

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до кваліфікаційної роботи
ступеня вищої освіти «Магістр»
на тему:

**Обґрунтування процесу очищення зерна у
вертикальних аспіраційних каналах**

Виконав: здобувач вищої освіти 2 курсу,
групи МГХТ-2-22
освітньо-професійної програми «Харчові технології»
зі спеціальності 181 «Харчові технології»

_____ Станіслав ГРИЦИШИН

Керівник: _____ Олександр ПІВОВАРОВ

Рецензент: _____ Владислав ГРИЦИШИН

Дніпро 2023

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра харчових технологій
Ступінь вищої освіти: «Магістр»
Освітньо-професійна програма: «Харчові технології»
Спеціальність: 181 «Харчові технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри
харчових технологій,
кандидат технічних наук, доцент
_____ Віталій КОШУЛЬКО
(підпис)
«09» листопада 2023 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧЕВІ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Грицишину Станіславу Ігоровичу

1. Тема роботи: «Обґрунтування процесу очищення зерна у вертикальних аспіраційних каналах».
Керівник роботи: Півоваров Олександр Андрійович, доктор технічних наук, професор, затверджені наказом закладу вищої освіти від «09» листопада 2023 року № 3423.
2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи 08 грудня 2023 року
3. Вихідні дані до роботи: 1. Технологія та обладнання для забезпечення процесу первинної очистки зерна у вертикальних аспіраційних каналах. 2. Наукова, нормативна, технологічна, технічна та патентна документація.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Вступ. 1 Аналітичний огляд та стан питання. 2 Теоретичні дослідження пневмосепарації зернового матеріалу в висхідному повітряному потоці. 3 Програма і методика експериментальних досліджень. 4 Обґрунтування основних конструктивно-технологічних параметрів обладнання для очистки зерна повітряним потоком. 5 Охорона праці та захист навколишнього середовища. 6 Організаційно-економічна частина. Загальні висновки. Бібліографія.

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Мета роботи та її основні завдання. 2 Класифікація пневмосепарувальних каналів. 3 Теоретичні дослідження процесу сепарування. 4 Програма і методика експериментальних досліджень. 5 Схема проведення експериментальних досліджень. 6 Результати проведення експериментальних досліджень. 7 Кошторис витрат на проведення досліджень. 8 Загальні висновки.

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Посада, прізвище та ім'я консультанта | Підпис, дата | |
|--------|---------------------------------------|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| 1 – 4 | професор ПІВОВАРОВ Олександр | 09.11.2023 | 08.12.2023 |
| 5 | професор ПІВОВАРОВ Олександр | 09.11.2023 | 08.12.2023 |
| 6 | професор ПІВОВАРОВ Олександр | 09.11.2023 | 08.12.2023 |

7. Дата видачі завдання 09 листопада 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|---|-------------------------------|----------|
| 1 | Вступ | 09.11-10.11.23 | виконано |
| 2 | Аналітичний огляд та стан питання | 13.11-15.11.23 | виконано |
| 3 | Теоретичні дослідження пневмосепарації зернового матеріалу в висхідному повітряному потоці | 16.11-17.11.23 | виконано |
| 4 | Програма і методика експериментальних досліджень | 20.11-22.11.23 | виконано |
| 5 | Обґрунтування основних конструктивно-технологічних параметрів обладнання для очистки зерна повітряним потоком | 23.11-28.11.23 | виконано |
| 6 | Охорона праці та захист навколишнього середовища | 29.11-30.11.23 | виконано |
| 7 | Організаційно-економічна частина | 01.12-04.12.23 | виконано |
| 8 | Загальні висновки та бібліографія | 05.12-06.12.23 | виконано |
| 9 | Розробка та підготовка демонстраційного матеріалу | 07.12.2023 | виконано |

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Станіслав ГРИЦІШИН

Керівник роботи

_____ (підпис)

Олександр ПІВОВАРОВ

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка магістерської роботи містить: 79 сторінок друкованого тексту, 25 рисунків та ілюстрацій, 12 таблиць та використано 56 літературних джерел посилань.

Метою роботи є підвищення ефективності сепарування зерна в пневматичних вертикальних каналах від легких, щуплих, дрібних і битих зерен.

Об'єкт дослідження – зерно, органічна і мінеральна домішка, пневматичний вертикальний канал з перегородками.

Предмет досліджень – технологічний процес сепарування зерна за аеродинамічним властивостям в вертикальному каналі, вирівнювання швидкості повітряного потоку у вертикальному каналі.

Наявна в сільському господарстві зерноочисна техніка морально застаріла, оскільки не відповідає сучасним умовам зерновиробництва і фізично зношена на 70 – 90 %. Забезпеченість великих і середніх господарств не перевищує 35 %, а малі фермерські господарства зовсім не мають необхідної техніки.

Необхідно розробити зерноочисні максимально адаптовані до різноманітних умов сучасного сільськогосподарського виробництва, що забезпечує мінімальні витрати, але дозволяє на першому етапі обробки отримати більшу частину очищеного зерна.

Ключові слова: РОБОТА, СЕПАРУВАННЯ, АСПІРАЦІЙНИЙ КАНАЛ, СЕПАРАТОР, ДОСЛІДЖЕННЯ, ЗЕРНО, МАТРИЦЯ, ПЛАНУВАННЯ, ВИРОБНИЧА ПЕРЕВІРКА, АДЕКВАТНІСТЬ, ЕФЕКТИВНІСТЬ.

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| ВСТУП | 7 |
| 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА СТАН ПИТАННЯ | 9 |
| 1.1 Характеристика зернового матеріалу, що надходить на післязбиральну обробку | 9 |
| 1.2 Аналіз сепарування зернового матеріалу в пневмосепарувальних каналах з висхідним повітряним потоком | 12 |
| Висновки за розділом | 18 |
| 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПНЕВМОСЕПАРУВАННЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ В ВИСХІДНОМУ ПОВІТРЯНОМУ ПОТОЦІ | 20 |
| 2.1 Математична модель процесу сепарування компонентів зернового матеріалу в пневмоканалі з перегородками | 20 |
| Висновки за розділом | 28 |
| 3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ | 29 |
| 3.1 Програма експериментальних досліджень | 29 |
| 3.2 Опис експериментальної установки, обладнання і приладів | 30 |
| 3.2.1 Експериментальна установка для дослідження розподілу швидкості | 30 |
| 3.2.2 Прилад для визначення швидкості витання зернівок | 34 |
| 3.3 Методика експериментальних досліджень | 35 |
| 3.3.1 Схеми проведення експериментів | 35 |
| 3.3.2 Методика проведення дослідів при дослідженні розподілу зерна і домішки вихідного матеріалу по швидкості витання | 36 |
| 3.3.3 Методика проведення дослідів при дослідженні розподілу швидкості ісхідного повітряного потоку в пневмосепарувальному каналі з перегородками при різному питомому зерновому навантаженні | 36 |
| 3.3.4 Методика проведення дослідів при порівняльному дослідженні ефективності поділу зернового матеріалу в пневмосепарувальному каналі без перегородок та з однією і двома перегородками | 39 |
| Висновки за розділом | 40 |

| | |
|---|----|
| 4 ОБГРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ ЗЕРНА ПОВІТРЯНИМ ПОТОКОМ | 41 |
| 4.1 Обґрунтування схеми повітряного сепаратора | 41 |
| 4.2 Вплив основних параметрів повітряного сепаратора, в пневмоканалі якого встановлені перегородки | 42 |
| 4.2.1 Вплив швидкості витання пшениці і легкої домішки на ефективність поділу | 43 |
| 4.2.2 Вплив встановленого вібротка на ефективність очищення зерна від легких домішок в пневмоканалі без перегородок | 45 |
| 4.2.3 Вплив кількості та висоти встановлених перегородок в пневмоканалі на ефективність очищення зерна від легких домішок | 46 |
| 4.2.4 Обґрунтування основних параметрів повітряного сепаратора при очищенні зерна від легких домішок | 50 |
| 4.2.5 Вплив засміченості зернової суміші на ефективність очищення зерна від легких домішок | 58 |
| 4.2.6 Вплив вологості зернового матеріалу на ефективність виділення легких домішок | 60 |
| Висновки за розділом | 61 |
| 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА | 63 |
| 5.1 Розробка організаційно-технологічної карти | 63 |
| 5.2 Утилізація відходів на елеваторі ТОВ «Павлоградзернопродукт» | 65 |
| Висновки за розділом | 65 |
| 6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА | 66 |
| 6.1 Організація проведення дослідження | 66 |
| 6.2 Витрати, пов'язані з проведенням дослідження | 68 |
| 6.3 Розрахунок ціни дослідження | 71 |
| Висновки за розділом | 71 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ | 72 |
| БІБЛІОГРАФІЯ | 73 |

ВСТУП

Відомі зміни в сільськогосподарському виробництві нашої країни, що пройшли за останні роки, вимагають докорінних перетворень в післязбиральній обробці зерна [38].

Необхідно розробити зерноочисні максимально адаптовані до різноманітних умов сучасного сільськогосподарського виробництва, що забезпечує мінімальні витрати, але дозволяє на першому етапі обробки отримати більшу частину очищеного зерна.

У сільському господарстві знайшли застосування машини, в яких розділення зернового матеріалу проводиться виключно за допомогою повітряного потоку, так звані пневмосепаратори. Найбільше поширення по конструктивній простоті і компактності отримали пневмосепаратори, в яких використовується канал з висхідним повітряним потоком. Такі канали забезпечують більш тривалий вплив повітряного потоку на сепарований матеріал, в порівнянні з горизонтальними і похилими потоками, і як показали дослідження, час впливу потоку на матеріал, впливає на якість розділення. Вихід легкого компонента більший, ніж раціональніше вирівняна швидкість повітряного потоку в пневмоканалі. Однак в каналах прямокутної форми в результаті складних явищ, які мають місце при взаємодії зернового матеріалу з потоком повітря, ефективність очищення знаходиться в залежності від його глибини. З цієї причини глибина у всіх каналах пневмосепараторів і пневмосепаруючих систем зерно і насіннеочисних машин немає певного значення [25]. Швидкість повітряного потоку в пневмоканалах вирівнюють, застосовуючи спеціальні конструктивні рішення.

Для збільшення ефективності очищення зернового матеріалу і досягнення більш високих економічних і якісних показників роботи повітряного сепаратора, необхідно провести дослідження з таким конструкторським рішенням, яке допоможе значно вирівняти швидкість повітряного потоку в пневмоканалі, в порівнянні з відомими модернізаціями пневмоканала [25].

