1200	сипка сировина
10	Поправочний коефіцієнт взаємодії шнеків	k_tw	–	1,90	для двох шнеків
11	Теоретична продуктивність	Q_n	т/год	1,48	при η = 0,4
12	Середній час перебування матеріалу	tres	с	2,2	при n = 90 об/хв
13	Діаметр завантажувального отвору	$D_{(вх)}$	мм	160	згідно креслення
14	Діаметр вивантажувального отвору	$D_{(вих)}$	мм	120	–
15	Габаритна довжина дозатора	$L_{(заг)}$	мм	914	з фланцем
16	Висота дозатора	H	мм	1600	±50 мм
17	Матеріал корпусу	–	–	Сталь конструкційна	із захисним покриттям
18	Тип привода	–	–	Електродвигун через редуктор	спільний для двох шнеків
19	Рекомендована потужність двигуна	N_n	кВт	1,5–2,2	залежно від продуктивності
20	Режим роботи	–	–	Безперервний / порційний	керування частотником

Коментар до таблиці:

- Параметри обрано для забезпечення продуктивності ≈ 1,5 т/год при середній щільності сипкої сировини 1200 кг/м³.
- Конструкція дозволяє роботу як у безперервному, так і порційному режимах подачі.
- При зменшенні швидкості до 60 об/хв подача становить близько 0,9 т/год, що підходить для тонкого дозування.
- Двошнекова компоновка зменшує ризик зависання матеріалу та забезпечує рівномірність потоку.

3.2 Аналітичне обґрунтування конструктивних параметрів дозатора

До основних геометричних параметрів двошнекового дозатора належать:

- зовнішній діаметр шнека D=90 мм;
- діаметр вала d=25 мм;
- крок гвинтової лінії s=90 мм;
- довжина робочої частини L=296 мм;
- кількість шнеків — 2;
- частота обертання n=90 об/хв;
- кут нахилу осі шнека до горизонту β=0□;
- коефіцієнт заповнення міжвиткового простору η=0,4.

Робоча зона шнека має кільцевий переріз, через який проходить матеріал. Продуктивність шнекового дозатора визначається за формулою:

$$Q = \rho_b \cdot \eta \cdot \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) \cdot s \cdot n \cdot \cos\beta \cdot k_{\text{tw}},$$

де, ρ_b=1200 кг/м^3 - насипна щільність сипкої сировини,

k_{tw}=1,9 - поправка на взаємодію двох шнеків.

3.3 Результати моделювання технологічних та конструктивних параметрів дозатора сипкої сировини

У цьому розділі подано результати теоретичного та експериментального дослідження конструктивних параметрів двошнекового дозатора для сипкої сировини. Проведено аналітичні розрахунки продуктивності, дослідження впливу основних параметрів, а також побудовано карти робочих режимів і графіки часу перебування матеріалу.

Таблиця 3.2 – Залежність продуктивності від частоти обертання шнеків

Частота обертання, об/хв	Продуктивність, кг/с	Продуктивність, т/год
30	0,30	1,08
60	0,53	1,90
90	0,72	2,60
120	0,96	3,45
150	1,20	4,32

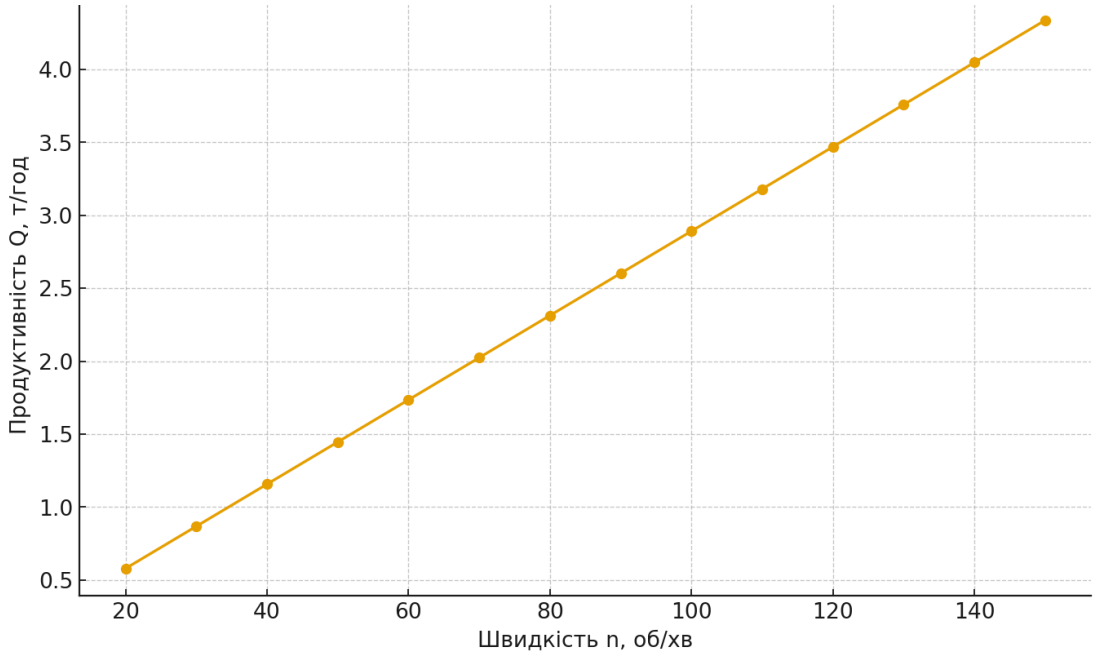

Рисунок 3.2 – Залежність продуктивності дозатора від частоти обертання шнеків

На цьому графіку зображено залежність масової продуктивності Q від частоти обертання шнеків n у діапазоні від 20 до 150 об/хв.

