

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

УДК 631.361:363

Кваліфікаційна робота на
правах рукопису

КУР'ЯТА Дмитро Вікторович

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДОЗАТОРА БАРАБАННОГО ТИПУ

208 «Агроінженерія»

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело

(підпис)

(ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
к.т.н., доц. Медведський О.В.

Житомир – 2024

АНОТАЦІЯ

Кур'ята Д. В. **Підвищення ефективності дозатора барабанного типу.** – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістр зі спеціальності 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2024 р.

У кваліфікаційній роботі виконана оцінка конструкційних та технологічних параметрів дозаторів барабанного типу, виділені їх переваги і недоліки, запропоновані конструкційні удосконалення.

Отримані результати теоретичних досліджень дозволили встановити аналітичні залежності взаємозв'язку дослідних факторів які визначають підвищення точності дозування дрібноподрібнених компонентів.

За результатами проведених досліджень встановлені раціональні конструкційні та кінематичні параметри барабанного дозатора, визначено затрати енергії на виконання технологічного процесу.

Ключові слова: частота обертання, потужність приводу, подача компоненту, ефективність дозування

ANNOTATION

Kuryata D. V. **Improving the efficiency of the drum type dispenser.** – Qualification work on manuscript rights.

Qualification work for a master's degree in specialty 208 – agroengineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2023

In the qualification work, the structural and technological parameters of drum-type dispensers were evaluated, their advantages and disadvantages were highlighted, and structural improvements were proposed.

The obtained results of theoretical studies allowed to establish the analytical dependences of the interrelationship of research factors that determine the increase in the accuracy of dosage of finely divided components.

According to the results of the conducted research, the rational structural and kinematic parameters of the drum dispenser were established, and the energy consumption for the execution of the technological process was determined.

Key words: rotation frequency, drive power, component supply, dosing efficiency

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ОЦІНКА КОНСТРУКЦІЙНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДОЗАТОРІВ БАРАБАННОГО ТИПУ	7
1.1. Конструкційні особливості дозаторів сипких матеріалів	7
1.2. Оцінка функціональності барабанних дозаторів	13
1.3. Висновки до розділу 1	14
РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ДОЗУВАННЯ РОЗРОБЛЕНИМ ДОЗАТОРОМ	16
2.1. Обґрунтування конструкційної схеми дозувального пристрою барабанного типу	16
2.2. Встановлення якісних показників технологічного процесу дозування	18
2.3. Висновки до розділу 2	20
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ РОЗРОБЛЕНОГО ДОЗАТОРА	21
3.1. Встановлення варіаційного коефіцієнта процесу дозування	21
3.2. Встановлення енергетичних показників розробленого дозатора	24
3.3. Висновки до розділу 3	31
ВИСНОВКИ	32
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	33

ВСТУП

Актуальність теми. Дозування компонентів матеріалів котрі входять до складу різноманітних сумішок є важливим технологічним процесом. Від якості виконання процесу дозування залежить якість отриманої сумішки. Надмірна присутність або недостача того чи іншого компонента у суміщі негативно впливає на попит на цей продукт. Так, перебільшення додаткових добавок у комбікорми, вміст яких чітко регламентовано діючими вимогами, може негативно відобразитись на здоров'ї тварин. В ту ж чергу, недостача у кормовій суміщі або комбікормі необхідного компоненту може викликати сповільнення у розвитку організму тварини та зниження її продуктивності.

Для дозованої подачі компонентів до сумішок використовують дозувальні пристрої різні за конструкційним виконанням та способом реалізації технологічного процесу. Найбільш прийнятними вважаються дозувальні механізми які виконують технологічний процес з найвищою продуктивністю та найменшою енергоємністю. При цьому важливою складовою є якість виконання процесу дозування яка визначається точністю та рівномірністю подачі. Так найбільшу точність мають дозувальні пристрої обладнанні ваговими механізмами. Але такі механізми для реалізації технологічного процесу у потоці досить дорогі у виготовленні та експлуатації. Найпростіші з гравітаційним збудженням дозувальні пристрої не забезпечують належної точності. Дозувальні механізми шнекового та стрічково-транспортного типів мають досить високу металомісткість та енергоємність. Окрім цього точність і якість таких дозувальних пристроїв досить низька що задовольнити вимоги подачі порошкоподібного матеріалу.

Дозувальні пристрої барабанного типу відзначаються меншою, порівняно із гвинтовими та транспортерними, енергоємністю та металомісткістю. Тому, удосконалення та обґрунтування конструкційних та технологічних параметрів дозатора барабанного типу із високою якістю виконання технологічного процесу є важливим та актуальним завданням.

Мета і задачі досліджень. Метою дослідження є підвищення ефективності дозувального пристрою барабанного типу шляхом обґрунтування його конструкційних параметрів та режимів роботи.

Досягнення вказаної мети дослідження потребує вирішення наступних завдань:

- оцінити конструкційні та технологічні параметри дозувальних механізмів, встановити їх переваги та недоліки;
- встановити раціональну конструкційну схему дозувального пристрою барабанного типу;
- встановити показники якості технологічного процесу запропонованого дозатора барабанного типу;
- дослідити відповідність раціональних конструкційних та технологічних параметрів показникам якості процесу дозування розробленим пристроєм;
- встановити енергетичну ефективність використання розробленого дозувального пристрою барабанного типу.

Об’єкт дослідження – процес дозування компонентів у неперервному потоці дозатором барабанного типу.

Предмет дослідження – закономірності впливу конструкційних та кінематичних параметрів на якісні показники технологічного процесу.

Методи досліджень. Кваліфікаційна робота виконана із активним використанням відомих методів досліджень: аналітичні; експериментальні; розрахункові.

Технологічний процес дозування компонентів описували з використанням основних положень руху суцільного середовища, теоретичної механіки, теорії машин і механізмів, механіки матеріалів та динаміки систем. Теоретичні передумови перевіряли за допомогою проведення експериментальних досліджень та виконання статистичної обробки набору отриманих даних. При цьому активно використовували доступні програмні продукти обробки статистичних даних, зокрема Excel.

Апробація результатів роботи. Основні результати досліджень котрі отримані під час виконання кваліфікаційної роботи мають апробацію на науково-практичних конференціях та розміщені у збірниках матеріалів під наступними назвами:

1. Кур'ята Д. В. Конструкційні особливості дозаторів сипких матеріалів. *Наукові читання–2024*: матеріали науково-практичної конференції. 20 травня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С. 106–112.

2. Кур'ята Д. В. Оцінка функціональності барабанних дозаторів. *Студентські читання–2024* : матеріали науково-практичної конференції. 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 71–73.

3. Медведський О. В., Кур'ята Д. В. Встановлення якісних показників технологічного процесу дозування. *Біоенергетичні системи* : матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції. 12-14 листопада 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С. 10–12.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота у своєму складі має вступу, 3 розділи основної частини, загальні висновки, список використаних джерел. Текст кваліфікаційної роботи викладено державною мовою на 34 сторінках комп'ютерного набору, проілюстровано 2 таблицями та 17 рисунками.

РОЗДІЛ 1

ОЦІНКА КОНСТРУКЦІЙНИХ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДОЗАТОРІВ БАРАБАННОГО ТИПУ

1.1. Конструкційні особливості дозаторів сипких матеріалів

Дозатор матеріалів – представляє собою механізм який дозволяє в автоматичному режимі вимірювати та вивантажувати необхідну порцію в одиницях маси чи одиницях об'єму.

При цьому процес може відбуватись як в неперервному режимі так і у вигляді порційної подачі заданими об'ємами (рис. 1.1). [1, 2, 3, 4]

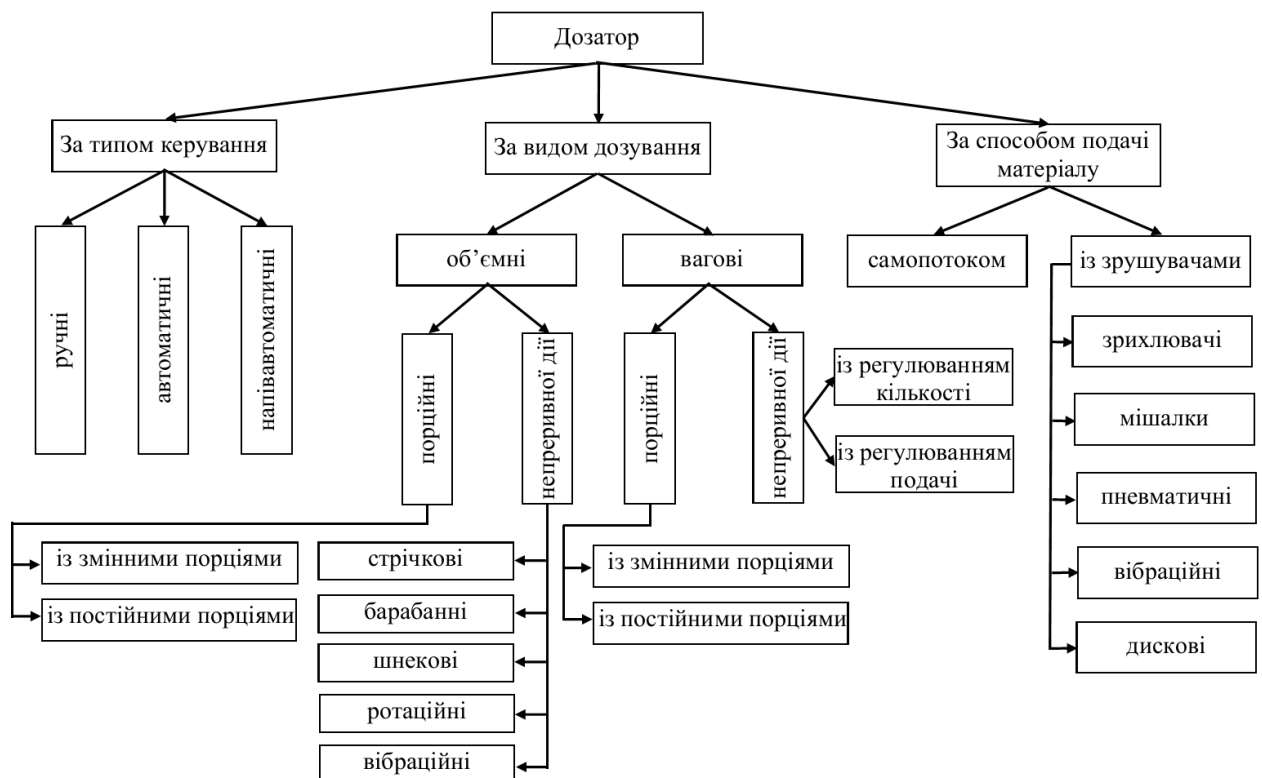


Рис. 1.1. Конструкційні та технологічні особливості дозувальних механізмів

За способом дозування виділяється дві великі групи дозувальних механізмів – це об'ємні та вагові. В свою чергу як об'ємні так і вагові пристрої

для дозування матеріалу в необхідній кількості відміряють в неперервному потоці та у вигляді окремих порцій.