У зв'язку з цим, обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів повітряного сепаратора для очищення зерна від легких домішок, а також створення універсальних машин є актуальним завданням в науковому та практичному плані.

Тому необхідно розробити повітряний сепаратор максимально адаптований до різноманітних умов сучасного сільськогосподарського виробництва, що забезпечує мінімальні витрати і очищення основної частини зерна від легких домішок.

Дослідження по обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів пневмоканалу для очищення зерна від легких домішок виконані в Дніпропетровському державному аграрно-економічному університеті на кафедрі технології зберігання і переробки сільськогосподарської продукції.

Метою роботи є підвищення ефективності сепарування зерна в пневматичних вертикальних каналах від легких, щуплих, дрібних і битих зерен.

Основні завдання дослідження:

- розробити математичну модель процесу очищення зернового матеріалу в повітряному сепараторі з перегородками;
- вивчити вплив основних конструктивно-технологічних параметрів на ефективність виділення легких домішок в повітряному сепараторі, в якому встановлені перегородки і експериментально обґрунтувати його основні параметри;
- виконати практичне впровадження отриманих результатів досліджень;
- провести розрахунок вартості досліджень.

Об'єкт дослідження – зерно, органічна і мінеральна домішка, пневматичний вертикальний канал з перегородками.

Предмет досліджень – технологічний процес сепарування зерна за аеродинамічним властивостям в вертикальному каналі, вирівнювання швидкості повітряного потоку у вертикальному каналі.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА СТАН ПИТАННЯ

1.1 Характеристика зернового матеріалу, що надходить на післязбиральну обробку

Основна мета післязбиральної обробки насіння – доведення його до кондиційного стану за посівними якостями згідно з вимогами діючих стандартів на посівний матеріал і доведення до кондицій продовольче зерно [39].

Насінневий матеріал, що надходить на післязбиральну обробку, представляє собою суміш основної культури, насіння культурних рослин і бур'янів, мінеральних (грудочки землі, пісок, пил) і органічних (полова, частки рослин) домішок.

Для правильного ведення процесів післязбиральної обробки насінневого матеріалу необхідно знати технологічні властивості насіння [39].

Одним з найважливіших показників, що визначає характер і обсяг збору свіжозібраного зерна, є його вологість. Вона залежить від природно-кліматичних умов, в яких зерно вирощувалося і збиралось [39].

Так на листопад 2018 року в Україні кондиційного насіння було 8083,9 тон, некондиційного насіння 12644,1 тон, а в 2019 році було відповідно 10145,5 і 8624,4 тон. У 2020 році кондиційного насіння було 9902,2 тон, некондиційного насіння 11194,2 тон, а в 2021 році було відповідно 13883,17 і 7725,1 тон. У 2022 році кондиційного насіння було 11203,8 тон, некондиційних насіння 8881,7 тон (рис. 1.1)

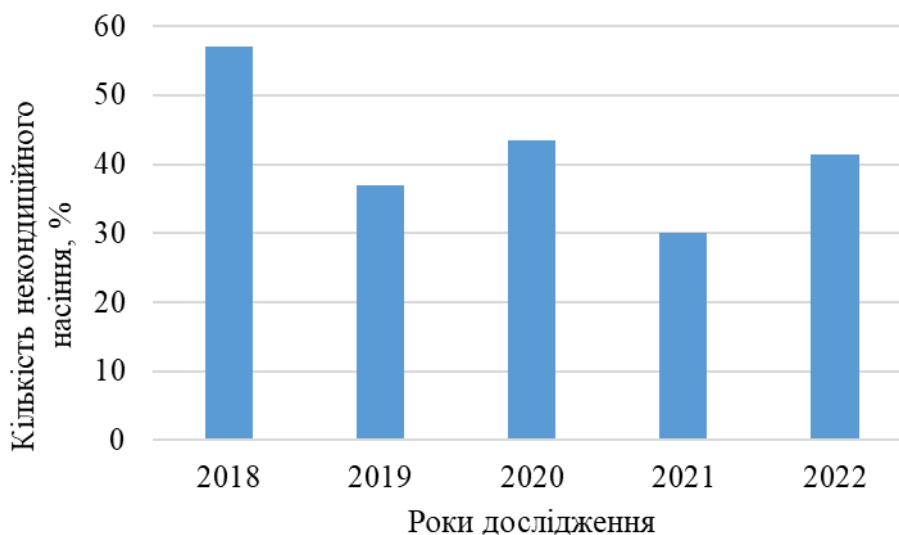


Рисунок 1.1 – Кількість некондиційного насіннєвого матеріалу за 2018 – 2022 роки

До найбільш поширених важковідокремлювальних бур'янів відносяться татарська гречка, курай і галька. Причому татарська гречка з них складає більше 40 %. Відділення татарської гречки без великих втрат насіння основної культури в відходи відбувається важко. До важковідокремлюваного зернам відноситься биті зерна основної культури, до легковідокремлюваних бур'янів відноситься вівсюг звичайний, пирій повзучий, лобода, кукуля звичайний, полин гіркий, берізка польова. Сажка – це захворювання зернових культур, яке завдає шкоди сільськогосподарському виробництву виснажуючи рослини і знижуючи урожай (рис. 1.2). Вміст легкої домішки (пилу, частинок оболонки, лушпиння, щуплі, дрібні, смітні домішки) в зерновому матеріалі що надходить на післязбиральну обробку складає від 2,1 % до 8,6 %.

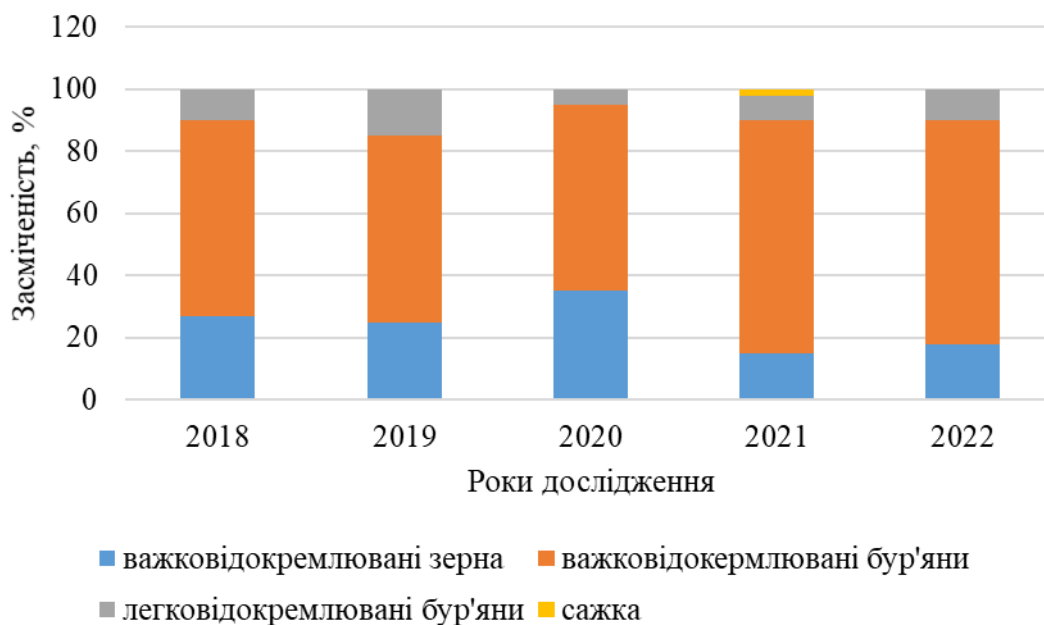


Рисунок 1.2 – Засміченість зернових культур важковідокремлюваними зернами, важковідокремлювальними домішками, легковідокремлюваними бур'янами і сажкою по роках

У 2020 році насіння вологістю нижче 19 % було 4680,7 тон, вище 19 % 1621 тон, а в 2021 році відповідно 2192 і 426 тон. У 2022 році насіння вологістю нижче 19 % було 3673 тон, вище 19 % 511 тон (рис. 1.3).

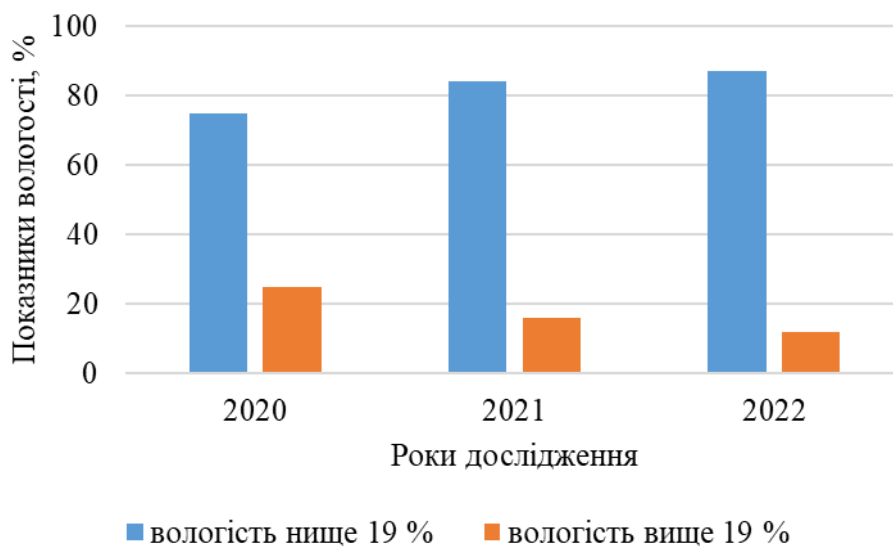


Рисунок 1.3 – Показники вологості зерна за 2020 – 2022 роки

Аналіз даних показує, що більша половина заготовленої кількості насіння має некондиційність по вологості і засміченості (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 – Якість насіння зернових і зернобобових культур

| Найменування | Кількість по роках, т | | | | |
|-------------------------------|-----------------------|---------|---------|----------|---------|
| | 2018 р | 2019 р | 2020 р | 2021р | 2022 р |
| Висіано | 20045,2 | 23437 | 25877,3 | 25506,47 | 21280,1 |
| Кондиційних | 8083,9 | 10145,5 | 9902,2 | 13883,17 | 11203,8 |
| Некондиційних | 12644,1 | 8624,4 | 11194,2 | 7725,1 | 8881,7 |
| за засміченості | 16899,3 | 11068,4 | 14568,6 | 8889,6 | 10341,8 |
| в тому числі: | | | | | |
| важковідокремлюваних зерен | 4466,5 | 2678,8 | 4962,2 | 1358,2 | 1864,2 |
| важковідокремлюваних бур'янів | 10613,6 | 6705,7 | 9129,2 | 6510,6 | 7751,8 |
| легковідокремлюваних бур'янів | 1819,2 | 1665,9 | 454,1 | 834,8 | 711,3 |
| сажка | - | 18 | 23,1 | 186 | 14,5 |
| За вологості: | | 6301,7 | 2618,0 | 4184,0 | |
| Нижче 19% | | 4680,7 | 2192 | 3673 | |
| Вище 19% | | 1 621 | 426 | 511 | |

Поліпшення якості зерна залежить від його своєчасної та якісної обробки і очищення від легковідокремлюваних домішок. Наявності технічних засобів і технології, їх технічної та технічної вдосконаленості та ефективності застосування.