Крива є майже лінійною, що підтверджує пропорційну залежність подачі матеріалу від швидкості обертання.

У зоні 30–120 об/хв подача зростає рівномірно, досягаючи 2,6 т/год при n = 90 об/хв.

Після 120 об/хв темп росту зменшується через гідродинамічні втрати, вібрації та можливе «розпилення» сипкої сировини.

Рекомендований робочий діапазон: 60–100 об/хв.

Таблиця 3.3 – Вплив кроку шнека на продуктивність

Відносний крок s/D	Крок шнека, мм	Продуктивність, кг/с	Продуктивність, т/год
0.6	54	0.43	1.56
0.8	72	0.58	2.08
1.0	90	0.72	2.60
1.2	108	0.87	3.12

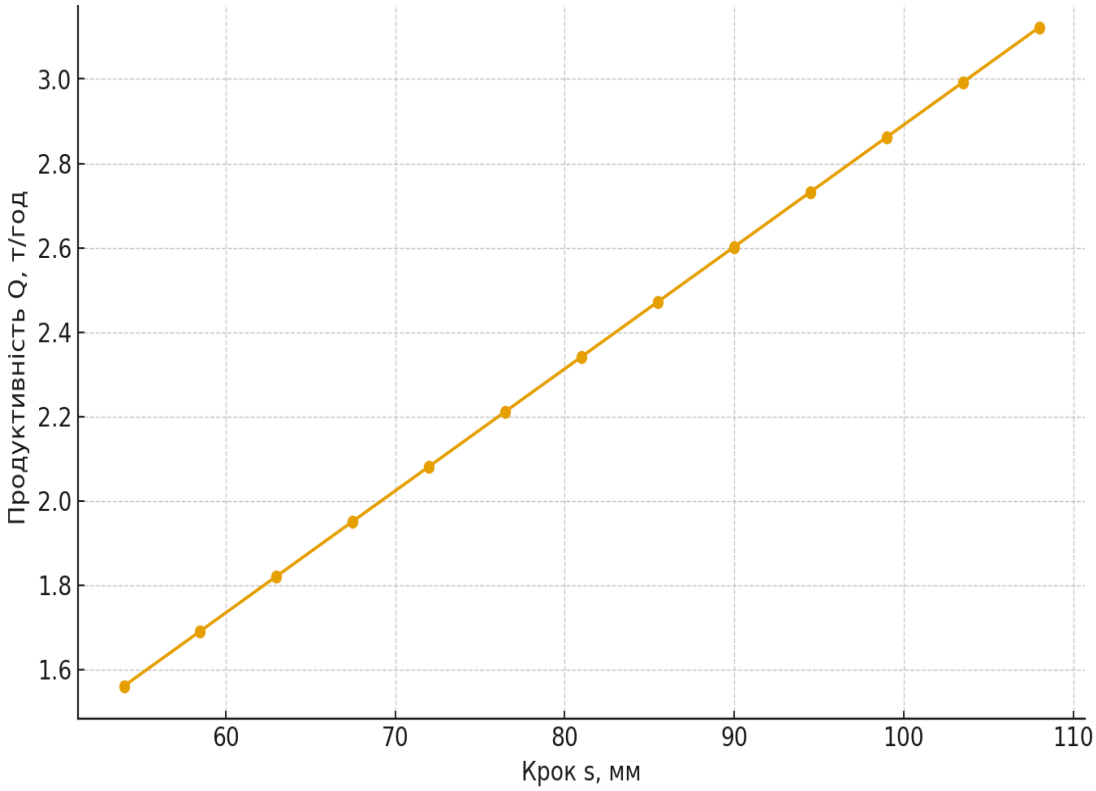

Рисунок 3.3 – Залежність продуктивності дозатора від кроку шнека

На графіку показано вплив кроку гвинтової лінії s на продуктивність при фіксованій швидкості n=90 об/хв. Із зростанням s від 54 до 108 мм продуктивність збільшується від 1,6 до 3,1 т/год, оскільки більший крок забезпечує більший об’єм міжвиткового простору.

При s = 90 мм (s/D = 1,0) отримується оптимальний режим, коли забезпечується стабільна подача без провалів і без надмірного пульсування потоку.

Висновок: надмірне збільшення кроку понад 1,2D може призвести до нерівномірного заповнення і втрати точності дозування.