Ваговий спосіб вимірювання та відокремлення від масиву необхідної кількості матеріалу вважається найбільш точним. Вищої точності можна отримати при ваговому дозуванні матеріалу окремими порціями. Проте порційний спосіб є меш продуктивним порівняно із неперервним. Забезпечити неперервне вимірювання порції заданої ваги у потоці досить важко. Це потребує використання складних вимірювальних пристроїв з необхідним набором додаткових давачів. Тому, використання дозувальних механізмів із вимірюванням порції за вагою досить обмежено використовується у сільськогосподарському виробництві, або й не використовується, в першу чергу із-за значної вартості.

Тому, для потреб аграрного виробництва використовують дозувальні механізми основним активатором процесу вимірювання заданої кількості матеріалу виступає сила гравітації. Такі пристрої, як правило прості за будовою та не потребують складних налаштувань під час експлуатації (рис. 1.2). [1, 2]

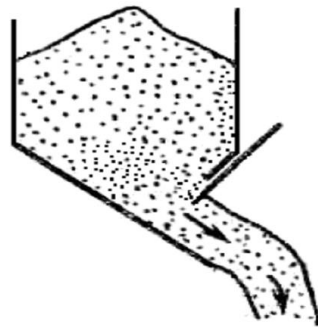


Рис. 1.2. Дозування самопливом під дією сил гравітації

Дозувальний пристрій на рис. 1.2 є найпростішим конструкційним рішенням. Кількість матеріалу що виходить із бункера можна регулювати за допомогою засувки. Незважаючи на простоту рішення недоліками такого механізму є залежність від ступені сипучості матеріалу. Так, при недостатній сипучості можуть виникати склепіння і функціонування такого типу пристроїв припиниться оскільки рух матеріалу через вихідний отвір заблокується. Навіть,

якщо матеріал буде достатньо сипким без утворення склепінь, кількість матеріалу яка виходить із вихідного отвору буде нерівномірною в часі. Це пояснюється тим, що інтенсивність подачі залежить від рівня матеріалу у бункері. Зі зниженням рівня матеріалу знижується і інтенсивність виходу матеріалу. Тому, такого типу механізми використовуються де непотрібна висока точність, зокрема у розвантажувальних механізмах із ручним керуванням потрібної кількості матеріалу. [2, 3]

Кращі результати для недостатньо сипучих матеріалі можна отримати при використанні дозувальних пристроїв із активними механізмами. Як правило активується нижній лоток за допомогою приводного механізму з електроприводом (рис. 1.3).

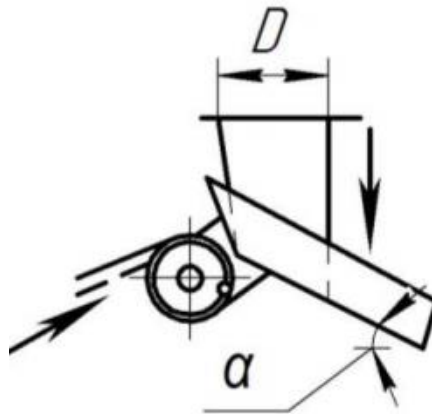


Рис. 1.3. Дозувальний механізм із активним лотком

Дозувальний механізм із активним лотком (рис. 1.3) позбавлений недоліків дозувальних пристроїв у яких використовується тільки сила гравітації. Проте, використовується енергія на привод лотка, що підвищує енергоємність технологічного процесу. У таких механізмів для дозування не буде утворюватись склепінь, що підвищує загальну ефективність дозування. Незважаючи на переваги дозувальних механізмів із рухомим лотком, залишається притаманний бункерним системам недолік – залежність від ступеня заповнення бункера. Окрім цього, вібраційний рух передається на всі складові технічної системи що погіршує якість та точність технологічного процесу. [4, 5]

Значно ефективнішими є дозувальні механізми із активними робочими органами, такими як шнек або стрічка (рис. 1.4-1.5).

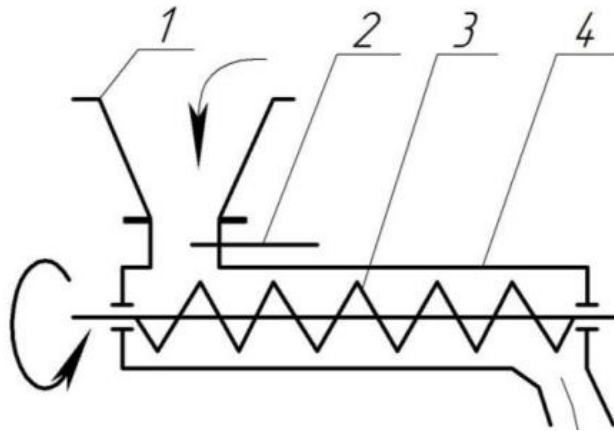


Рис. 1.4 Дозатор зі шнеком: 1 – вхідна площина; 2 – засувка регульовальний; 3 – гвинт; 4 – напрямна

Гвинтові дозувальні механізми відрізняються від гравітаційних наявністю примусового переміщення матеріалу від вхідної площини до вихідного вікна. Перевагою такого пристрою є можливість перемішувати компоненти в процесі їх транспортування. Величина матеріалу в робочій зоні може регулюватись за допомогою засувки. Проте, до недоліків належить досить велика величина відхилення в 15 % від потрібної подачі. [6, 7]

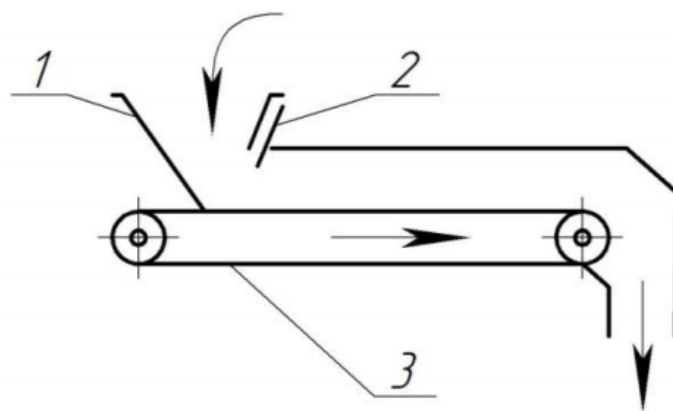


Рис. 1.5. Дозатор зі стрічкою: 1 – вхідна площина отвору; 2 – засувка регульовальний; 3 – стрічковий активатор

Стрічкові механізми (рис. 1.5) аналогічні за принципом реалізації технологічного процесу до гвинтових механізмів. Відмінністю є активний робочий орган який виконаний у вигляді стрічки певної довжини із замкненим контуром, яка приводиться в рух від обертання ведучого вальця. Як і для гвинтових пристроїв норма матеріалу змінюється шляхом зміни інтенсивності руху робочого органу та величини відкриття засувки у вхідній площині бункера. Цим пристроям притаманні і спільні недоліки – велика металомісткість та велика енергоємність технологічного процесу порівняно із гравітаційними пристроями. Це викликано необхідністю приводу робочих органів та створенням додаткових елементів приводу із системою регулювання інтенсивністю руху робочих органів.

Тарільчасті дозатори відрізняються вищою точністю та меншою енергоємністю технологічного процесу (рис. 1.6). [1, 2]

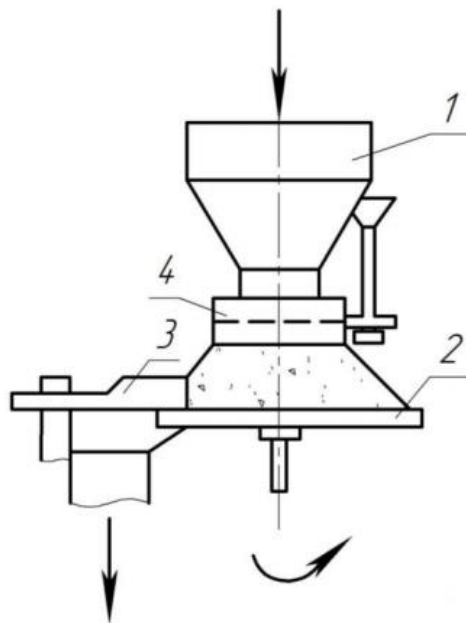


Рис. 1.6. Тарільчастий дозувальний пристрій: 1 – корпус; 2 – тарілка; 3 – шкребок; 4 – патрубок

Тарільчастого типу дозувальні пристрої (рис. 1.6) набули широкого використання у технологічних лініях приготування сипких сумішок на комбікормовому виробництві. Вони забезпечують прийнятну точність вимірювання дози компонента в неперервному потоці. На відміну від

попередньо розглянутих пристроїв для дозованої подачі компонентів, забезпечується активація шару матеріалу що унеможлиблює утворення склепінь у накопичувальних об'ємах. Але передача обертального моменту до тарілки потребує використання редукторів та додаткових елементів приводу що збільшує його металомісткість та енергоємність. Окрім цього, на ефективність роботи впливає фізико-механічні властивості дозувального матеріалу.