Тому необхідне створення ефективних технічних засобів і технологій для післязбиральної обробки [19].

1.2 Аналіз сепарування зернового матеріалу в пневмосепарувальних каналах з висхідним повітряним потоком

В даний час повітряні системи застосовуються в якості сполучного елемента складних зерноочисних машин або у вигляді окремих машин. У всіх випадках вони не в повній мірі забезпечують виділення із зернової маси домішок щуплого, легкого і битого зерна. Високоєфективно використовувати повітря для

сепарування матеріалу можна тільки на основі розуміння складних явищ, які мають місце при дії зернового матеріалу з потоком повітря [25].

Питання, пов'язані з пневмосепаруванням, розвиваються в деяких напрямках:

а) дослідження, пов'язані з вивченням аеродинамічних властивостей насіння [1];

б) дослідження з пошуком раціональних конструктивних форм пневмосепарувальних машин [2];

в) дослідження по виявленню сутності процесу пневмосепарування [2];

г) дослідження, пов'язані з удосконаленням пристроїв введення зернової суміші в вертикальний пневмосепаруючий канал [23];

д) дослідження, пов'язані з пристроями які виводять очищений матеріал з вертикального пневмосепарувального каналу [34];

Найбільше поширення в сільському господарстві отримали пневмосепаруючі пристрої з висхідним повітряним потоком. Форми поперечного перерізу пневмосепаруючих каналів в них бувають наступні: круглої; прямокутної, квадратної і кільцевої. Пневмосепарувальні канали прямокутного і квадратного перетину набули найбільшого поширення [25]. На рисунку 1.4 показана схема пневмосепаруючих каналів.

Головним показником якості роботи пневмосеператора є ефективність процесу поділу зерна повітряним потоком.

Як відомо, основними факторами, що впливають на ефективність процесу сепарування зернопродуктів у висхідному повітряному потоці [5] є: а) ступінь відмінності швидкостей витання компонентів сепарованої суміші і ступінь її засміченості; б) початкова швидкість і умови введення зернового потоку в пневмосепарувальний канал; в) величина середньої швидкості повітряного потоку v_{cp} ; г) рівномірність повітряного потоку в каналі; д) час взаємодії сепарованого матеріалу з повітряним потоком t ; е) величина питомого зернового навантаження в пневмосепарувальному каналі q ; ж) розміри

пневмосепарувального каналу; з) направлення повітряного потоку в пневмоканалі (вертикальний, горизонтальний, похилий).

Найбільш поширена форма перетину пневмоканала прямокутна (рис. 1.4, а), вони найпростіші за конструкцією і легко вписуються в конструкцію машин, але головним недоліком таких каналів є нерівномірність повітряного потоку по глибині пневмоканалу, що значно погіршує ефективність очищення зернового матеріалу від легких домішок.

У каналах конічної форми і клиноподібним розширенням до верху (рис. 1.4, в, д) також головним недоліком є нерівномірність повітряного потоку по глибині пневмоканалу, як і в попередніх випадках.

Найбільша ефективність очищення досягається в каналах похилих з подвійною продувкою і подвійних (рис. 1.4, б, г), але в таких пневмосепарувальних каналах повноцінне зерно потрапляє в відходи і це є головним недоліком.

Широко застосовуються сепаратори в каналах, яких встановлені ситові транспортери і підтримуючі сітки (рис. 1.4, е, ж). У цих каналах для поліпшення рівномірності потоку встановлені вирівнювальні решітки, але така конструкція не достатньо вирівнює швидкість повітряного потоку в пневмоканалі тому, що потік повітря в центрі пневмоканалу максимальний, а з боків каналу утворюються «мертві зони», де швидкість повітряного потоку практично дорівнює нулю, за рахунок чого знижується якість сепарування.

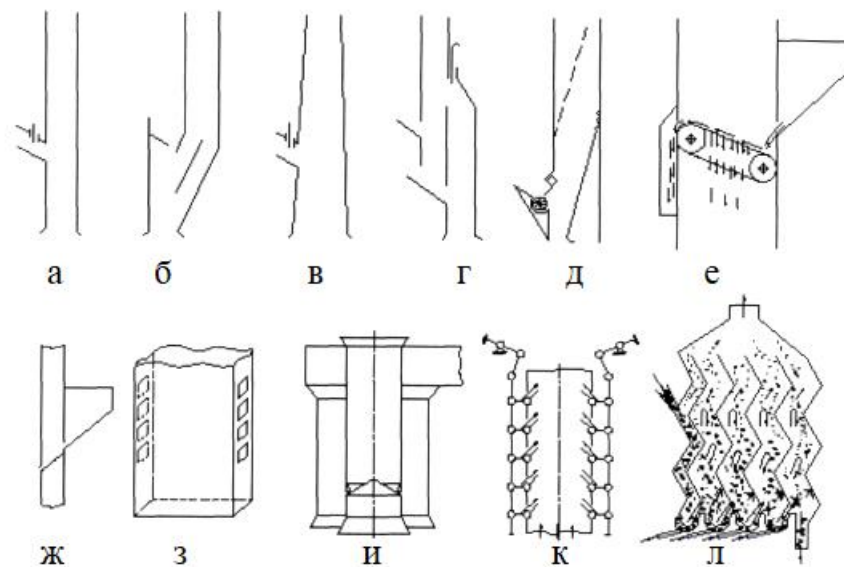


Рисунок 1.4 – Схеми пневмосепарувальних каналів

- а – прямокутний постійного перетину; б – похилий з подвійною продувкою;
 в – конічний; г – подвійний; д – клиноподібний з розширенням до верху;
 е – з ситовим транспортером; ж – з підтримуючою сіткою; з – з отворами в бічних
 стінках; і – кільцевої форми перетину; к – з відбивними козирками;
 л – з зигзагоподібними перегородками

У каналах з отворами в бічних стінках (рис. 1.4, з), як показали дослідження, ефективність очищення зерна від легких домішок низька, тому, що через отвори в бічних стінках знижується швидкість повітряного потоку в пневмоканалі, що призводить до низької ефективності очищення зерна від легких домішок.

Пневмосепарувальний канал з кільцевою формою перетину (рис. 1.4, и) має канал, утворений двома концентрично розташованими циліндрами: внутрішнім і зовнішнім, вентилятор, з'єднаний повітроводом з верхньою розширеною частиною каналу, відсмоктує з нього повітря, створюючи вертикальний потік. Зерновий матеріал подається у внутрішній циліндр, закритий знизу корпусом. У таких пневмосепарувальних каналах часто спостерігаються втрати зерна у відходи, внаслідок віднесення зерна повітряним потоком в осадову камеру.

Пневмосепарувальні канали з відбивними козирками і з зигзагоподібними перегородками (рис. 1.4, к, л) найбільш трудомісткі у виготовленні. У таких пневмосепарувальних каналах головним недоліком є те, що легка домішка (лушпиння, бур'яни, биті зерна основної культури та ін.) б'ючись об козирки і звивисті перегородки, направляються вниз по пневмоканалу з зернами основної культури і попадають в очищене зерно і тим самим знижується ефективність сепарування зернового матеріалу.

У всіх вище розглянутих пневмосепаруючих каналах головним недоліком є не рівномірність швидкості повітряного потоку в пневмосепарувальних каналах, а також втрати чистого зерна у відходи. У даній науковій роботі ми теоретично і експериментально обґрунтуємо, що застосування пневмоканалів стає ефективним при використанні нових конструктивних рішень, що забезпечують рівномірний розподіл швидкості вітряного потоку, що значно поліпшить ефективність відділення зернового матеріалу від легких домішок.

В даний час широко розвивається напрямок, пов'язаний з введенням зернового матеріалу в пневмосепарувальний канал тому, що від правильного введення зернового матеріалу в пневмосепарувальний канал значно залежить ефективність сепарування.

Зернову суміш в канали сучасних пневмосистем зерно- і насіннеочисних машин вводять за допомогою пасивних або активних пристроїв. Пасивні пристрої (скатні дошки, сітки, встановлені похило і безпосередньо в каналі) простіші за будовою, не вимагають додаткового приводу, мають найбільші габаритні розміри [4].

Найбільш широке застосування отримав спосіб введення за допомогою скатних дощок. Основним його недоліком є слабке розшарування і розрихлення матеріалу, що вводиться, що не дозволяє створювати оптимальні умови сепарування, а також обумовлює його непридатність до застосування для деяких дрібнонасінневих культур. Крім того, вони не забезпечують необхідної рівномірності розподілу зернового матеріалу по ширині пневмосистеми і герметичності пристрою введення [4].

Зернову суміш в канали сучасних пневмосистем зерно і насіннеочисних машин (ЗОМ і НОМ) вводять за допомогою різноманітних пристроїв (рис. 1.5) [5].