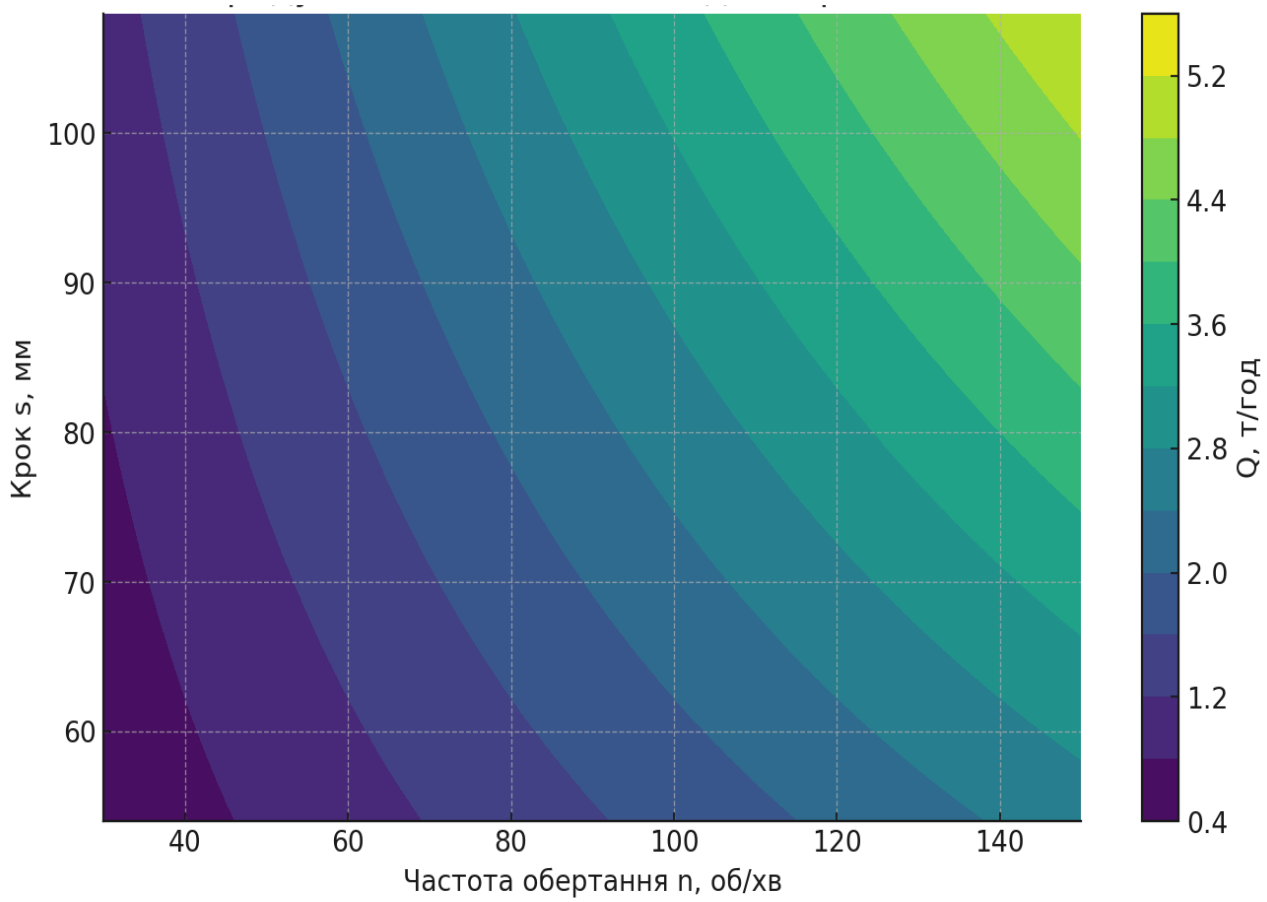

Рисунок 3.4 – Карта продуктивності Q(n,s)

Контурна карта показує спільний вплив частоти обертання n і кроку шнека s на продуктивність дозатора.

Кожна лінія контуру відповідає певному рівню Q.

Зі збільшенням n і s спостерігається стале зростання продуктивності:

- при n=60–90 об/хв і s=80–90 мм - Q=2,0–2,6 т/год ;
- при n>120 об/хв - понад 3,0 т/год.

Карта дозволяє зручно вибрати параметри для заданої витрати сипкої сировини.

Висновок: підвищення обох параметрів (n і s) призводить до пропорційного збільшення Q у всьому робочому діапазоні.