Дозувальні пристрої з барабанним робочим органом використовують у лініях неперервного технологічного процесу при подачі матеріалу із накопичувальних місткостей (рис. 1.7). [2, 5, 8, 9]

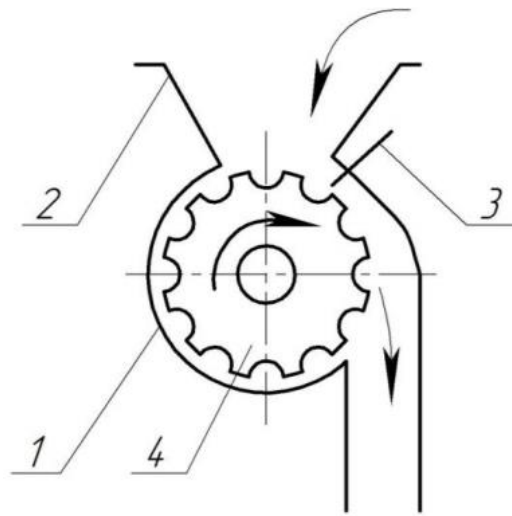


Рис. 1.7. Барабанний дозувальний пристрій: 1 – корпус; 2 – накопичувач; 3 – засувки; 4 – котушка

Технологічний процес вимірювання порції компоненту у барабанних пристроях (рис. 1.7) відмінний від попередньо розглянутих механізмів. Відділення порції матеріалу від основної маси із накопичувача здійснюється заглибинами у барабані визначеного об'єму. Такими пристроями можна досить точно дозувати дрібноподрібнений матеріал у поточному процесі. Кількість віддозованого продукту визначається кількістю заповнених заглибин та кількістю обертів барабана. Тому, такі пристрої є більш прийнятними для дозування компонентів у невеликій кількості в структурі сумішки, наприклад, всякого роду добавок до кормового раціону тварин.

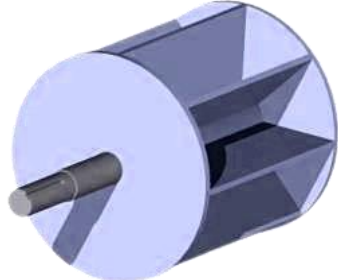
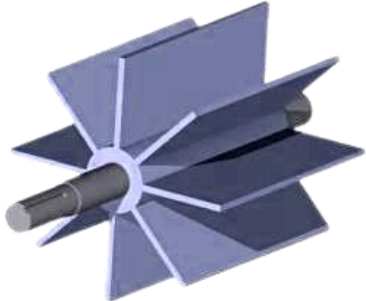
1.2. Оцінка функціональності барабанних дозаторів

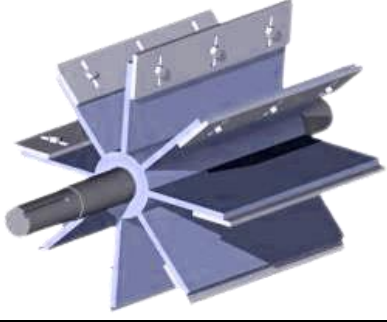
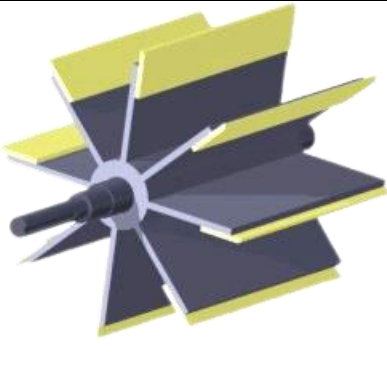
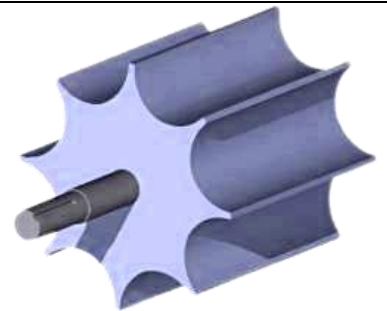
Барабанні дозатори набули широкого використання в технологічних лініях дозованої подачі матеріалу під час приготування сумішок різного призначення як у галузі тваринництва – кормові сумішки, так і у переробній галузі – на комбикормових заводах. Окрім цього дозатори барабанного типу використовуються в багатьох інших технологічних процесах пов'язаних із обробкою та подачею сипучих компонентів – в системах розвантаження, дозованої подачі компонентів в технологічних лініях переробного виробництва.

Тому, барабанні дозатори можуть мати різне конструкційне виконання робочого органу залежно від призначення та умов використання (табл. 1.1). [10, 11, 12]

Таблиця 1.1.

Конструкційне виконання барабанних механізмів

Призначення	Загальний вигляд
Закритий барабанний механізм використовують для зменшення потоків повітря та додаткового захисту торців лопаток.	
Механізми з відкритими лопатками набули широкого використання для подачі із бункерних живильних систем де використовується сила гравітації для подачі матеріалу, або у роздільних системах приготування концентрованих кормів.	

<p>Механізм аналогічний за призначенням до попереднього, але лопатки мають подовження. Таке подовження може виконувати функцію додаткового ущільнення або захисну функцію від спрацювання коли матеріал досить абразивний.</p>	
<p>У випадку використання дрібноподрібненого матеріалу у вигляді, навіть, порошку лопатки ротора доповнюють гнучкими вставками. В такому випадку досягається необхідна щільність між обертовими та нерухомими частинами пристрою для дозування.</p>	
<p>Котушкового типу барабанний пристрій використовується для точного дозування дрібноподрібнених компонентів схильних до злипання при вищій інтенсивності обертання.</p>	

Конструкційне різноманіття рішень дозувальних пристроїв барабанного типу вказує на їх можливість задовольнити широкі потреби народного господарства. При цьому точність дозування має несуттєву відмінність від точності вагового дозування (1-2 %) і складає 4-5 % за умови значно нижчої енергоємності. [11, 12] Такі конструкції, зокрема катушковий барабан, можуть бути використані для широкої номенклатури компонентів від легко сипких сухих до дрібноподрібнених пиловидного стану.

1.3. Висновки до розділу 1

1. Відповідно до завдання на кваліфікаційну роботу необхідно підвищити ефективність дозувального пристрою барабанного типу у технологічних лініях точного дозування дрібноподрібненого матеріалу у вигляді порошку.

Основними можливими рішеннями щодо покращення як конструкції так і режиму роботи є встановлення базових вимог до процесу дозування. В першу чергу це стосується фізико-механічних властивостей матеріалу для дозування.

2. Пристрої барабанного пристрою мають різноманітне конструкційне виконання залежно від умов використання та фізико-механічних властивостей матеріалу. Дозатори такого типу відзначаються прийнятною точністю у 4-5 % та низькою енергоємністю технологічного процесу порівняно із пристроями котрі обладнано механізмом відмірювання ваги у потоці.

3. Простота конструкції, низька енергоємність технологічного процесу робить дозувальні пристрої барабанного типу найбільш розповсюдженими технічними системами в технологічних лініях приготування сумішок із багатьох компонентів. Удосконалення катушкових дозувальних пристроїв дозволить вирішити питання ефективної нормованої подачі порошкоподібних матеріалів.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ДОЗУВАННЯ РОЗРОБЛЕНИМ ДОЗАТОРОМ

2.1. Обґрунтування конструкційної схеми дозувального пристрою барабанного типу

Дозування компонентів із високою точністю є важливою науково-технічною задачею. Це стосується подачі у сумішку компонентів невеликої кількості таких як різноманітні добавки для приготування комбикормів для різних видо-вікових груп тварин. Значні відхилення у кількості, наприклад білкових добавок для корів, можуть викликати негативні процеси в організмі тварин. Окрім цього будемо мати перевитрату матеріалу із значною вартістю. Тому основним завданням є встановлення якості процесу шляхом визначення нерівномірного надходження.

Запропонована конструкція жолобкового дозатора барабанного типу (рис. 2.1). [13]

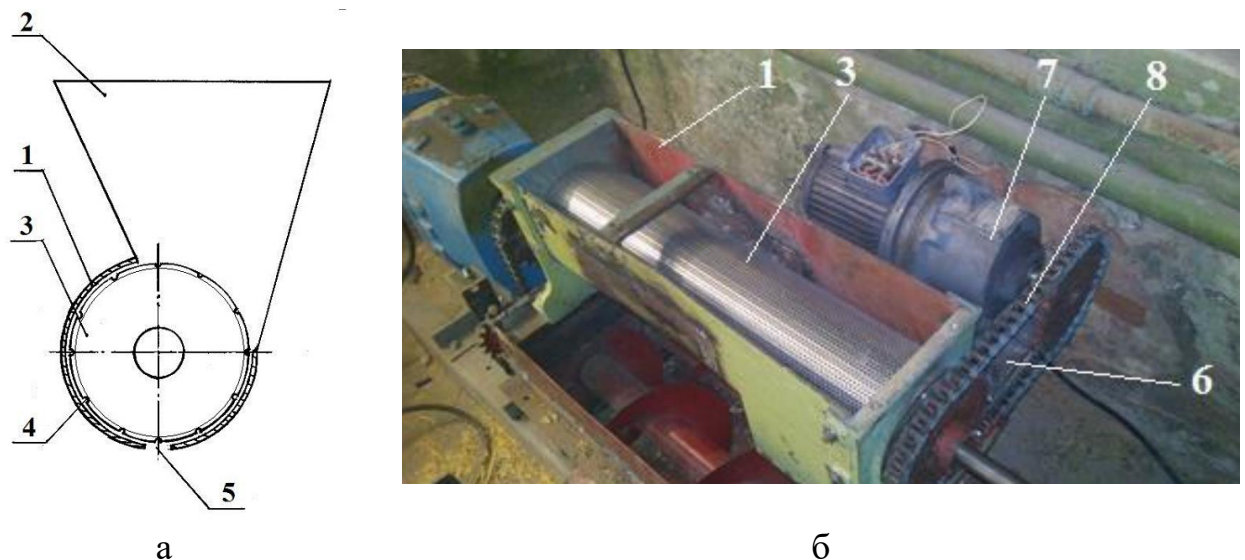


Рис. 2.1. Розроблений дозувальний пристрій: а – структурна схема жолобкового дозатора барабанного типу; б – виготовлений зразок: 1 – циліндрична основа; 2 – місткість для матеріалу; 3 – жолобковий циліндр; 4 – жолобок; 5 – вихідне вікно; 6 – кріплення; 7 – електропривод; 8 – ланцюг

Особливість конструкційного виконання полягає у здатності дозувати дрібноподрібнений порошкоподібний матеріал. Принцип роботи запропонованого дозатора полягає в наступному. Із завантажувальної горловини до жолобків потрапляє матеріал під час обертання циліндричного робочого органу. Пройшовши певний шлях під час обертання, із жолобка в зоні вихідного вікна матеріал вивільняється до загального потоку спрямованого у змішувальний пристрій.