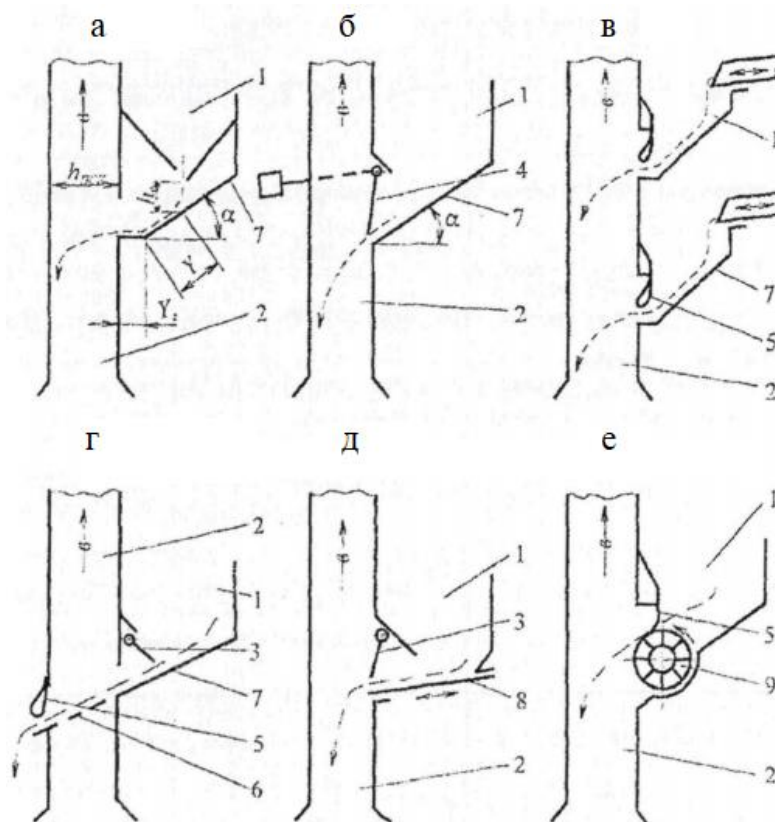


Рисунок 1.5 – Способи подачі зернової суміші в пневмосепарувальний канал
 а, б – самопливом по похилій площині (скатній дошці) з одним вводом; в – з двома
 вводами; г – за допомогою зернової сітки; д – вібрототком;
 е – живильним валиком; 1 – приймально-завантажувальний бункер;
 2 – пневмосепарувальний канал; 3, 4 – підвісний і вантажний клапани;
 5 – ущільнювальний козирок; 6 – сітка; 7 – скатна дошка; 8 – вібрототок;
 9 – живильний валик.

За способом герметизації пристрої введення бувають з підвісними і вантажними клапанами (рис. 1.5 а, б, г, д) і з ущільнювальними козирками (рис. 1.5 в, г, е) виконаними з еластичного матеріалу [5].

Клапанні пристрої відрізняються ненадійністю в роботі, великою інертністю. Спостерігаються випадки, коли клапан відкривається, і бункер спорожнюється за короткий час, тільки після цього клапан повертається в

першочергове положення. При такій подачі швидкість введення зернової суміші в канал набагато збільшується і ефективність очищення знижується. Пояснюючись це приблизно рівними моментами сил, які відкривають клапан, і протидіючих сил [5].

Серед активних пристроїв введення можна виділити наступні групи: живильні рифлені валики; стрічкові; розкидаючі диски; вібраційні; пневматичні; комбіновані [4].

Живильні валики (рис. 1.5, е) розрізняються по напрямку обертання (з верхньою подачею матеріалу і з нижньою), за формою (циліндричні і еліпсоїдні), за кількістю лопаток і матеріалу з якого вони виготовлені (сталеві, пластмасові, щіткові) [5].

Удосконалена конструкція вводу зернового матеріалу в пневмосепарувальний канал покращує ефективність очищення зернового матеріалу, але не є вирішенням проблем очистки зерна тому, що головним недоліком є не вирівняність швидкості повітряного потоку по глибині пневмоканалу. Тому необхідно таке конструктивне рішення пневмоканала, яке значно дозволить вирівняти швидкість повітряного потоку в пневмоканалі.

Висновки за розділом

Встановлено, що найбільшого поширення в сільському господарстві отримали пневмосепарувальні системи з вертикальним (висхідним) повітряним потоком, завдяки конструктивній простоті і компактності пристрою.

Головним недоліком пневмосепарувальних системи з вертикальним (висхідним) повітряним потоком є нерівномірність швидкості повітряного потоку по перетину пневмоканала.

В даний час широко розвивається напрямок, пов'язаний з введенням зернового матеріалу в пневмосепарувальний канал з метою підвищення ефективності виділення легких домішок.

Метою роботи є підвищення ефективності сепарування зерна в пневматичних вертикальних каналах від легких, щуплих, дрібних і битих зерен.

Основні завдання дослідження:

- розробити математичну модель процесу очищення зернового матеріалу в повітряному сепараторі з перегородками;

- вивчити вплив основних конструктивно-технологічних параметрів на ефективність виділення легких домішок в повітряному сепараторі, в якому встановлені перегородки і експериментально обґрунтувати його основні параметри;

- виконати практичне впровадження отриманих результатів досліджень;

- провести розрахунок вартості досліджень.

Об'єкт дослідження – зерно, органічна і мінеральна домішка, пневматичний вертикальний канал з перегородками.

Предмет досліджень – технологічний процес сепарування зерна за аеродинамічним властивостям в вертикальному каналі, вирівнювання швидкості повітряного потоку у вертикальному каналі.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПНЕВМОСЕПАРУВАННЯ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ В ВИСХІДНОМУ ПОВІТРЯНОМУ ПОТОЦІ

2.1 Математична модель процесу сепарування компонентів зернового матеріалу в пневмоканалі з перегородками

Багато праць вчених присвячені дослідженню процесу поділу зернового матеріалу за аеродинамічним властивостям.

У відомих роботах описували траєкторію руху частинок зернового матеріалу в пневмосепарувальних каналах з висхідним повітряним потоком. Наведено рівняння руху тільки однієї частки зернового матеріалу з урахуванням сили тяжіння, швидкості руху повітряного потоку, нерівномірності розподілу повітряного потоку по перетину пневмоканалу, удару частинок зернового матеріалу об стінки пневмоканалу, форми частинок зернового матеріалу та інші. Розроблені математичні моделі описують процес пневмосепарування при невеликому питомому завантаженні, коли частинки основного зерна не створюють перешкоди виносу легких частинок повітряним потоком.

Розроблено математичну модель процесу [4] пневмосепарування домішок тільки до реальних умов використання повітряних сепараторів при високій продуктивності.

Однак не описаний процес пневмосепарування, коли в пневмоканалі встановлені перегородки.

При розгляді процесу поділу зернової суміші повітряним потоком вчений [24] вперше ввів поняття інтенсивності виносу легких частинок.

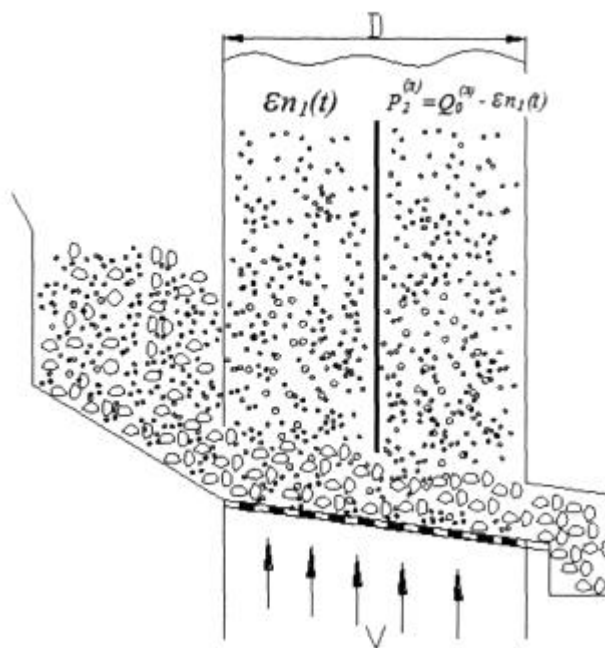


Рисунок 2.1 – Розподіл часток у пневмосепаруючому каналі з перегородками

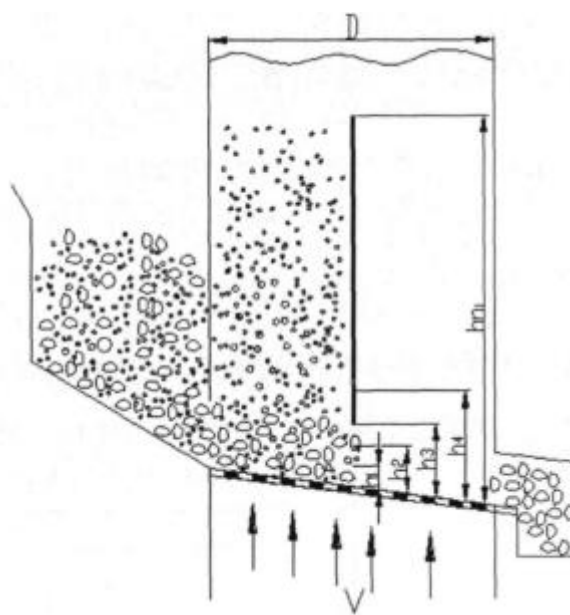


Рисунок 2.2 – Розподіл часток по висоті пневмосепарувального каналу в першому відсіку

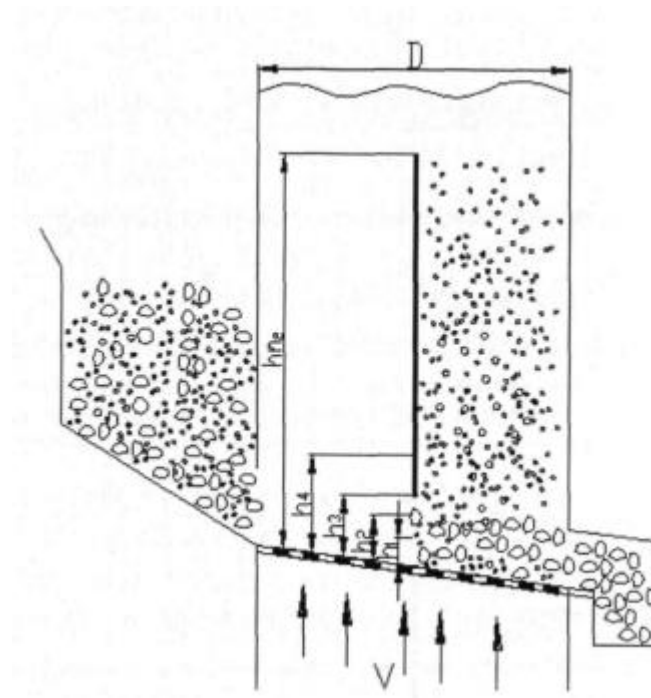


Рисунок 2.3 – Розподіл часток по висоті пневмосепарувального каналу у другому відсіку

Подібно до того, як рух матеріальної точки визначається її швидкістю в кожний момент часу, так і процес пневмосепарування повністю визначається інтенсивністю винесення легких частинок зернового матерію.