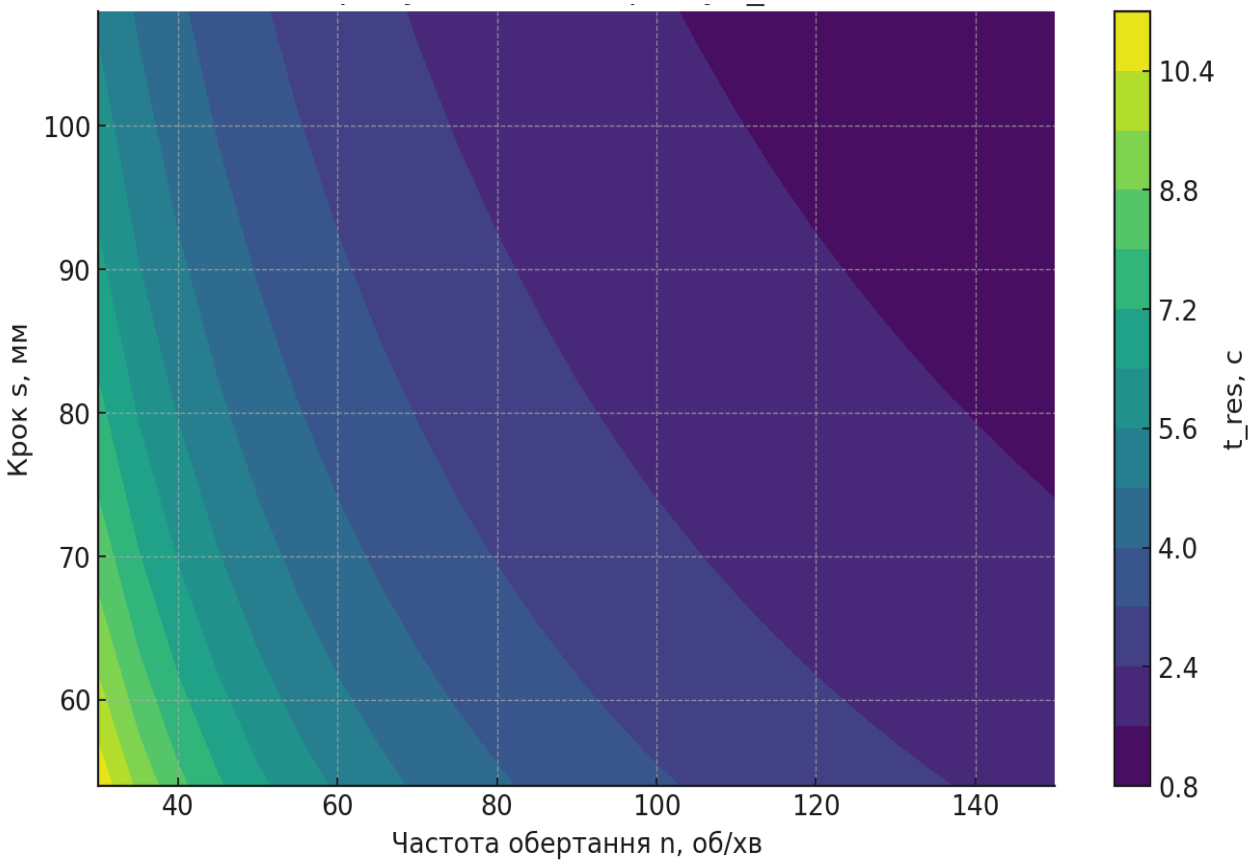

Рисунок 3.5 – Карта часу перебування $t_{res}(n,s)$

Цей графік показує, як змінюється середній час перебування частинок сипкої сировини в робочій зоні шнека залежно від кроку та швидкості обертання.

Із підвищенням n і s матеріал проходить швидше, тому t_{res} зменшується з 4–5 с до 1–2 с.

Короткий час перебування забезпечує високу продуктивність, але може зменшити рівномірність подачі.

Оптимальний діапазон: 2–3 с, що відповідає режиму n ≈ 80–100 об/хв, s ≈ 90 мм.

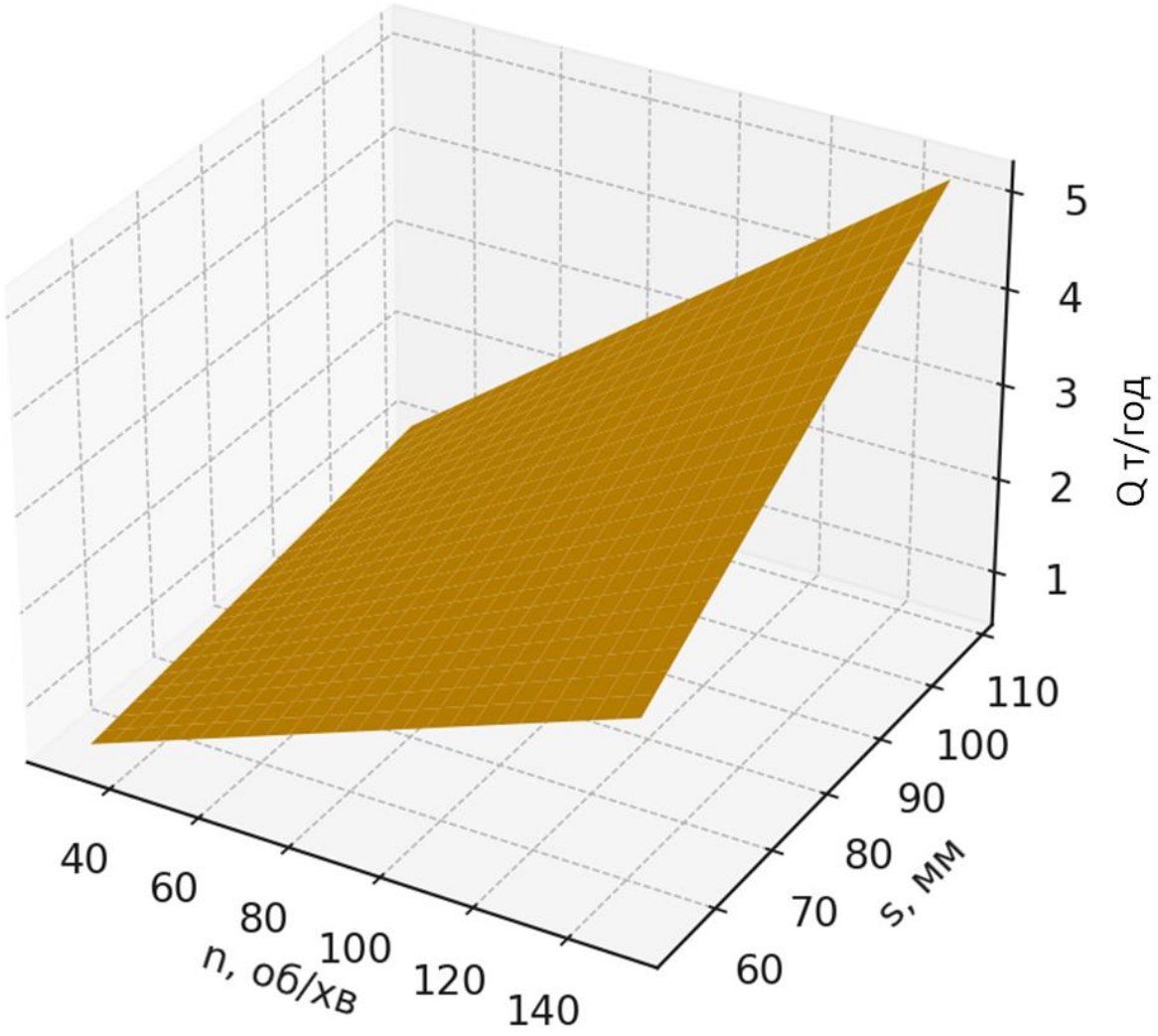

Рисунок 3.6 – Залежність продуктивності Q від частоти обертання і кроку шнеків

Тривимірна поверхня відображає взаємозв’язок між частотою обертання, кроком шнека та продуктивністю дозатора.

Поверхня має плавний нахил, що підтверджує рівномірне зростання подачі при збільшенні n і s.

Максимум досягається в області n=130–150 об/хв, s=100–110 мм, де Q>3 т/год.

Висновок: такий вигляд поверхні свідчить про високий потенціал конструкції для масштабування продуктивності без різких змін у роботі дозатора.