Для зміни інтенсивності обертання робочого барабана передбачається можливість зміни передаточного числа ланцюгового пристрою, для дискретно регульованого процесу. Але для умов виробництва краще використовувати безступінчастий привод з використанням перетворювача частоти. Окремим способом зміни кількості подаючого матеріалу є зміна площі поперечного перерізу вихідного вікна. Проте таке регулювання погано узгоджується із кількістю матеріалу який знаходиться у жолобках барабана. Таке поєднання повинно відповідати умовам потоковості, але за умови мінімальної подачі при неможливості знизити подачу барабаном цілком прийнятний спосіб отримання заданої подачі.

Кількість матеріалу що спрямовується до вихідного вікна залежить від кількості матеріалу що знаходиться у жолобках барабана розробленого дозувального пристрою. При цьому, розмір жолоба та їх кількість у робочій зоні залежить від геометричних параметрів самого барабана, тобто його діаметра та довжини. Розмір заглибини жолоба має бути, також узгоджений із фізико-механічними властивостями компонентів які будуть використовуватись при експлуатації розробленої конструкції дозатора барабанного типу.

Отже, запропонована конструкція дозувального пристрою барабанного типу потребує встановлення відповідності прийнятих геометричних параметрів та кінематичних режимах якісним показникам роботи.

2.2. Встановлення якісних показників технологічного процесу дозування

Кількість матеріалу який буде подаватись до збірного транспортеру залежить від декількох факторів. В першу чергу це інтенсивність обертання жолобкового циліндра та розмір простору самого жолобка. До інших, не менш важливих, факторів можна віднести фізико-механічні властивості матеріалу та розмір вихідного вікна. Відповідно до методики планування експерименту [14, 15, 16] оформимо дію вказаних факторів (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Фактори що досліджуються

Позначення	Фактор	діапазон зміни		
		-1	0	+1
X1	Інтенсивність обертання, хв^{-1}	15	47,5	80
X2	Розмір часток, мм	0,01	0,25	0,5
X3	Розмір жолобу, мм	3,5	4,5	5,5

Для встановлення якісних показників роботи розробленого дозатора запропонована схема проведення досліджень (рис. 2.2). [13]

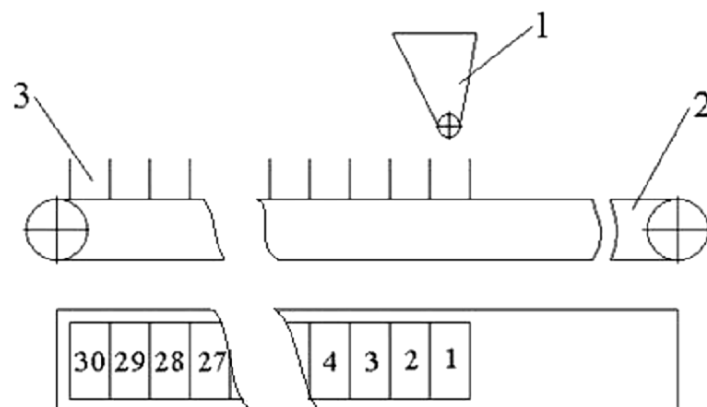


Рис. 2.2. Структурна схема дослідження якості функціонування запропонованого дозатора: 1 – розроблений пристрій дозування; 2 – транспортер; 3 – місткості для матеріалу

Маємо багатofакторний експеримент, будемо робити три повторення. Дослідження проводили в наступній послідовності. Завантажений матеріал із розробленого дозатора надходив до транспортера із місткостями однакового розміру, що рухався із постійною заданою швидкістю. При цьому якість дозувального механізму визначали за формулою [14]:

$$H_n = \frac{\sum v_i}{3}, \quad (2.1)$$

де v_i – варіаційний коефіцієнт i -того дослідження що повторюються.

Досліди проводили три рази для отримання адекватних результатів із досить великого масиву даних – із 30 жолобків на транспортері отримуються 90 різних значень. Варіаційний коефіцієнт можна встановити за формулою [14]:

$$v_i = \frac{\sigma}{x} \cdot 100\%, \quad (2.2)$$

де σ – квадрат середнього відхилення, визначається за формулою [14]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (2.3)$$

де x_i – значення яке отримане за кожне i -те дослідження;

\bar{x} – значення середньої величини від усіх отриманих даних за дослід;

n – кількість отриманих даних за дослід.

Обробка отриманого масиву даних, зокрема визначення середнього значення від отриманих під час дослідів, використовували програмний продукт Windows Excel.

Питомі витрати енергії на привод розробленого дозувального пристрою визначали за формулою [17, 18, 19]:

$$E_d = \frac{N_d}{Q_d}, \quad (2.4)$$

де N_d – встановлена потужність на привод жолобкового барабана, кВт;

Q_d – продуктивність розробленого дозувального пристрою барабанного типу, кг/год.

При цьому, продуктивність розробленого дозатора визначається як відношення подачі до тривалості технологічного процесу [19]:

$$Q_d = \frac{G_d}{t_d}, \quad (2.5)$$

де G_d – кількість матеріалу який подає розроблений дозувальний пристрій впродовж часу t_d , кг;

t_d – тривалість проведення дослідження при виході маси рівної G_d , год.

Результати отримані під час досліджень заносились у таблиці даних для встановлення функціональної залежності між поданими факторами при використанні програмного продукту.

2.3. Висновки до розділу 2

1. Розроблений дозатор барабанного типу відрізняється від серійних пристроїв наявністю жолобкового циліндричного циліндра. Така конструкція поверхні барабана дозволяє забезпечити дозування порошкоподібного матеріалу без утворення згустків.

2. Проведення досліджень передбачає складання плану експерименту з врахуванням трьох факторів. В результаті проведених досліджень отримали необхідний масив даних.

РОЗДІЛ 3
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ
РОЗРОБЛЕНОГО ДОЗАТОРА

3.1. Встановлення варіаційного коефіцієнта процесу дозування

Відповідно до плану експерименту та схеми проведення досліджень (див. рис. 2.2) кожен порцію із пронумерованих відділень зважували на вагах із максимальною точністю $\pm 0,5$ грама. Метою досліджень було встановлення варіаційного коефіцієнта. В наслідок обробки експериментальних даних отримали графічні залежності (рис. 3.1-3.3) та рівняння регресії:

$$\begin{aligned} v_d = & 14,45112 - 0,00455n_d - 4,22852r_d - 5,79871l_d - 0,00263n_dr_d + \\ & + 0,05662n_dl_d - 2,73911r_dl_d - 0,00012n_d^2 + 0,50789r_d^2 + 59,18945l_d^2, \end{aligned} \quad (3.1)$$

де n_d – інтенсивність обертання жолобкового циліндра, хв^{-1} ;

r_d – параметр заглибини жолобу, мм

l_d – розмір часток, мм.

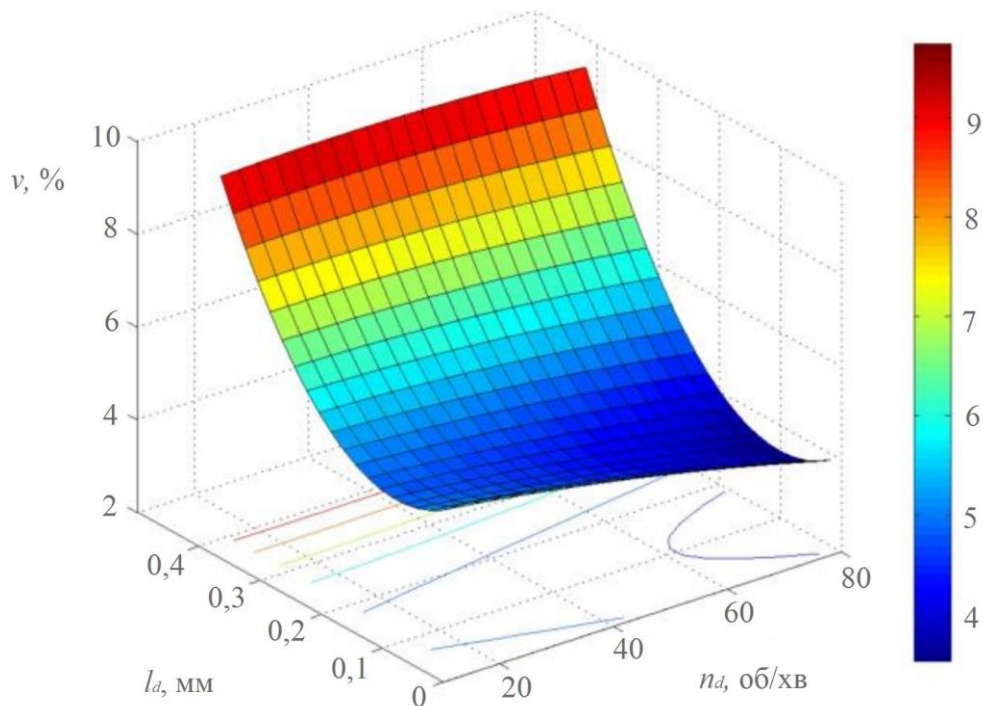


Рис. 3.1. Вплив інтенсивності обертання та параметру розміру частки на варіаційний коефіцієнт при параметрі заглибини жолоба 3,5 мм.

Аналіз графічної залежності на рис. 3.1. вказує суттєвий вплив на варіаційний коефіцієнт (v) параметру розміру частки. Так, зі зменшенням розміру частинок матеріалу від 0,5 до 0,1 мм знижується величина варіаційного коефіцієнта від 9,57 % до 5,63 % при інтенсивності обертів 15 об/хв. При збільшенні інтенсивності обертів від 15 до 80 об/хв варіаційний коефіцієнт знижується майже у всьому діапазоні параметрів розміру часток матеріалу. Максимальне зменшення варіаційного коефіцієнта отримують в усьому діапазоні інтенсивності обертів при параметрі розмірів частки 0,1 мм. За умови інтенсивності обертів 80 об/хв варіаційний коефіцієнт становитиме 3,63 %.