Інтенсивність процесу виділення легких частинок [23] в момент часу визначається за формулою:

$$\mu(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{Q(\Delta t, t)}{(Q_0^n - Q(t)) \Delta t}, \quad (2.1)$$

де $Q(\Delta t, t)$ – кількість легких частинок які виділилися в наступний за t малий проміжок часу Δt ;

Q_0^n – кількість легких частинок в загальному потоці зернового матерію що, поступили в пневмоканал в момент часу $t = 0$.

Легкі частки в момент попадання в пневмоканал і в наступний час розподіляються в ньому за обсягом каналу випадково в силу різних факторів:

початкової швидкості входу в пневмоканал, розмірів частинок, швидкості повітряного потоку, взаємодії часток один з одним і зі стінками пневмоканала та інші.

$Q(t)$ – кількість легких частинок які виділилися за рахунок повітряного потоку до моменту визначення t ;

$Q_0 - Q(t)$ – кількість легких частинок, яка залишилася в пневмоканалі до моменту часу t ;

Середня інтенсивність виділення легких частинок в інтервалі часу $(t, \Delta t + t)$ визначається наступним виразом:

$$\mu(\Delta t, t) = \frac{\varepsilon(\Delta t, t)}{\Delta t} = \frac{Q(\Delta t, t)}{\left((Q_0 - Q(t))\right)\Delta t}, \quad (2.2)$$

де $\varepsilon(\Delta t, t) = \frac{Q(\Delta t, t)}{Q_0 - Q(t)}$ – повнота виділення легких частинок повітряним потоком за час Δt (від t до $t + \Delta t$)

Повнота виділення легких частинок через інтенсивність виділення визначається:

$$\varepsilon(t) = 1 - e^{-\int_0^t \mu(t) dt}, \quad (2.3)$$

Розглянемо процес виділення групи однакових легких частинок які знаходяться під впливом повітряного потоку серед безлічі інших частинок.

Процес виділення цих частинок описується тим же рівнянням (2.3), якщо під повнотою виділення розуміти ймовірність виділення $P(t)$ легких частинок:

$$P(t) = 1 - e^{-\int_0^t \mu(t) dt} \quad (2.4)$$

У цьому випадку інтенсивність виділення легких частинок $\mu(t)$ характеризує індивідуальну властивість виділення даних частинок, і для різних легких частинок вона може бути різною.

Розглянемо процес виділення легких частинок, що володіють однією і тією ж інтенсивністю виділення з шару зернового матеріалу під дією висхідного повітряного потоку в пневмосепаруючих каналах з перегородками прямокутного перетину.

При елементарному зерновому шарі (шаром в одне зерно) і при відсутності зерен основного матеріалу в проміжку від 0 до h одна легка частинка, що має нульову швидкість на сітці, під дією повітряного потоку, швидкість якого більше швидкості витання легких частинок, пройде весь шлях від 0 до h пневмоканала безперешкодно за певний час.

Якщо продувати зерновий шар, що складається з декількох елементарних шарів, то шар буде розширюватися. При цьому частки основного зерна розподілятимуться по висоті пневмоканала в залежності від своїх аеродинамічних властивостей і швидкості повітряного потоку.

Припустимо, що частинки основного зерна витають в проміжку від 0 до h по висоті пневмоканала, перешкоджаючи вільному руху легких частинок.

У пневмосепаруючих каналах в шарі витають зернівок основного матеріалу висотою h в будь-який момент часу t може з'явитися перешкода (частка основного зерна) на шляху легкої частинки.

Після зустрічі з перешкодою на деякій висоті h_i легка частинка або продовжує свій рух нагору, або знову на цій же висоті може зустріти перешкоду (частку основного матеріалу) з тією ж імовірністю P .

Так як ймовірність появи наступних перешкод не залежить від того, чи зустрічалися перешкоди на шляху цієї легкої частинки раніше, то кожній перешкоді відповідає проміжок часу, протягом якого легка частинка затримується цією перешкодою.

Таким чином, ймовірність виносу легкої частинки знаходиться на деякому рівні t_i можна описати рівнянням (2.4), але так як властивості легкої частки не змінюються протягом часу, коли вона піднімається вгору по пневмоканалі, то інтенсивність виділення легкої частинки не змінюється і набуває вигляду:

$$P = 1 - e^{-\mu t} \text{ при } t \geq 0 \quad (2.5)$$

де μ_1 – інтенсивність виносу легких частинок с^{-1} в першому відсіку.

Розділимо висоту пневмоканалу від 0 до h на n -ну кількість однакових рівнів, що будуть дорівнювати $h_i (i = 1, 2, 3 \dots n)$ припустимо, що перешкоди можуть з'являтися тільки на цих n рівнях.

Час перебування легкої частки на будь-якому рівні $h_i (1, 2, 3 \dots n)$ має показовий розподіл, який визначається виразом (2.5).

Згідно з теоремою про розподіл суми взаємно незалежних випадкових величин, що мають однаковий показовий розподіл, сумарна ймовірність винесення легких частинок при проходженні n_i – рівні мають вигляд [98]:

$$P_{n1}(t) = 1 - e^{-\mu_1 t} \cdot \left(1 + \frac{\mu_1 t}{1!} + \frac{(\mu_1 t)^2}{2!} + \dots + \frac{(\mu_1 t)^{n_i-1}}{(n_i-1)!} \right) \text{ при } t > 0 \quad (2.6)$$

Тоді кількість легких частинок яка надійшла у другій відсік визначається виразом:

$$P_{(2)}^{(n)} = Q_0^n - \varepsilon_{n_1}(t), \quad (2.7)$$

де $\varepsilon_{n_1}(t)$ – повнота виділення легких частинок в першому відсіку $\varepsilon_{n_1}(t) = P_{n_1}(t)$.

Ймовірність виносу легких частинок при проходженні n_2 – рівні в другому відсіку має вигляд:

$$P_{n_2}(t) = (Q_o^n - \varepsilon_{n_1}(t)) - e^{-\mu_2 t} \cdot \left(1 + \frac{\mu_2 t}{1!} + \frac{(\mu_2 t)^2}{2!} + \dots + \frac{(\mu_2 t)^{n_2-1}}{(n_2-1)!} \right) \text{ при } t > 0 \quad (2.8)$$

Якщо підставити повноту виділення легких частинок в першому відсіку в формулу (2.8) то отримаємо:

$$P_{n_2}(t) = Q_o^n \cdot \left[1 - e^{-\mu_1 t} \left(1 + \frac{\mu_1 t}{1!} + \frac{(\mu_1 t)^2}{2!} + \dots + \frac{(\mu_1 t)^{n_1-1}}{(n_1-1)!} \right) \right] - \left[e^{-\mu_2 t} \cdot \left(1 + \frac{\mu_2 t}{1!} + \frac{(\mu_2 t)^2}{2!} + \dots + \frac{(\mu_2 t)^{n_2-1}}{(n_2-1)!} \right) \right] \text{ при } t > 0 \quad (2.9)$$

Повнота виділення легких частин визначаємо за формулою:

$$\varepsilon = \frac{P_{n_2}(t)}{Q_o^n}, \quad (2.10)$$

Ввівши коефіцієнт який враховує простір перешкод, він залежить від концентрації витання шару зернівок, безрозмірна величина:

$$K = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot q, \quad (2.11)$$

де C_1 – масштабний коефіцієнт, розмірність якого обернено пропорційна розмірності q ;

C_2 – коефіцієнт, що враховує фізико-механічні зерна, безрозмірний;

C_3 – коефіцієнт, що враховує конструкцію пневмосепаруючого каналу, безрозмірний;

C_4 – коефіцієнт, що враховує перерозподіл компонентів зернового матеріалу в шарі при подачі в пневмоканал, безрозмірний;

q – питома зернове навантаження, кг/см²·год.

$$\varepsilon = \frac{1}{K} \left\{ \frac{Q_0^{n_1} \cdot \left[1 - e^{-\mu_1 t} \cdot \left(1 + \frac{\mu_1 t}{1!} + \frac{(\mu_1 t)^2}{2!} + \dots + \frac{(\mu_1 t)^{n_1-1}}{(n_1-1)!} \right) \right] - \left[e^{-\mu_2 t} \cdot \left(1 + \frac{\mu_2 t}{1!} + \frac{(\mu_2 t)^2}{2!} + \dots + \frac{(\mu_2 t)^{n_2-1}}{(n_2-1)!} \right) \right]}{Q_0^{n_1}} \right\}. \quad (2.12)$$

Таким чином, формула 2.12 описує процес сепарування компонентів зернового матеріалу в пневмоканалі з перегородками.

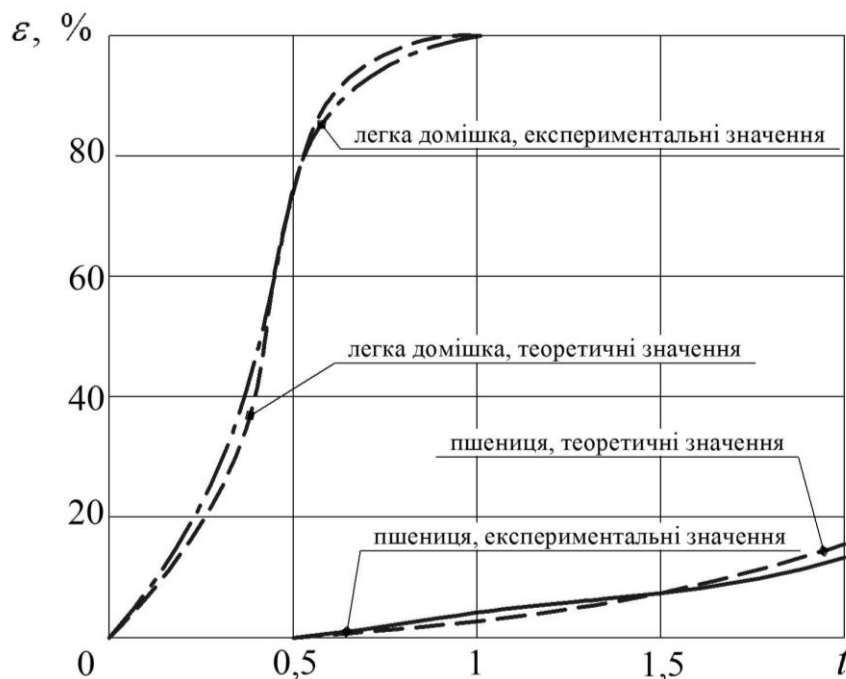


Рисунок 2.4 – Повнота виділення компонентів зернового матеріалу в залежності від часу процесу сепарування

Для експериментальної перевірки математичної моделі процесу сепарування зернового матеріалу через повітряний сепаратор для очищення зерна від легких домішок з встановленими перегородками в пневмоканалі були проведені експерименти за наступних умов приймання на основі попередніх досліджень: кількість встановлених перегородок – 1 шт; швидкість повітряного потоку, що подається в пневмосепаруючий канал – 5,5 м/с; вміст легкої домішки в зерновому матеріалі – 4,42 %; вологість сепарованого зернового матеріалу – 12,8 %; подача зернового матеріалу – 8 т/год. Дані, отримані

експериментально, були зіставлені з розрахунковими за формулами (2.10 – 2.12) при $\mu = 4 \text{ c}^{-1}$, $K = 1$ для легких домішок, $\mu = 0,06 \text{ c}^{-1}$, $K = 1$ для пшениці і представлені на рисунку 2.3.