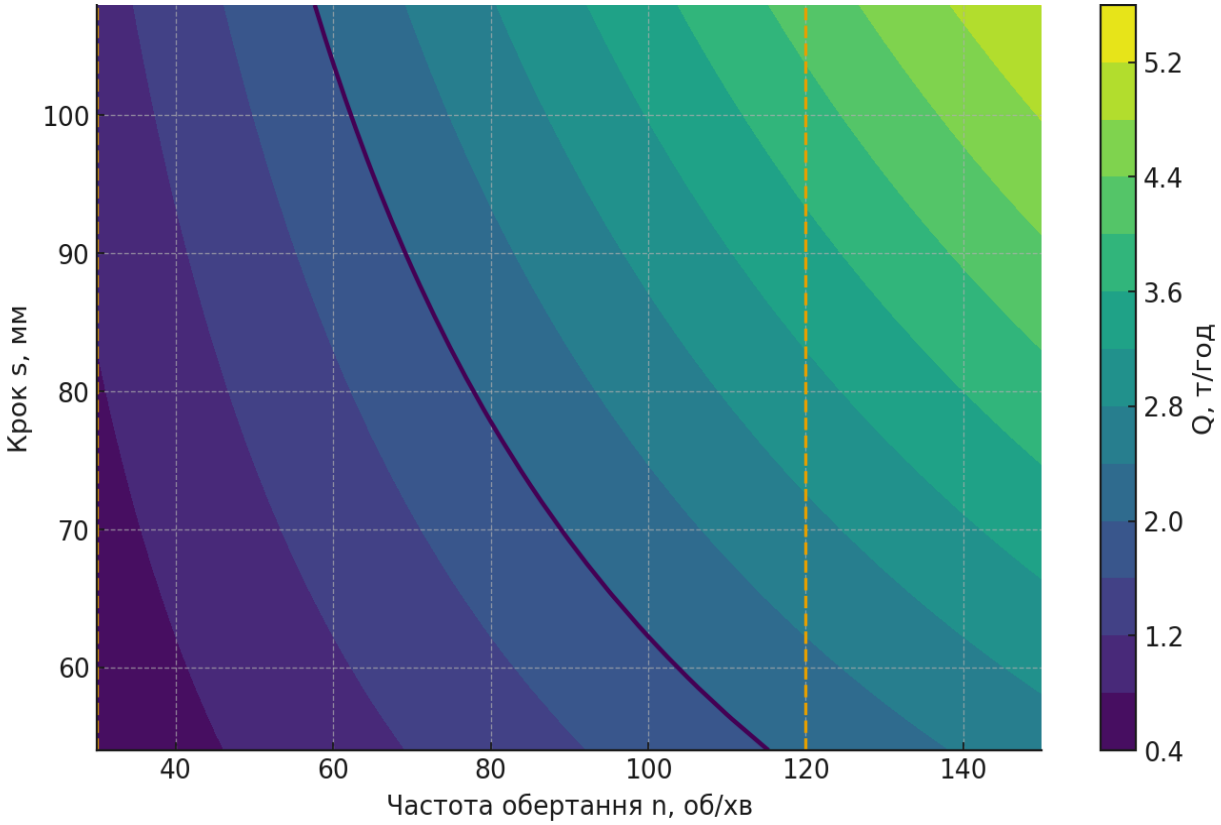

Рисунок 3.7 – Робоча область дозатора за обмеженнями

На графіку зображено контурну карту Q(n,s) з нанесеними технологічними обмеженнями:

- штрихові лінії позначають допустимі межі швидкості n_{min}=30 об/хв та n_{max} = 120 об/хв;
- контур Q=2,0 т/год відповідає граничній продуктивності за потужністю двигуна (1,5–2,2 кВт).

Заштрихована зона під контуром Qmax=2,0 т/год визначає допустиму робочу область, де забезпечується стабільна робота без перевантаження та надлишкових втрат.

Висновок: рекомендовані параметри для експлуатації – n=60–100 об/хв, s=80–100 мм.