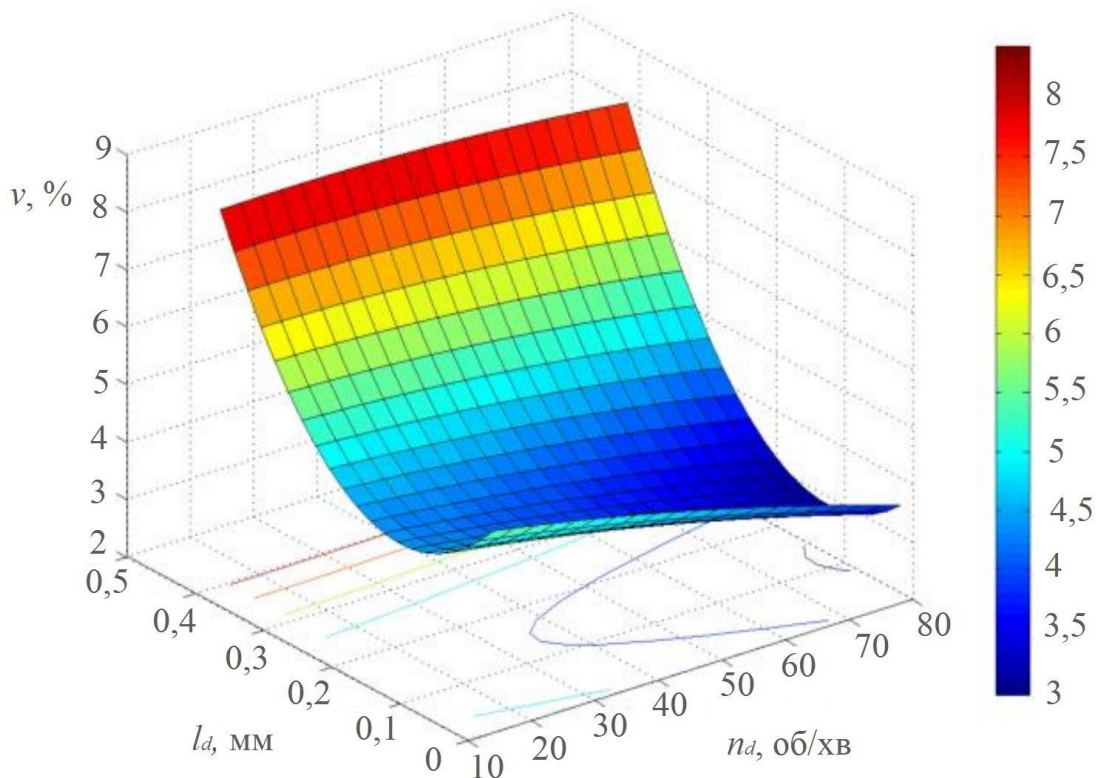


Рис. 3.2. Вплив інтенсивності обертання та параметру розміру частки на варіаційний коефіцієнт при параметрі заглибини жолоба 4,5 мм.

При використанні дискретного значення параметру заглибини жолоба на рівні 4,5 мм (рис. 3.2) характер графічної залежності не змінюється. Проте, варіаційний коефіцієнт має найменше значення 2,8 % при інтенсивності обертів 80 об/хв при параметру розміру частки 0,14 мм. Максимальна величина

варіаційного коефіцієнту становить 7,9 % при інтенсивності обертів 80 об/хв та параметру розміру частки 0,50 мм.

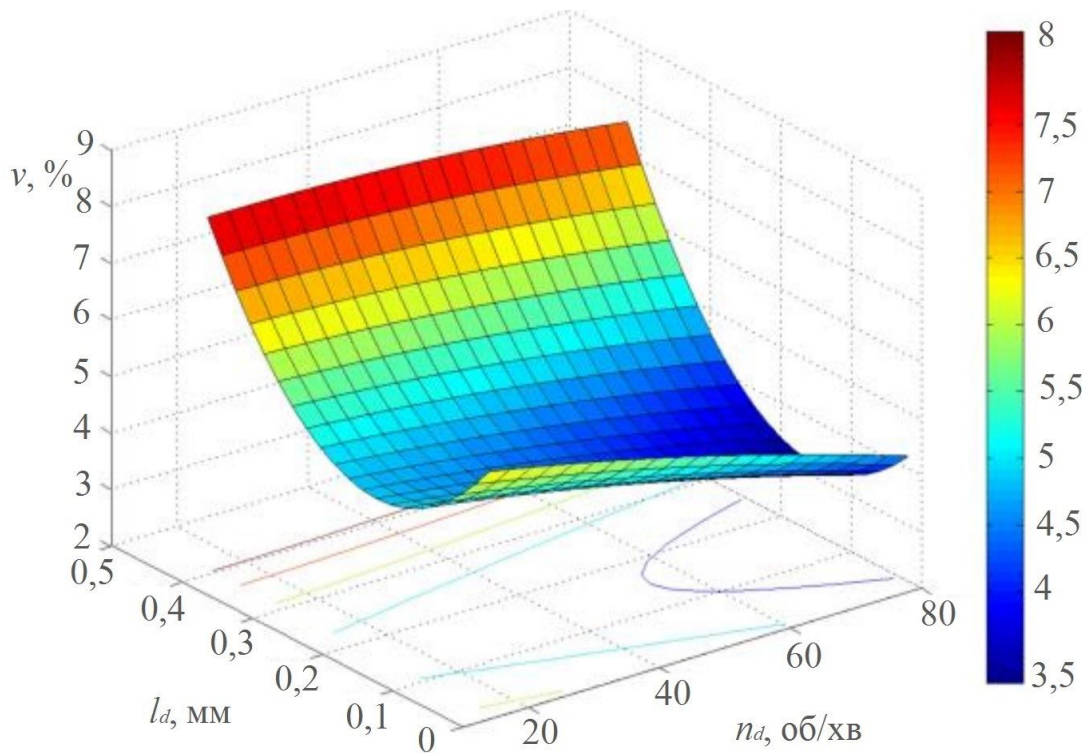


Рис. 3.3. Вплив інтенсивності обертання та параметру розміру частки на варіаційний коефіцієнт при параметрі заглибини жолоба 5,5 мм.

При збільшенні значення параметру заглибини жолоба до 5,5 мм (рис. 3.3) варіаційний коефіцієнт, порівняно із графічними залежностями на рис. 3.2, збільшується як при мінімальному так і при максимальному значенні інтенсивності обертів робочого органу. Так при зміні інтенсивності обертів від 15 до 80 об/хв варіаційний коефіцієнт зменшується від 4,67 до 3,38 %. При цьому оптимальним параметром розміру частки є величина 0,18 мм, а інтенсивності обертів – 80 об/хв.

Таким чином, на варіаційний коефіцієнт який характеризує нерівномірність подачі матеріалу суттєвий вплив має параметр розміру частки матеріалу – чим менший розмір тим нижчий варіаційний коефіцієнт. Параметр заглибини жолоба відповідно до досліджень має бути 4,0-4,5 мм, оскільки більші та менші значення збільшують величину варіаційного коефіцієнта.

Інтенсивність обертів жолобкового циліндра має значно менший вплив на варіаційний коефіцієнт, проте раціональні параметри знаходяться в межах 58-80 об/хв.

Проведений аналіз рівняння регресії (3.1) вказує на значимість факторів у досліджуваному процесі, тобто математична модель є адекватною та працездатною, коефіцієнт детермінації становить $R^2=0,82$, що більше мінімально-допустимого значення 0,75.

3.2. Встановлення енергетичних показників розробленого дозатора

Основними експлуатаційними та енергетичними показниками якими оцінюється технологічний процес дозування компонентів будь-якої сумішки, окрім варіаційного коефіцієнта, є продуктивність обладнання та енергоємність.

В процесі проведення дослідів отримали масив даних, які при обробці за допомогою програмного забезпечення, дали значення показника продуктивності. За результатами даних отримали рівняння регресії та поверхні відгуку (рис. 3.4-3.6) що встановлюють взаємозв'язок між досліджуваними факторами.

Рівняння регресії впливу досліджуваних факторів на подачу жолобкового циліндричного дозатора при параметру розміру частки 0,1 мм має вигляд:

$$Q_d = -33,6717 + 32,1385r_d - 0,4856n_d + 0,3508n_d r_d - 0,0031n_d^2 - 3,1333r_d^2, \quad (3.2)$$

де n_d – інтенсивність обертання жолобкового циліндра, хв⁻¹;

r_d – параметр заглибини жолобу, мм.

Рівняння регресії (3.2) є адекватним оскільки коефіцієнт детермінації становить $R^2=0,88$, що більше мінімально-допустимого значення 0,75.

Графічна інтерпретація рівняння регресії (3.2) наведена на рис. 3.4.