Висновки за розділом

В даному розділі кваліфікаційної роботи було отримано математичну модель процесу сепарування в пневматичному кані прямокутного переірзу та встановлено, що зіставлення теоретичних і експериментальних залежностей зміни повноти виділення компонентів зернового матеріалу в залежності від часу процесу сепарування в повітряному сепараторі для очищення зерна від легких домішок в пневмоканалі якого встановлені перегородки свідчить про адекватність математичної моделі процесу

3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Метою експериментального дослідження процесу очищення зернового матеріалу в повітряному сепараторі була перевірка теоретичних передумов і обґрунтувань основних параметрів пневмоканалу повітряного сепаратора для очищення зерна від легких домішок.

3.1 Програма експериментальних досліджень

Експериментальна перевірка теоретичних передумов процесу очищення зернового матеріалу в повітряному сепараторі для очищення зерна.

1. Вивчення впливу швидкості витання пшениці і легкої домішки на ефективність розділення.

2. Порівняльне дослідження ефективності поділу зернового матеріалу на повітряному сепараторі з вібруючим живильним лотком і без вібрототка в пневмосепаруючих каналах без перегородок.

3. Вивчення впливу кількості та висоти встановлених перегородок в пневмоканалі на ефективність очищення зерна від легких домішок.

4. Обґрунтування основних параметрів повітряного сепаратора при очищенні зерна від легких домішок.

5. Дослідження поділу зернового матеріалу в пневмосепаруючому каналі при різній засміченості зернової суміші.

6. Дослідження поділу зернового матеріалу від легких домішок в залежності від вологості зерна.

3.2 Опис експериментальної установки, обладнання і приладів

3.2.1 Експериментальна установка для дослідження розподілу швидкості повітряного потоку в пневмосепаруючих каналах з однією, двома встановленими перегородками і без перегородок

Розподіл швидкості повітряного потоку досліджували в пневмоканалі експериментальної установки продуктивністю 10 т/год, загальний вигляд і принципова схема якої наведено на рисунку 3.1.

Установка включає наступні вузли і механізми: пневмоканал 1 прямокутного перетину для сепарування зерна висхідним повітряним потоком, вентилятор 2, матерчатий і сітчастий фільтри 3 і 4, електродвигун 5, автоматичний вимикач 6 для захисту електродвигуна від струмів короткого замикання, магнітний пускач для управління роботою електродвигуна, приймальний бункер 7, нижній лоток приймального бункера оснащений вібратором, канал 8 для виведення очищеного матеріалу, заслінка 9 для регулювання подачі повітряного потоку, що подається в пневмоканал, осадову камеру 10, розвантажувальний пристрій відходу 11, по глибині пневмоканалу встановлені прямокутні перегородки 12 висотою 250 мм і шириною 300 мм, які ділять по глибині пневмоканалу на два і три рівних відсіка однакої глибини. Зростання швидкості на всіх ділянках пневмосепарувального каналу говорить про вирівнювання концентрації оброблюваного матеріалу за поперечним перерізом.

У пневмосепарувальному каналі середньою висотою 800 мм, глибиною 190 і шириною 300 мм встановлені по глибині перегородки, які сприяють вирівнюванню швидкості повітряного потоку, що підвищує ефективність поділу зернового матеріалу.

Живильний бункер 7 розрахований на місткість 30 кг сепарованої зернової суміші (по пшениці). Випускний отвір бункера 7 обладнано регулювальною засувкою.

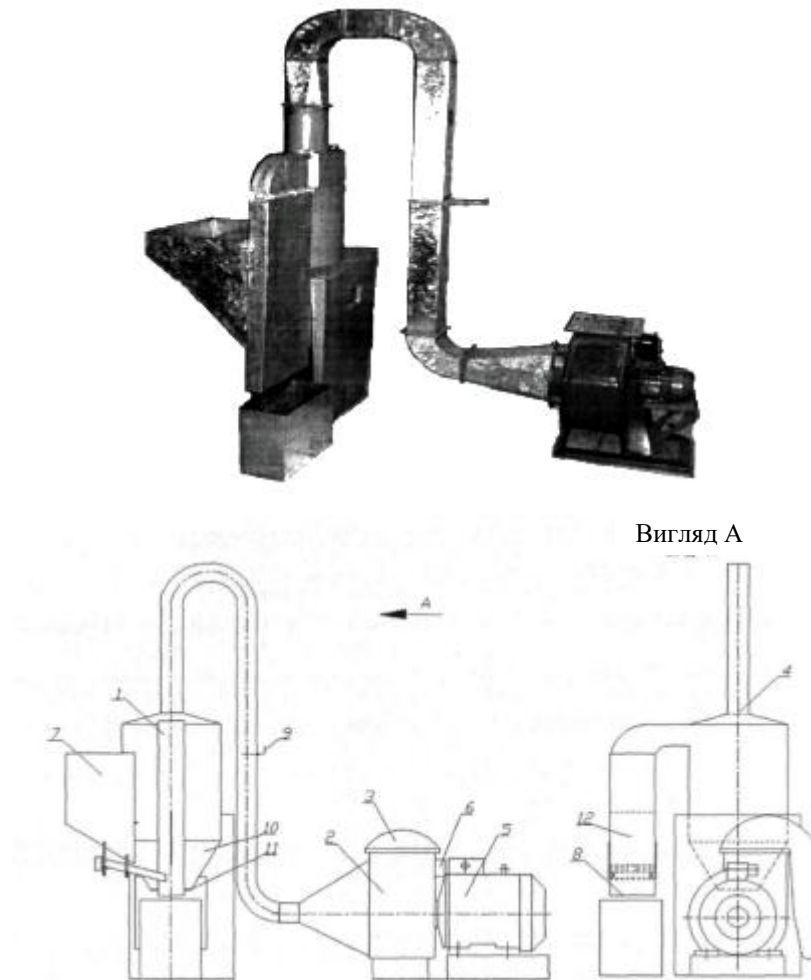


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд і принципова схема експериментальної установки

1 – пневмоканал; 2 – вентилятор; 3 – матерчатий фільтр; 4 – сітчастий фільтр; 5 – електродвигун; 6 – автоматичний вимикач; 7 – приймальний бункер; 8 – вивід очищеного матеріалу; 9 – заслінка; 10 – осадова камера; 11 – розв'язувальний пристрій, 12 – перегородки

Вібродоток приводиться в рух за допомогою електромагнітного вібратора МУ1/100-4 амплітудою коливання 1,9 мм при робочій частоті 50 Гц; діапазон робочої ваги від 0,2 до 3 кг; величина вібропереміщення 0,6 – 0,25 мм; номінальний струм 0,3 А; активна потужність 10 Вт; маса 3,1 кг.

Пристрій для регулювання витрати повітря являє собою заслінку 9, яку, рухаючи по горизонталі, можна регулювати подачу повітряного потоку в пневмосепарувальному каналі.

В якості генератора повітряного потоку використаний відцентровий вентилятор 2 з електродвигуном 5.

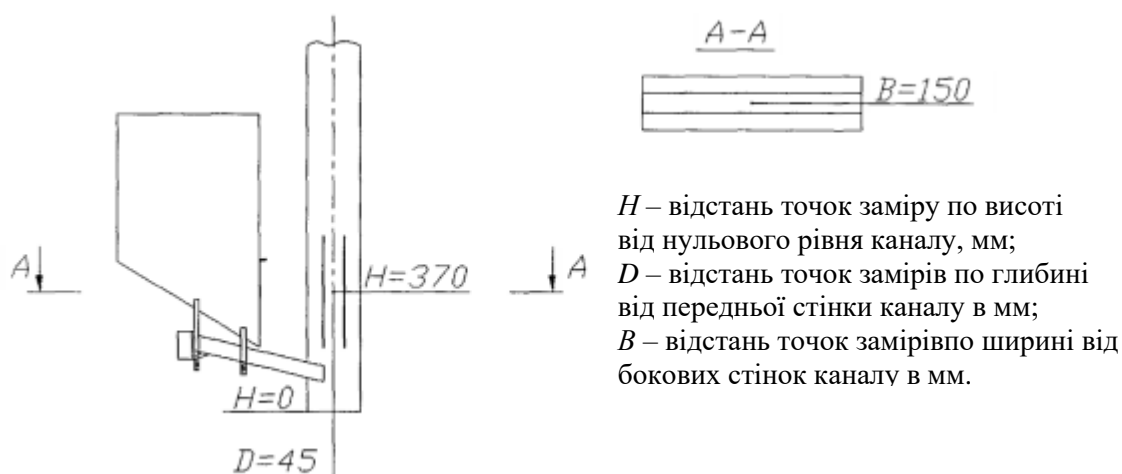


Рисунок 3.2 – Схема розташування точок замірів динамічного тиску і швидкості повітряного потоку в пневмосепарувальному каналі експериментальної установки

Швидкість повітряного потоку в пневмоканалі визначали через його динамічний тиск, який заміряли пневмометричною мікротрубкою Піто-Прандля (відповідно до методики), що під'єднується до мікроманометру ММН. Розташування точок замірів представлено на рисунку 3.2, доступ до яких проводився через отвори в бічних стінках каналу. Для досягнення герметичності установки ці отвори заглушались за допомогою липкої стрічки. Також визначили швидкість повітряного потоку в пневмоканалі за допомогою чашкового анемометра МС-13, встановивши його горизонтально назустріч повітряному потоку і електронним термоанемометром testo 405, який визначає швидкість повітря з точністю до сотих одиниць.