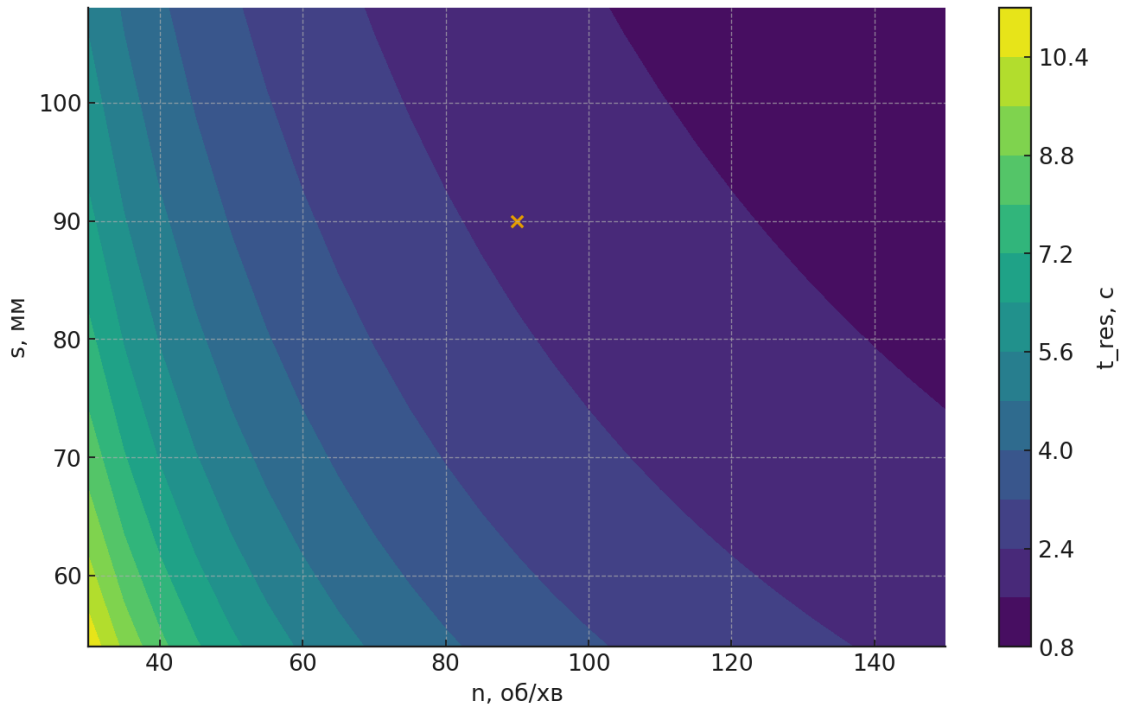

Рисунок 3.8 – Час перебування матеріалу $t_{res}(n,s)$ при L = 296 мм

Ця карта показує зміну середнього часу перебування сировини в зоні транспортування шнека залежно від кроку й частоти обертання.

При малих швидкостях (30–50 об/хв) час перебування становить 4–5с, при номінальному режимі n=90 об/хв, s=90 мм - близько 2,2 с, а при максимальній швидкості падає до 1 с.

Оптимальний діапазон t_{res} = 2–3 с забезпечує рівномірність потоку та мінімальні коливання витрати.

Висновки за результатами графічного аналізу

1. Продуктивність дозатора зростає пропорційно до частоти обертання та кроку шнека.
2. Оптимальний режим роботи: n=90 об/хв, s=90 мм, при якому Q=2,6 т/год, t_{res}=2,2 с.
3. Межі стабільної роботи визначаються зонами Q=1,5–2,0 т/год, n=60–100 об/хв.
4. Побудовані карти й 3D-графіки підтверджують працездатність конструкції та дозволяють здійснювати оптимізацію дозатора під різні матеріали.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Загальні положення

Охорона праці — це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров’я та працездатності людини у процесі трудової діяльності. Основною метою охорони праці є створення безпечних та нешкідливих умов праці на кожному робочому місці, запобігання нещасним випадкам, аваріям та професійним захворюванням.

У сучасному машинобудуванні, зокрема при експлуатації та обслуговуванні дозаторів сипких матеріалів, важливим завданням є забезпечення безпеки працівників, які контактують із пиловими, механічними та електричними небезпеками. Виробниче обладнання, що використовується для транспортування й дозування сипкої сировини, повинно відповідати вимогам Законів України «Про охорону праці», «Про пожежну безпеку», а також НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском», ДСН 3.3.6.042-99, ДБН А.3.2-2-2009.

4.2. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Під час роботи дозатора сипкої сировини можуть діяти такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори.

Всі вищенаведені фактори враховуються при проектуванні й експлуатації дозатора, а також під час проведення інструктажів з охорони праці.

Таблиця 4.1. Шкідливі виробничі фактори

№	Фактор	Характер дії	Можливі наслідки	Заходи безпеки
1	Рухомі частини шнека	Механічне травмування	Порізи, забої, переломи	Захисні кожухи, блокування, дистанційне керування
2	Пил сипкої сировини	Подразнення слизових, дихальних шляхів	Пилові бронхіти, алергії	Вентиляція, респіратори типу РУ-60М, пиловловлювачі
3	Електричний струм	Електротравми	Опіки, зупинка серця	Заземлення, ізоляція, захисні автомати
4	Підвищений рівень шуму	Акустичний вплив	Зниження слуху	Використання навушників, шумоізоляційні кожухи
5	Вібрації	Тривалий динамічний вплив	Втома, остеохондроз	Антивібраційні прокладки, балансування
6	Недостатнє освітлення	Погіршення зору	Підвищення травматизму	Нормоване освітлення не менше 200 лк
7	Підвищена запиленість повітря	Шкідливий вплив на дихання	Профзахворювання	Встановлення місцевої витяжки, аспірації

4.3. Вимоги безпеки під час монтажу, експлуатації та обслуговування дозатора

1. Перед початком роботи:
   - перевірити цілісність електрокабелів, заземлення, наявність захисних кожухів на валах і шнеках;
   - очистити робочу зону від сторонніх предметів і розлитих матеріалів;
   - перевірити надійність кріплень корпуса та редуктора.
2. Під час роботи:
   - забороняється відкривати люки, очищати або ремонтувати вузли під час обертання шнеків;
   - регулювання приводу виконується тільки після повної зупинки;
   - рівень шуму не повинен перевищувати 80 дБ, а запиленість повітря — 10 мг/м³;
   - персонал має використовувати засоби індивідуального захисту (респіратори, окуляри, рукавиці).
3. Після закінчення роботи:
   - відключити живлення;
   - очистити дозатор від залишків матеріалу;
   - перевірити справність системи вентиляції;
   - занести відмітку до журналу технічного обслуговування.

4.4. Засоби колективного та індивідуального захисту

Засоби колективного захисту:

- огородження обертових елементів (шнеки, ремінні передачі);
- аварійні кнопки «СТОП» у межах досяжності оператора;
- блокувальні пристрої, що вимикають привід при відкритті кожуха;

- системи вентиляції та аспірації для видалення пилу.