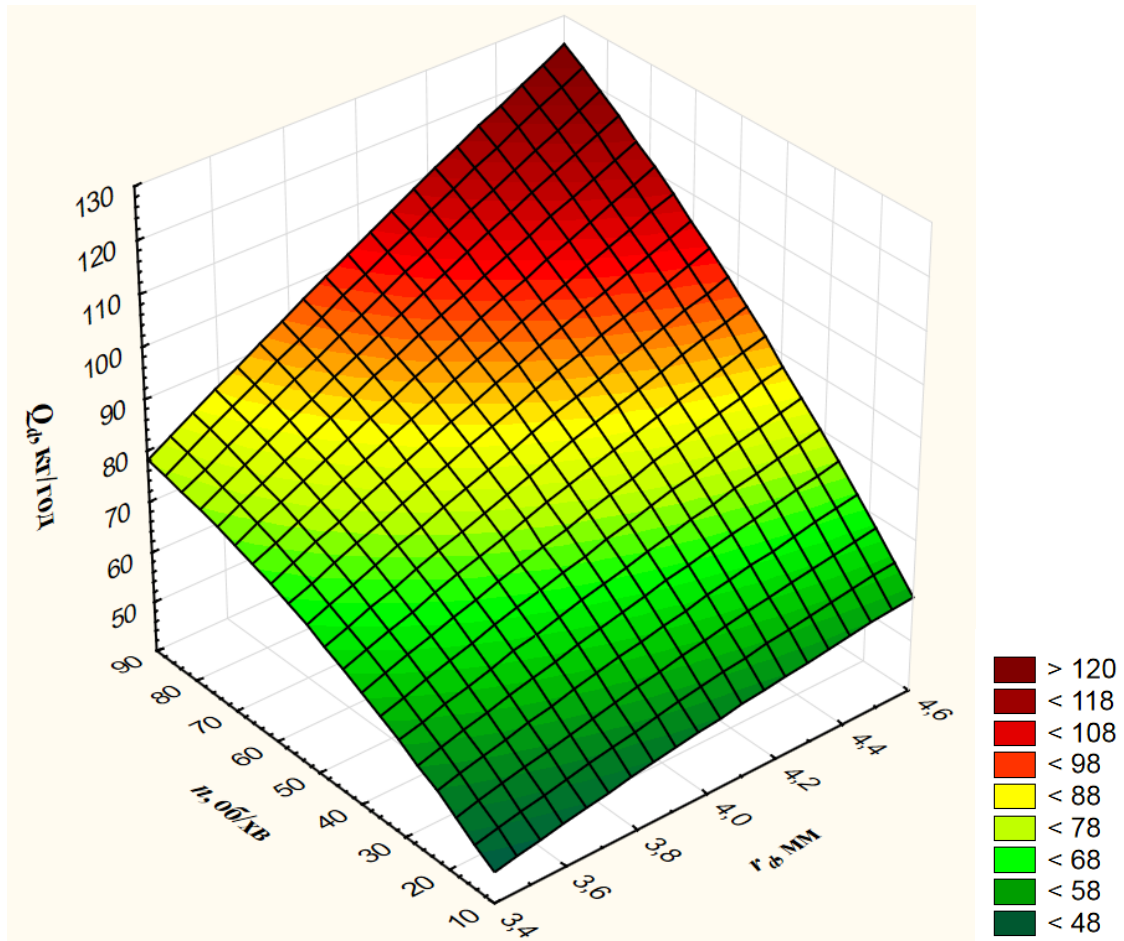


Рис. 3.4. Залежність продуктивності розробленого дозувального пристрою (Q_d) від інтенсивності обертання жолобкового барабана (n_d) та параметрі заглибини жолоба (r_d) за умови параметру розміру частки $l_d=0,10$ мм.

Відповідно до поверхні відгука на рис. 3.4, зі збільшенням інтенсивності обертів жолобкового барабана продуктивність дозувального пристрою зростає незалежно від параметрі заглибини жолоба. Так, при збільшенні частоти обертання з 15 до 80 об/хв подача зростає на 36-45 % при збільшенні розміру жолоба від 3,5 до 4,5 мм відповідно. При збільшенні параметра жолобу від 3,5 до 4,5 мм подача збільшується на 23-43 % при зростанні частоти обертів з 15 до 80 об/хв відповідно. Таким чином, як збільшення частоти обертів так і збільшення параметра жолоба призводить до збільшення подачі розробленого дозувального пристрою за умови параметру розміру частки $l_d=0,10$ мм.

Рівняння регресії впливу досліджуваних факторів на подачу жолобкового циліндричного дозатора при параметру розміру частки 0,25 мм має вигляд:

$$Q_d = -47,6459 + 45,7371r_d + 0,5506n_d + 0,2143n_dr_d - 0,009n_d^2 - 4,2323r_d^2, \quad (3.3)$$

де n_d – інтенсивність обертання жолобкового циліндра, хв⁻¹;

r_d – параметр заглибини жолобу, мм.

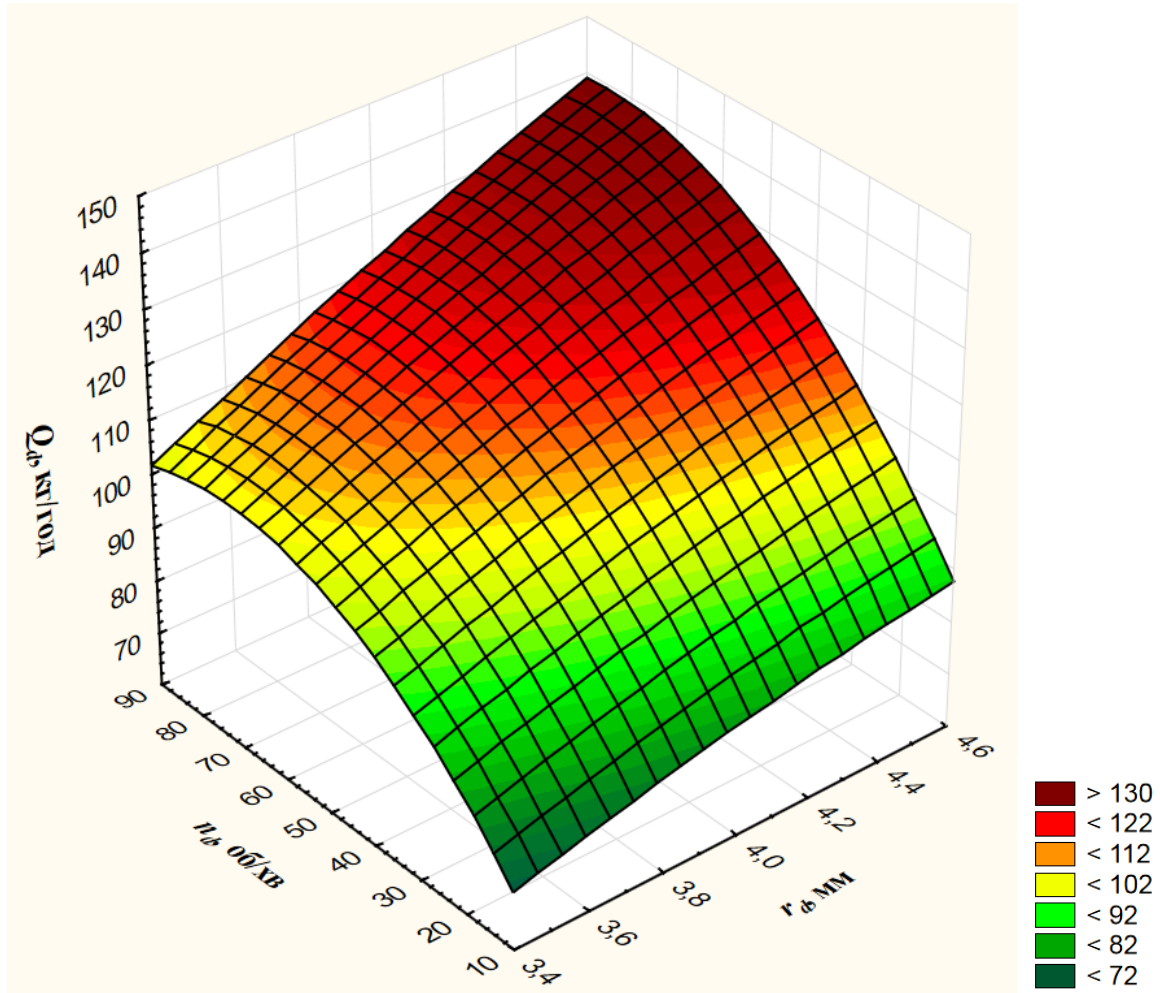


Рис. 3.5. Залежність продуктивності розробленого дозувального пристрою (Q_d) від інтенсивності обертання жолобкового барабана (n_d) та параметрі заглибини жолоба (r_d) за умови параметру розміру частки $l_d=0,25$ мм.

При використанні продукту розмір частинок якого становить 0,25 мм (рис. 3.5) характер поверхні відгуку суттєво не змінюється. Проте спостерігається деяка зона оптимальних значень щодо частоти обертів в межах 50-65 об/хв для досліджуваного діапазону параметрів розміру жолоба барабана. Так, при параметрі жолоба 3,5 мм при збільшенні частоти обертів з 15 до 80 об/хв продуктивність збільшується на 43 %, а при використанні робочого

циліндра із параметрі жолоба 4,5 мм при збільшення частоти обертів з 15 до 80 об/хв продуктивність збільшується на 50,5 %. Зі збільшенням параметра розміру жолоба від 3,5 до 4,5 мм подача зростає менш інтенсивніше – на 23 % при частоті обертів 15 об/хв та на 30 % при частоті обертів 80 об/хв.

Рівняння регресії впливу досліджуваних факторів на подачу жолобкового дозатора при параметрі розміру частки 0,4 мм має вигляд:

$$Q_d = -169,7758 - 1,3165r_d - 39,4385n_d + 0,2292n_d r_d + 2,4333n_d^2 + 0,0014r_d^2, \quad (3.4)$$

де n_d – інтенсивність обертання жолобкового циліндра, хв⁻¹;

r_d – параметр заглибини жолобу, мм.