Технологічний процес роботи пневмосепаратора наступний (рис.3.3.): зерновий матеріал після ретельного перемішування завантажується в приймальний бункер 7.

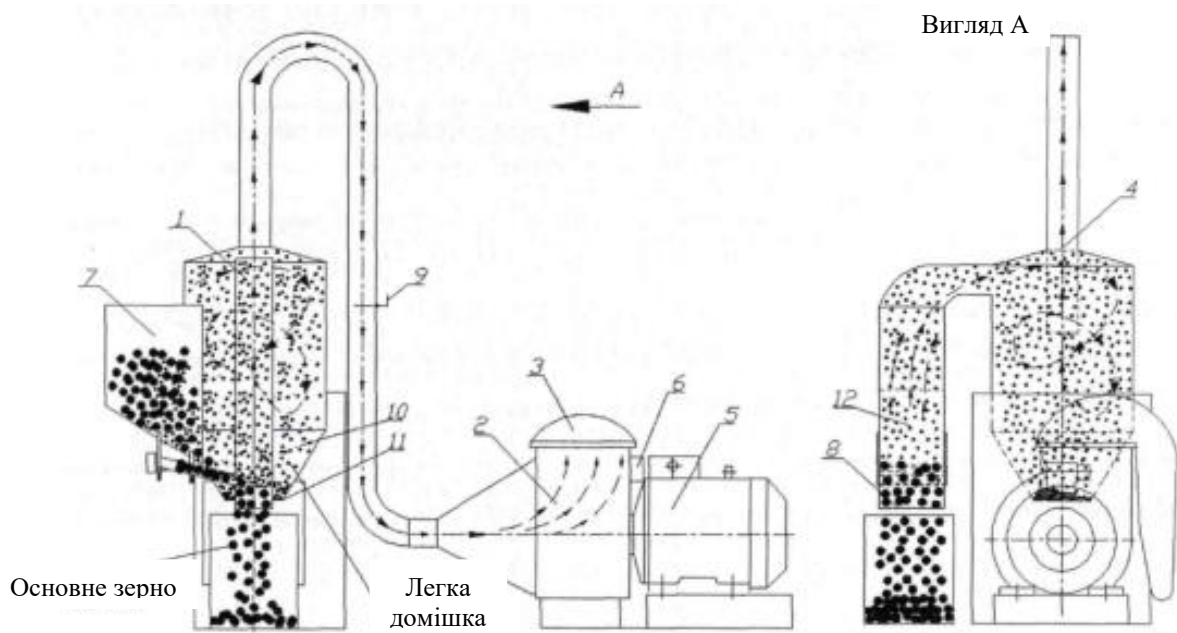


Рисунок 3.3 – Технологічна схема експериментальної установки

1 – пневмоканал; 2 – вентилятор; 3 – матерчатий фільтр; 4 – сітчастий фільтр;
5 – електродвигун; 6 – автоматичний вимикач; 7 – приймальний бункер; 8 – вивід
очищеного матеріалу; 9 – заслінка; 10 – осадова камера; 11 – розвантажувальний
пристрій, 12 – перегородки.

Частинки легкої домішки під дією вібрації вібролотка переміщуються в верхні шари зернового матеріалу і потім подаються в пневмосепарувальний канал 1, де швидкість повітряного потоку вирівняна завдяки встановленим по глибині перегородок 12. Під дією повітряного потоку домішки, швидкість витання яких менше швидкості витання зерен основної культури, піднімаються вгору по пневмосепарувальному каналу 1 і надходять в осадову камеру 10.

З осадової камери домішки вивантажуються за допомогою клапана 11, який закриває випускний отвір за допомогою замка, завдяки цьому заслінка щільно притиснута до випускного отвору і відкривають його тільки при наповненні відходом осадової камери 10. Очищене від легких і важковідокремлюваних домішок зерно виводиться через канал 8. Повітряний потік з осадової камери 10, пройшовши через сітчастий фільтр 4, розташований в осадовій камері і очищаючись від пилу, надходить в вентилятор 2 і виходить назовні через вихідний патрубок, на якому встановлений матерчатий фільтр 3.

3.2.2 Прилад для визначення швидкості витання зернівок

На повітряному класифікаторі визначалася швидкість витання насіння і домішки вихідного матеріалу [37].

Порівняльні дослідження ефективності поділу зернового матеріалу в пневмосепарувальному каналі з перегородками проводили з наступним лабораторним установам і машинами:

- 1) повітряний класифікатор;
- 2) повітряний сепаратор з пневмоканалом без перегородок.

Швидкість витання і (виносу) легкої домішки із пшениці визначали на повітряному класифікаторі (рис. 3.4).

Установка складається з вертикальної труби 1 з органічного скла, осадової камери 2 і відцентрового вентилятора 3.

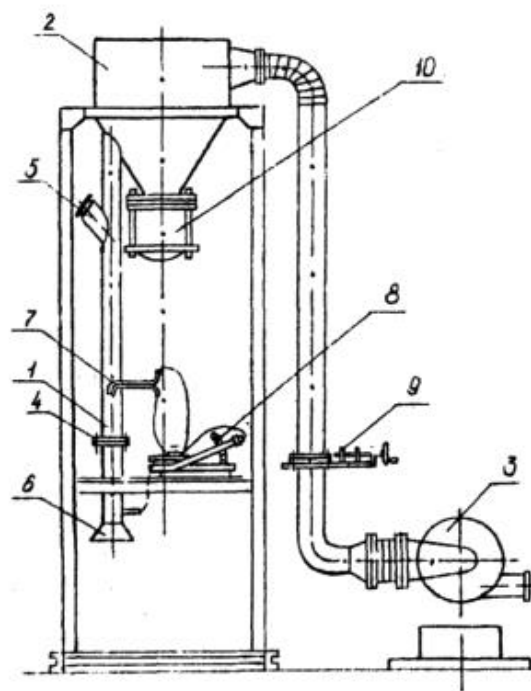


Рисунок 3.4 – Схема повітряного класифікатора

- 1 – труба; 2 – осадова камера; 3 – відцентровий вентилятор;
 4 – сітчасте дно; 5 – люк; 6 – колектор; 7 – пневмометрична трубка;
 8 – мікроманометр; 9 – дросельна засувка; 10 – стакан.

У основи труби 1 є сітчасте дно 4, на яке через люк 5 засипається навішування продукту. Швидкість повітря в трубі 1 визначається з допомогою колектора 6 або пневматичної трубки 7, приєднаним до мікроманометра 8, регулювання швидкості повітря здійснюється дросельною засувкою 9. Частинки продукту, що виносяться з сітки потоком повітря, яке надходить в трубу через колектор, потрапляють в осадову камеру і собираються в склянці 10.

3.3 Методика експериментальних досліджень

3.3.1 Схема проведення експериментів

Схема послідовності проведення експериментів представлена на рисунку 3.5.

1. При роботі на повітряному класифікаторі: з вихідного матеріалу проводився відбір необхідної кількості зерен і їх важковідокремлюваних домішок; відібрані зерна пропускалися через установку при різних швидкостях повітряного потоку; при кожному режимі проводили підрахунок кількості винесеного зерна в штуках і визначали швидкість витання основного зерна і домішки.

2. При роботі на експериментальній установці (рис. 3.1.): Проводили кількісний і якісний аналіз вихідного матеріалу; вихідний матеріал, пропускаючи через машину при різному питомому зерновому навантаженні, різної вологості зернового матеріалу, різної швидкості повітряного потоку і різній кількості перегоронок встановлених в пневмоканалі поділяли на дві фракції; під час процесу сепарування матеріалу в пневмосепарувальному каналі заміряли швидкість повітряного потоку; проводили кількісний і якісний аналіз виходу легкої фракції.



Рисунок 3.5 – Схема проведення експериментів

3.3.2 Методика проведення дослідів при дослідженні розподілу зерна і домішки вихідного матеріалу по швидкості витання

Обробка матеріалу на повітряному класифікаторі.

Сітчасте дно труби повітряного класифікатора заповнювали зерном в кількості 20 штук. Потім протягом трьох хвилин зерно піддавалося дії повітряного потоку при певному положенні дросельної засувки повітряного класифікатора. Після чого вівся підрахунок кількості зерен винесених в приймальний стаканчик. Зерно, що залишилося на сітчастому дні труби піддаваось подальшій обробці з тією ж тривалістю, але при іншому положенні дросельної засувки. Дослід проводився до того моменту, поки все зерно не було винесене в приймальний стаканчик. Таким чином, було оброблено 2000 шт. пшениці і 3 кг легких домішок.

3.3.3 Методика проведення дослідів при дослідженні розподілу швидкості вихідного повітряного потоку в пневмосепарувальному каналі з перегородками при різному питомому зерновому навантаженні

Підготовка вихідного матеріалу.

Зернову суміш масою 42,64 кг і вологістю 12,8 %, не роздільну повністю повітряним потоком, готували з зерен пшениці масою 38,94 кг (основний компонент) з середньою масою 1000 зерен 45,64 г і легка домішка масою 3,7 кг.

Підготовка установки та приладів до роботи.

1. Термоанемометр Testo 405 включали, ставили на режим виміру швидкості повітряного потоку, налаштовували до роботи, показання термоанемометра записували протягом 30 секунд з точністю до сотих одиниць і знаходили середнє значення швидкості повітряного потоку.

2. Мікроманометр ММН готували до роботи. Для вимірювань динамічного тиску до штуцера мікроманометра зі знаком «0» приєднували гумовими шлангами відігнутий кінець пневмометричної трубки, що вимірює статичний тиск, а до штуцера зі знаком «-» кінець трубки, що вимірювала динамічний тиск.

Величину швидкості повітряного потоку в точці виміру підраховували за формулою [35]:

$$v = \sqrt{\frac{2H_d}{\rho}}, \quad (3.1)$$

де $H_d = k\Pi H_g$ – динамічний тиск, мм вод.ст.;

k – постійна приладу, що залежить від кута нахилу вимірювальної трубки мікроманометра;

Π – поправочний коефіцієнт на щільність спирту (при питомій вазі спирту 0,8095 г/см³, $\Pi = 1$);

H_g – видиме показання мікроманометра, мм;

ρ – щільність повітря, кг·см²/ м⁴.