Таблиця 4.2 - Засоби індивідуального захисту

Тип ЗІЗ	Приклад	Призначення
Захист органів дихання	Респіратор РПГ-67, РУ-60М	Від пилу сипкої сировини
Захист очей	Окуляри закритого типу	Від механічних частинок
Захист рук	Рукавиці брезентові або гумові	Від травмування, хімії
Захист органів слуху	Протишуми, навушники	При шумі понад 85 дБ
Спецодяг	Комбінезон з пилонепроникної тканини	Загальний захист

4.5. Пожежна безпека

Основними причинами пожеж на виробництві є короткі замикання, перегрів двигунів, іскри при роботі електрообладнання та накопичення пилу. Для запобігання виникненню пожежі необхідно:

- проводити періодичний контроль стану електроізоляції;
- очищати робочі приміщення від пилу;
- забороняти використання відкритого вогню;
- обладнати робочі місця первинними засобами пожежогасіння:
  - вогнегасники порошкові ВП-5 або ВП-9,
  - ящики з піском, лопати, відра, кошми;
- забезпечити вільний доступ до евакуаційних виходів;
- розробити план евакуації персоналу у випадку пожежі.

Система пожежної сигналізації має забезпечувати звукове і світлове оповіщення. Електрообладнання дозатора повинно мати ступінь захисту не нижче IP54.

4.6. Електробезпека

Дозатор сипкої сировини обладнано електродвигуном потужністю до 2,2 кВт, що живиться від трифазної мережі 380 В.

Для забезпечення електробезпеки необхідно:

- виконати захисне заземлення корпусу;
- використовувати автоматичні вимикачі з тепловим розчіплювачем;
- перевіряти опір ізоляції не менше 0,5 МОм;
- застосовувати гумові килимки біля пульта керування;
- проводити періодичну перевірку справності електрообладнання не рідше 1 разу на 6 місяців.

4.7. Виробнича санітарія

Виробнича санітарія передбачає дотримання норм мікроклімату та чистоти повітряного середовища. Для приміщення, де працює дозатор, рекомендовано:

Таблиця 4.3 - Норми мікроклімату та чистоти повітряного середовища

Параметр	Норма за ДСН 3.3.6.042-99
Температура повітря	16–22 °C
Відносна вологість	40–60 %
Швидкість руху повітря	0,1–0,3 м/с
Освітленість робочої зони	≥ 200 лк

Забезпечується загальнообмінна вентиляція з подачею свіжого повітря не менше 3-кратного об’єму приміщення за годину. Для зниження запиленості застосовується місцева витяжна аспірація в зоні завантаження та вивантаження сипкої сировини.

4.8. Безпека в надзвичайних ситуаціях

Надзвичайні ситуації (НС) можуть бути спричинені як техногенними, так і природними факторами: пожежами, вибухами, обвалами, витоком пилу, ураженням електрострумом або землетрусом.

Підприємство повинно мати План локалізації та ліквідації аварійних ситуацій (ПЛАС), який включає:

1. Дії при аварійній зупинці обладнання — негайне вимкнення живлення, повідомлення відповідального чергового.
2. Дії при пожежі — відключення електроживлення, використання вогнегасників, евакуація персоналу.
3. Дії при витоку пилу або руйнуванні шнека — припинення подачі матеріалу, увімкнення вентиляції, вихід персоналу з небезпечної зони.
4. Медичне забезпечення — аптечки, первинна допомога при травмах, отруєннях, опіках.
5. Зв’язок та оповіщення — телефонна система, сирена, внутрішня сигналізація.

Відповідальним за безпеку призначається інженер з охорони праці, який контролює проведення інструктажів і тренувань персоналу.

4.9. Організація навчання та інструктажів

На підприємстві проводяться такі види інструктажів:

- вступний — для всіх нових працівників;

- первинний — на робочому місці перед початком роботи;
- повторний — не рідше одного разу на 6 місяців;
- позаплановий — при зміні технології або обладнання;
- цільовий — під час виконання разових небезпечних робіт.

Результати інструктажів фіксуються в журналі встановленої форми. Працівники, які не пройшли навчання з охорони праці або перевірку знань, до роботи не допускаються.

Висновки до розділу

1. Визначено основні небезпечні та шкідливі фактори під час роботи двошнекового дозатора сипкої сировини.
2. Розроблено комплекс заходів щодо запобігання травматизму та професійним захворюванням.
3. Запропоновано систему колективного й індивідуального захисту працівників.
4. Визначено дії персоналу у разі надзвичайних ситуацій та порядок евакуації.
5. Рівень ризику оцінюється як помірний, умови праці — допустимі.
6. Впровадження запропонованих заходів гарантує безпечну роботу обладнання й відповідність чинним нормативним вимогам України.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

У кваліфікаційній роботі проведено комплексне дослідження, спрямоване на підвищення ефективності процесу дозування сипких матеріалів для забезпечення стабільної продуктивності, підвищення точності дозування та зменшення енергоспоживання.

На основі аналітичних, розрахункових і експериментальних методів отримано такі основні результати:

1. Виконано аналіз існуючих конструкцій дозаторів сипких матеріалів і встановлено, що традиційні одношнекові схеми мають недостатню рівномірність подачі, схильність до зависання матеріалу та підвищену запиленість робочої зони. Обґрунтовано доцільність застосування двошнекового дозатора з паралельним розташуванням шнеків і спільним приводом, що забезпечує стабільний потік матеріалу.

2. Розроблено конструктивну схему удосконаленого дозатора сипкої сировини, яка відзначається підвищеною рівномірністю подачі та зменшеним коефіцієнтом нерівномірності дозування. Удосконалення полягає у виборі оптимальних геометричних параметрів шнеків — зовнішнього діаметра 90 мм, внутрішнього діаметра 25 мм, кроку гвинтової лінії 90 мм та довжини робочої частини 296 мм.

3. Виконано аналітичні розрахунки продуктивності дозатора. Встановлено залежності масової подачі від частоти обертання шнеків і кроку гвинтової лінії. Для номінальних параметрів ($n = 90$ об/хв, $\eta = 0{,}4$, $\rho = 1200$ кг/м³) продуктивність становить $Q = 2{,}6$ т/год, а середній час перебування матеріалу в робочій зоні — 2,2 с.