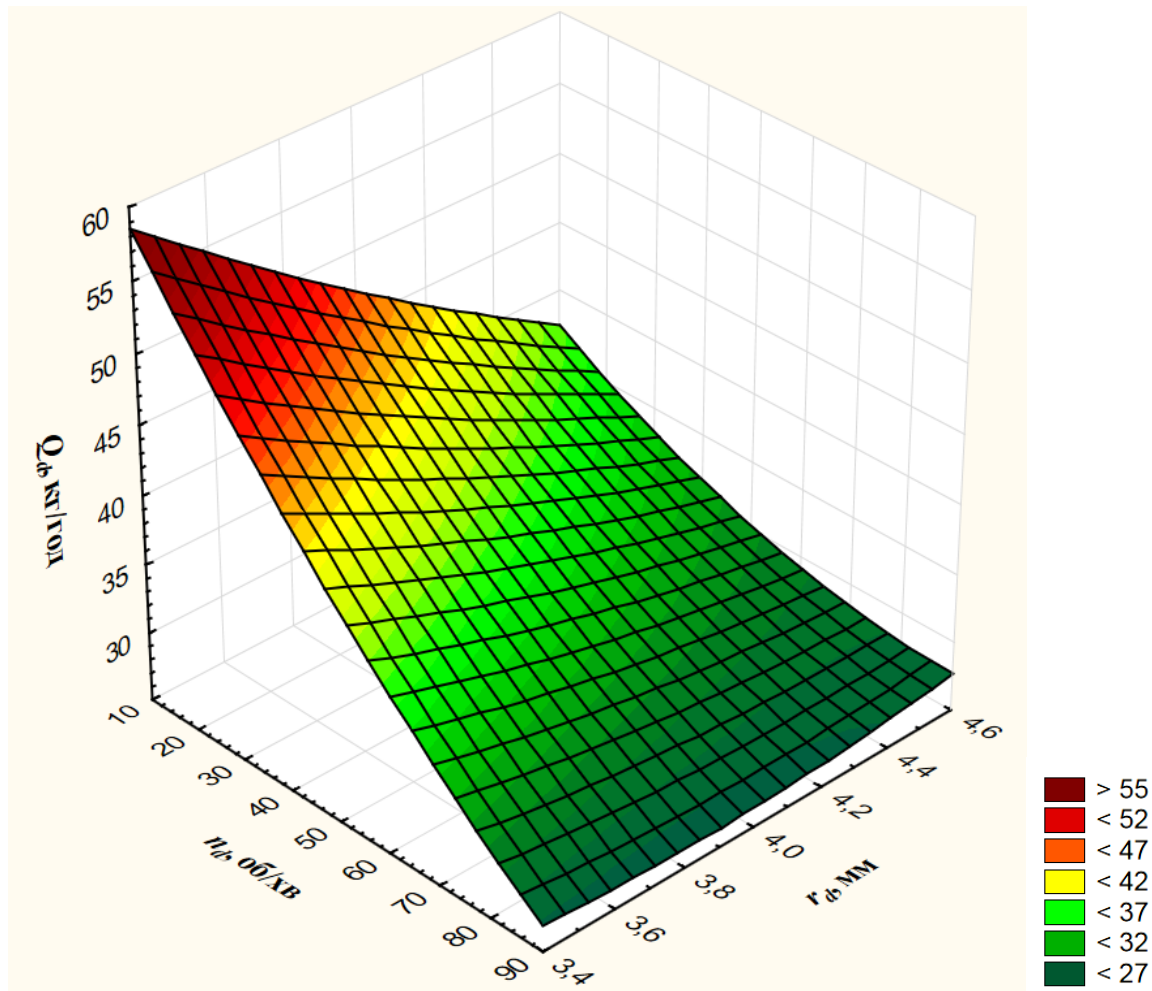


Рис. 3.6. Залежність продуктивності розробленого дозувального пристрою (Q_d) від інтенсивності обертання жолобкового барабана (n_d) та параметрі заглибини жолоба (r_d) за умови параметру розміру частки $l_d=0,40$ мм.

Поверхня відгуку на рис. 3.6 при дії однакових факторів має дещо відмінну форму порівняно із графіками на рис. 3.4. та рис. 3.5. Так, зі збільшенням частоти обертів подача розробленого дозувального пристрою зменшується незалежно від параметра розміру жолоба. Це протилежно тому що спостерігали в попередніх дослідженнях із матеріалом меншого розміру частинок. Пояснити таку відмінність можна розміром частинок в 0,4 мм які недостатньо повно заповнюють жолоб циліндра. А при збільшенні частоти обертів з 15 до 80 об/хв. подача знижується за рахунок неповного видалення продукту із жолобів циліндра. При цьому кожен наступний оберт характеризується меншим ступенем заповнення жолобів новими порціями матеріалу. Тому, для запропонованої конструкції жолобкового циліндричного дозатора параметр розміру часток має бути в межах 0,1-0,25 мм.

Проведені дослідження виявили, що найбільшу продуктивність розроблений жолобковий дозатор має при параметрі розміру частки $l_d=0,25$ мм. Тому, в подальших дослідженнях енергоємності розробленого дозувального пристрою, фактор параметру розміру частки буде незмінним.

За результатами досліджень отримали рівняння регресії та поверхню відгуку (рис. 3.7) взаємозв'язку енергоємності із кінематичними параметрами та варіаційним коефіцієнтом:

$$E_d = -7,965 + 2,8035v + 0,0349n_d - 0,2156v^2 + 0,0015n_dv + 0,000517n_d^2, \quad (3.5)$$

де n_d – інтенсивність обертання жолобкового циліндра, хв⁻¹;

v – нерівномірність процесу подачі, %.

Рівняння регресії (3.5) є адекватним оскільки коефіцієнт детермінації становить $R^2=0,92$, що більше мінімально-допустимого значення 0,75. Таким чином досліджувані фактори – інтенсивність обертів жолобкового циліндра та варіаційний коефіцієнт мають кореляційну залежність, а коефіцієнти є достовірними.

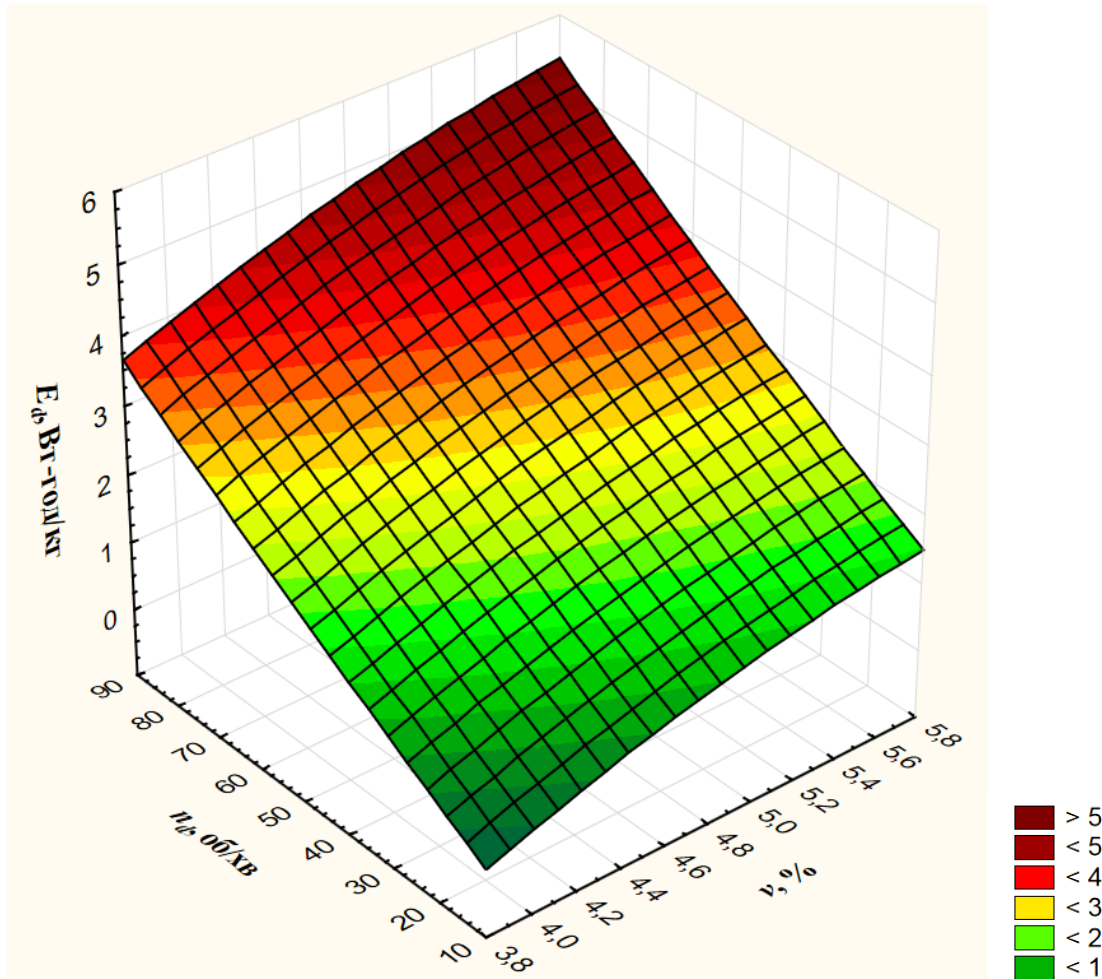


Рис. 3.7. Енергоємність розробленого дозувального пристрою (E_d) залежно від інтенсивності обертання жолобкового циліндра (n_d) та варіаційного коефіцієнта (v) за умови параметру розміру частки $l_d=0,25$ мм.

Відповідно до графічних залежностей на рис. 3.7, енергоємність технологічного процесу збільшується зі збільшенням інтенсивності обертів робочого органу. Максимальній частоті обертів робочого органу 80 об/хв відповідає мінімальне значення варіаційного коефіцієнта – 3,8%. При цьому енергоємність технологічного процесу становить 3,27 Вт×год/кг, що більше на 4,3 % при частоті обертів робочого органу 47,5 об/хв. Проте при збільшенні величини варіаційного коефіцієнта збільшується і енергоємність технологічного процесу незалежно від інтенсивності частоти обертів. Це можна пояснити зменшенням продуктивності розробки при зменшенні частоти обертів.

За результатами досліджень отримали рівняння регресії та поверхню відгуку (рис. 3.8) взаємозв'язку енергоємності із геометричними параметрами жолоба циліндра та продуктивністю:

$$E_d = 10,9759 - 8,4891r_d + 0,178Q_d + 1,5435r_d^2 - 0,0565r_dQ_d + 0,0005Q_d^2, \quad (3.6)$$

де Q_d – продуктивність дозування, кг/год;

r_d – параметр заглибини жолоба, мм.

Рівняння регресії (3.6) є адекватним оскільки коефіцієнт детермінації становить $R^2=0,89$, що більше мінімально-допустимого значення 0,75.