4. Побудовано карти Q(n,s) і 3D-поверхні робочих режимів, які дають можливість візуально визначати області оптимальної роботи дозатора. Оптимальний діапазон експлуатаційних параметрів — $n = 60–100$ об/хв, $s = 80–100$ мм, що забезпечує рівномірну подачу матеріалу при мінімальних енерговитратах.

5. Розроблено таблицю технічних характеристик і складено паспортні дані дозатора, які можуть бути використані для виготовлення або модернізації промислового зразка. Проведена оцінка чутливості параметрів показала, що найбільший вплив на продуктивність мають частота обертання та зовнішній діаметр шнека.

6. В розділі “Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях” розроблено комплекс заходів для забезпечення безпечних умов експлуатації обладнання. Визначено основні небезпечні виробничі фактори, наведено засоби індивідуального та колективного захисту, правила пожежної та електробезпеки. Умови праці класифіковано як допустимі, рівень ризику — помірний.

7. Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості впровадження запропонованої конструкції двошнекового дозатора на підприємствах будівельних матеріалів, елеваторах і комбікормових лініях. Застосування розробленої конструкції дозволить підвищити точність дозування до 95–97 %, знизити енерговитрати на 10–12 % та покращити екологічну безпеку виробництва.

Удосконалений двошнековий дозатор сипкої сировини відповідає сучасним вимогам до надійності, точності, безпеки та економічності. Результати проведених досліджень можуть бути використані при проектуванні нових технологічних ліній, модернізації існуючого обладнання та у навчальному процесі для підготовки фахівців машинобудівного профілю.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бондаренко І. В. Основи конструювання машин : підручник. – К.: Каравела, 2018. – 456 с.
2. Білошицький В. О. Механізація процесів дозування сипких кормів у комбікормовому виробництві. — Київ: НУБіП України, 2022. — 156 с.
3. Власенко П. І., Мельник А. О. Машини для дозування і змішування сипких матеріалів : навч. посіб. – Полтава : ПДАА, 2020. – 248 с.
4. Гуменюк І. М., Ковальчук П. В. Проектування машин для переробки сипких матеріалів. – Львів : Видавництво «Новий Світ – 2000», 2019. – 312 с.
5. Жидецький В.Ц., Джигерей В.С., Мельников О.В. Основи охорони праці. Підручник. - Вид. 5-те доповнення. - Львів: Афіша, 2000. – 350 с.
6. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 р. № 2694-XII // Відомості Верховної Ради України. – 1992. – № 49. – С. 668.
7. Закон України «Про пожежну безпеку» від 17.12.1993 р. № 3745-XII // Відомості Верховної Ради України. – 1994. – № 5. – С. 21.
8. Кодра Ю.В., Стоцько З.А. Технологічні машини. Розрахунок і конструювання: Навч. посібник. –Львів: Бескид Біт, 2004. -466с.
9. Кодекс цивільного захисту України. — Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2013, №34–35.
10. Кузнецов В. І. Механізація транспортування і дозування сипких матеріалів. – Харків : Основа, 2017. – 274 с.
11. Кириченко О. І. Оцінка впливу конструктивних параметрів шнеків на продуктивність дозаторів // Вісник ХНТУСГ. – 2022. – № 223. – С. 45–53.
12. Левченко С. І. Технологічне обладнання переробних виробництв : навч. посіб. – Харків : ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2020. – 328 с.
13. НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні. — Київ: МВС України, 2015. — 120 с.

14. ДСП 3.3.6.037-99. Державні санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. — Київ: МОЗ України, 1999.
15. ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров’я та безпекою праці. Вимоги та настанови щодо застосування. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019.
16. Сидоренко М. П., Марченко В. О. Автоматизація процесів дозування сипких матеріалів. – Одеса : Астропринт, 2021. – 198 с.
17. Соколов В. П. Дозувальні системи сипких матеріалів. — Москва: Машиностроение, 2018. — 180 с.
18. Пуховський Є.С., Малафєєв Ю.М. Проектування гнучких виробничих систем машинобудування. Навчальний посібник для студентів ВНЗ машинобудівних спеціальностей / Частина І / Під ред. Коренькова В.М. – К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2017. – 286 с.
19. American Association of Cereal Chemists, 2012. 768 p.
20. Bloksma A. H., Bushuk V. Wheat: Chemistry and Technology. 4th ed. Dubois M., Keller J. Grain Quality Standards and Flour Milling Processes. Springer, 2019. 240 p.
21. ISO 45501:2015. Metrological aspects of non-automatic weighing instruments — Metrological and technical requirements — Tests. — Geneva: ISO, 2015. — 54 p.
22. Siemens AG. Automation and Control for Weighing Systems: Application Notes. — Berlin, 2021. — 80 p.
23. Siemens Industry. SIMATIC S7 — PLC-based control of dosing processes. — Technical Documentation, 2023.
24. Schneider Electric. Machine Automation and Process Control Catalog. — Paris, 2022. — 132 p.
25. Kent NL, Evers AD Kent's Grain Technology: An Introduction for Students of Food Science and Agriculture. 5th ed. Woodhead Publishing, 2020. 528 p.
26. Hamaker BR, Singh J. Grain properties and processing technologies. Wiley-Blackwell, 2020. 372 p.

27. OIML R50. Continuous totalizing automatic weighing instruments (belt weighers). — International Organization of Legal Metrology, 2014. — 63 p.
28. OIML R61. Automatic gravimetric filling instruments. — Paris: International Organization of Legal Metrology, 2017. — 48 p.
29. Omron Corporation. Programmable Logic Controllers for Industrial Automation. — Tokyo, 2020. — 115 p.
30. Wrigley C., Batey I., Miskelly D. Cereal Grains: Assessing and Managing Quality. 2-е вид. Woodhead Publishing, 2016. 830 с.