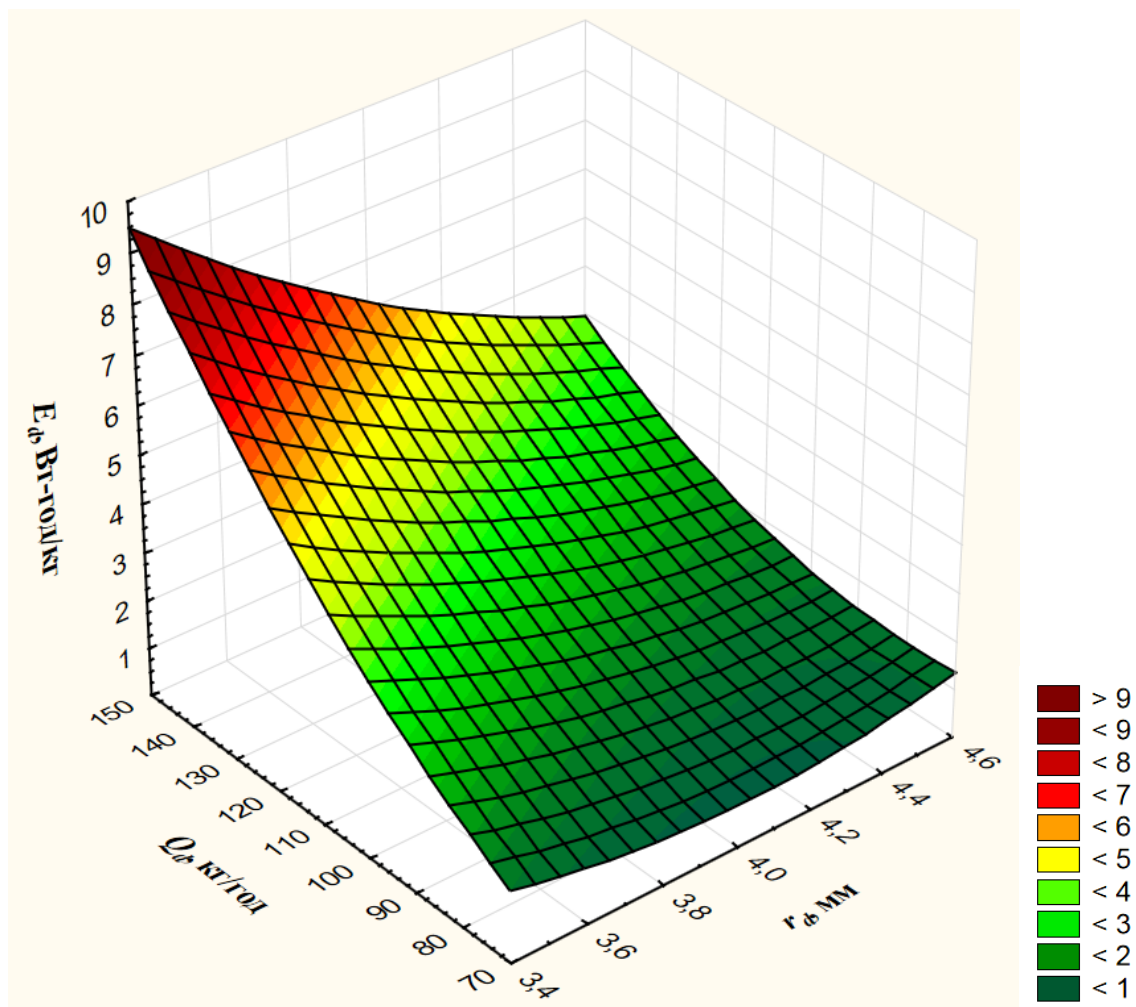


Рис. 3.8. Енергоємність розробленого дозувального пристрою (E_d) залежно від продуктивності (Q_d) та параметра заглибини жолоба (r_d) за умови параметру розміру частки $l_d=0,25$ мм.

Відповідно до графічних залежностей на рис. 3.7, меншому значенню продуктивності жолобкового дозувального пристрою відповідає менша енергоємність технологічного процесу незалежно від параметра заглибини жолоба. Поверхня відгуку (рис. 3.7) має екстремум у діапазоні 4,0-4,2 мм параметра заглибини жолоба, який можна вважати раціональною величиною. За таких параметрів заглибини жолоба продуктивність знаходиться в межах 115-122 кг/год при енергоємності 2,5-2,7 Вт×год/кг при нерівномірності подачі 3,4-3,8 %.

3.3. Висновки до розділу 3

1. Отримане рівняння регресії яке описує вплив досліджуваних факторів на коефіцієнт варіації. Встановлено, що варіаційний коефіцієнт який характеризує нерівномірність подачі матеріалу суттєво залежить від параметра розміру частки матеріалу – чим менший розмір тим нижчий варіаційний коефіцієнт. Параметр заглибини жолоба відповідно до досліджень має бути не більше 4-4,5 мм, оскільки більші та менші значення збільшують величину варіаційного коефіцієнта. При параметрі розмірів частинок не менше 0,14 мм варіаційний коефіцієнт має найменше значення.

2. Встановлено вплив частоти обертання та геометричних параметрів розробленого дозатора барабанного типу на продуктивність технологічного процесу. Отримали рівняння регресії взаємозв'язку частоти обертів робочого органу, величини заглибини жолоба та розмір часток дозувального матеріалу з подачею дозувального пристрою. Встановлено оптимальний розмір частинок в межах 0,14-0,25 мм за якого отримуються раціональні параметри технологічного процесу.

ВИСНОВКИ

1. Дозувальні пристрої барабанного типу мають різноманітне конструкційне виконання залежно від умов використання та фізико-механічних властивостей матеріалу. Встановлено, що дозатори барабанного типу наділені прийнятною точністю дозування у 4-5 % та мають низьку енергоємність технологічного процесу порівняно із дозувальними пристроями шнекового, транспортерного та вагового типу потокового режиму роботи.

2. Розроблений дозатор барабанного типу відрізняється від серійних пристроїв наявністю жолобкового циліндричного барабана. Така конструкція поверхні барабана дозволяє забезпечити дозування порошкоподібного матеріалу без утворення згустків та злипань.

3. Встановлено, що коефіцієнт варіації що характеризує нерівномірність подачі матеріалу суттєво залежить від параметра розміру частки матеріалу. Результати досліджень вказали, що менше значення коефіцієнта варіації спостерігається при величині заглибини жолоба в межах 4-4,5 мм. При параметрі розмірів частинок не менше 0,14 мм нерівномірність дозування має найменше значення. Отримане рівняння регресії яке описує вплив частоти обертання робочого органу та величини заглибини жолоба на коефіцієнт варіації.

4. Отримали рівняння регресії взаємозв'язку частоти обертів робочого органу, величини заглибини жолоба та розмір часток дозувального матеріалу з подачею дозувального пристрою. Встановлено оптимальний розмір частинок в межах 0,14-0,25 мм за якого отримуються раціональні параметри – заглибина жолоба 4-4,2 мм, частота обертання барабана 50-65 об/хв.

5. Отримали рівняння регресії взаємозв'язку величини заглибини жолоба та продуктивності дозатора на енергоємність технологічного процесу. Встановлено, що при продуктивності дозатора 115-122 кг/год енергоємність становить 2,5-2,7 Вт×год/кг при нерівномірності подачі 3,4-3,8 % порошкоподібного матеріалу з розміром часток 0,25 мм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналіз конструкцій дозаторів сипких компонентів комбікорму. / М. А. Бурима та ін. *Перспективна техніка і технології*. Миколаїв, 2017. С. 13–20.
2. Машина та обладнання для тваринництва. Підручник / за ред. І. Г. Бойка. Том 1. Харків: Видавництво ЧП Черв'як, 2006. 225 с.
3. Машина та обладнання для тваринництва. Підручник / за ред. І. Г. Бойка. Том 2. Харків: Видавництво ЧП Черв'як, 2006. 279 с.
4. Практикум по машинах і обладнанню для тваринництва / за ред. О. П. Скорики. Х.: НМЦ ХНТУСГ, 2004. 275 с.
5. Проектування технологій і технічних засобів для тваринництва. / за ред. Скорики О. П., Полупанова В. М. Харків ХНТУСГ, 2009. 429 с.
6. Сиротюк В. М. Машина та обладнання для тваринництва: навч. посібник. Львів: Магнолія плюс, 2004. 200 с.
7. Теорія та розрахунок машин для тваринництва / за ред. І. Г. Бойка. Х.: НМЦ ХНТУСГ, 2002. 216 с.
8. Кур'ята Д. В. Конструкційні особливості дозаторів сипких матеріалів. *Наукові читання–2024: матеріали науково-практичної конференції*. 20 травня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С. 106–112.
9. Ревенко І.І. Результати експериментальних досліджень дозатора концентрованих кормів. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. Київ. 2005. № 80. Ч1. С. 132–133.
10. Сиромятніков П. С. До питання дозування малосипучих кормів у тваринництві. *Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві: матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції*, 3-22 жовтня 2022 р. Глеваха-Київ. 2022. С. 90–93.
11. Кур'ята Д. В. Оцінка функціональності барабанних дозаторів. *Студентські читання–2024 : матеріали науково-практичної конференції*. 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 71–73.

12. Тарасевич А. М. Удосконалення дозатора легкосипких матеріалів : кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр зі спеціальності 208 – агроінженерія. Житомир: Поліський національний університет, 2023. 35 с.
13. Медведський О. В., Кур'ята Д. В. Встановлення якісних показників технологічного процесу дозування. *Біоенергетичні системи* : матеріали VIII Міжнародної науково-практичної конференції. 12-14 листопада 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С. 10–12.
14. Повсякдений В. А. Методика проведення досліджень потокових процесів. Київ: Вища школа, 2014. 438 с.
15. Науменко О. А. Планування експерименту в дослідженні процесу дозування сипучих компонентів кормів. ВІСНИК ХНТУСГ ім. П.ВАСИЛЕНКА. 2017. Вип. 181. С. 22–28.
16. Банга В. І. Результати експерименту факторів, що впливають на продуктивність індивідуального дозатора комбікормів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2023. 12(1). <https://doi.org/10.31388/sbtsatu.v12i1.290>.
17. Тижба А. В. Встановлення експлуатаційних показників дозувальних механізмів. *Техніка АПК*. 2014. №8. С. 22–28.
18. Борозенець Г. М., Павлов В. М., Семак І. В. Деталі машин : навчальний посібник. К.: Видавничий дім «Кондор», 2021. 220 с.
19. Шабельник Б. П., Троянов М. М. Теорія та розрахунок машин для тваринництва. Х.: ХДТУСГ, 2012. 216 с.
20. Водяний Г. П. Математична обробка дослідних даних у процесах обробки матеріалів. К.: Вища школа, 2002. 458 с.