3. У бічних стінках повітряного каналу експериментальної установки робили отвори по схемі, наведеній на рисунку 3.2, Для введення трубки термоанемометра Testo 405 і пневмометричної трубки Піто-Прандля. Отвори

прорізали з двох протилежних сторін в одній площині. Отвори, в яких не проводилися виміри, були заглушені липкою стрічкою.

4. Чашковий анемометр готували до роботи, перед вимірюванням швидкості повітряного потоку записували свідчення за трьома шкалами анемометра. У пневмосепарувальному каналі анемометр встановлювали вертикально і через 10 – 15 секунд одночасно включають аретиром механізм анемометра і секундомір.

Проведення дослідження.

1. Вимірювання величини швидкостей повітряного потоку в каналі робили і заміри динамічного тиску, і швидкості повітряного потоку, регулюючи подачу повітря заслінкою і при різних величинах завантаження пневмоканала 37; 33,3 і 29,62 кг/см² год і різної вологості зернового матеріалу 9,8; 17,8; 21,6; і 27,4 %.

2. Визначали середнє арифметичне значення триразових вимірювань динамічного тиску в кожній точці. За середнім арифметичним значенням динамічних тисків робили підрахунок величини швидкості повітряного потоку (за формулою 3.1). Також підраховували середнє показання швидкості термоанемометра і чашкового анемометра. Отримані результати заносили в таблиці.

3. Поле швидкостей повітряного потоку в каналі оцінювали коефіцієнтом варіації (нерівномірності) [24]:

$$\delta = \frac{\sigma}{v_{cp}}; \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^{l=n} |v_{cp1} - v_{cp}|^2}{n-1}}; v_{cp} = \frac{\sum_{l=1}^{l=n} v_{cp1}}{n}, \quad (3.2)$$

де σ – середньоквадратичне відхилення середнього значення швидкості в кожній точці від середньої швидкості потоку v_{cp} в даному перетині каналу;

n – число точок виміру в перерізі.

3.3.4 Методика проведення дослідів при порівняльному дослідженні ефективності поділу зернового матеріалу в пневмосепарувальному каналі без перегородок та з однією і двома перегородками

Підготовка вихідного матеріалу.

Для порівняння ефективності поділу зернового матеріалу в пневмоканалах без перегородок та з однією і двома перегородками різної висоти (100, 150, 200, 250 мм) необхідно на них обробляти один і той же матеріал. Двохкомпонентну зернову суміш для обробки на експериментальній установці використовуємо ту ж, що і в п. 3.3.3.

Оцінка ефективності пневмосепарування.

1. Ефективність поділу матеріалу сепаратором оцінювали показником Ньютона [45], що визначається за формулою:

$$E = \varepsilon - \xi, \quad (3.3)$$

де $\varepsilon = \frac{b_n}{b} \cdot 100\%$ – повнота виділення смітної домішки, %;

$\xi = \frac{a_n}{a} \cdot 100\%$ – втрати основного компонента, %;

b_n – кількість смітної домішки в легкій фракції, г;

b – кількість смітної домішки в вихідному матеріалі, г;

a_n – кількість основного компонента в легкій фракції, г;

a – кількість основного компонента у вихідному матеріалі, г.

2. Ефективність визначали в повітряному сепараторі в пневмоканалі якого встановлені перегородки при різних подачах швидкості повітряного потоку 3,5; 4,5; 5,5 м/с, питомому зерновому навантаженні 29,62; 33,3; 37 кг/см²·год і триразовою повторністю дослідів.

3. Проводили відбір матеріалу легкої фракції. Визначали вагу пшениці і легкої домішки. Визначали середнє арифметичне, середнє квадратичне відхилення.

4. Нами була прийнята довірча межа випадкової похибки досліду 5 % при довірчій ймовірності 0,95. За достатню кількість повторних дослідів брали 3, коли довірчі межі випадкової похибки становило $\varepsilon < 5\%$.

Висновки за розділом

В даному розділі кваліфікаційної роботи було встановлено, що ефективність виділення легких домішок збільшується при збільшенні швидкості повітряного потоку в пневмоканалі від 3,5 до 5,5 м/с на 3 – 10 %. А при збільшенні завантаження зернового матеріалу, що подається в пневмоканал, зменшується.

Обґрунтовано раціональні параметри процесу очищення зернового матеріалу від легких домішок в пневмоканалі з перегородками: завантаження пневмоканала зерновим матеріалом – 29 кг/см²·год, кількість встановлених перегородок – одна, висота перегородок – 250 мм і швидкість повітряного потоку 5,5 м/с.

4 ОБГРУНТУВАННЯ ОСНОВНИХ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ ЗЕРНА ПОВІТРЯНИМ ПОТОКОМ

4.1 Обґрунтування схеми повітряного сепаратора

Раніше проведені дослідження вченими [28, 33, 35] глибокого пневмосепарувального каналу для очищення насіння від важковідокремлюваних домішок, підвищення якості очищення зерна шляхом зміни конструктивних і технологічних параметрів, створена пневмосистема машини попереднього очищення зерна, здатна працювати як за потокової, так і за фракційної технологіями, що володіє високим показником якості виконання технологічного процесу, завдяки розробленню похилого пневмосепарувального каналу. Конструктивні методи по інтенсифікації процесу і оптимальний режим роботи повітряного сепаратора повинні забезпечити найбільш ефективний процес сепарування.

Експериментальні дослідження проведені на повітряному сепараторі з вібрототком і без вібрототка, що подає зерновий матеріал в пневмосерувальний канал без перегородок, дослідження показали, що з встановленою конструкцією вібрототка ефективність очищення зернового матеріалу від легкої домішки більше, ніж на повітряному сепараторі без вібрототка, що подає зерновий матеріал. Попередніми експериментальними дослідженнями встановлено, що при установці перегородок (висотою 250 мм і шириною 300 мм) в пневмоканал повітряного сепаратора, вирівнюється швидкість повітряного потоку і тим самим збільшується ефективність очищення зерна. Аналіз результатів досліджень показав, що з однією встановленою перегородкою ефективність очищення більше, ніж в пневмоканалі з двома встановленими перегородками і без перегородок, так само дослідження показали, що при збільшенні швидкості повітря, що подається в пневмоканал від 3,5 до 5,5 м/с збільшується ефективність

очищення зерна, а при збільшенні завантаження пневмоканалу зменшується ефективність очистки зерна.

Внаслідок в'язкості повітря і його тертя об стінки пневмосепарувального каналу відбувається різке падіння швидкості повітряного потоку до нуля в безпосередній близькості від стінок каналу, тобто утворюється тонкий пристінний шар. Так як при цьому кількість повітряного потоку, що протікає залишається незмінним, то гальмування в пристінному шарі викликає відповідне підвищення швидкості в середній частині повітряного потоку, тобто швидкість повітряного потоку в поперечному перерізі каналу розподілена не рівномірно.

У пневмоканалі з встановленими перегородками створюються умови, при яких зернівки пшениці знаходяться більш тривалий час під впливом повітряного потоку, ніж в пневмоканалі без перегородок.

Дослідження показали, що очищення зерна від легких домішок в повітряному сепараторі в пневмоканалі якого встановлена одна перегородка при продуктивності 8 т/год становить 99,46 %, в пневмоканалі без перегородки при тій же продуктивності ефективність очищення зерна складає 91,11 %.

4.2 Вплив основних параметрів повітряного сепаратора, в пневмоканалі якого встановлені перегородки

Результати попередніх досліджень процесу очищення зерна в повітряному сепараторі дозволили встановити високу ефективність його використання на очищенні зерна від легких домішок.

У завдання даної роботи входила оцінка впливу основних параметрів: кількість і розмір перегородок, завантаження пневмоканала зерновим матеріалом, швидкість повітряного потоку в пневмоканалі повітряного сепаратора, на ефективність очищення зернового матеріалу від легких домішок в повітряному сепараторі. Для проведення досліджень використовували повітряний сепаратор (рис. 3.1.), в пневмоканалі якого встановлені перегородки з метою вирівнювання

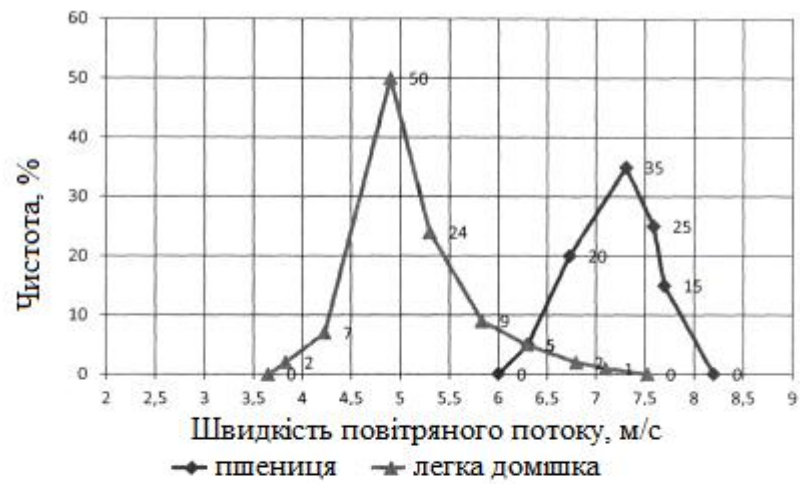
швидкості повітряного потоку і нижній лоток приймального бункера оснащений вібрлотком.

Принцип роботи повітряного сепаратора описаний в розділі 3. Експерименти проводили за методикою описаною в розділі 3. Кожен дослід проводили в наступній послідовності. Встановлювали певні значення досліджуваних показників (кількість перегородок N , подачу швидкості повітряного потоку V , завантаження пневмоканалу Q). Вихідний зерновий матеріал після ретельного перемішування завантажували в приймальний бункер експериментальної установки, включали привід повітряного сепаратора. До початку експерименту заміряли швидкість повітряного потоку в пневмоканалі контрольно-вимірювальними приладами за методикою 3.2.4. Після визначення швидкості повітряного потоку в пневмоканалі, подавали зерновий матеріал в пневмоканал повітряного сепаратора, потім зважували легку домішку, що потрапила в осадову камеру. Результати вносили в журнал експериментального дослідження, ефективність виділення легких домішок E оцінювали показниками Г.В. Ньютона і В.Г. Ньютона і визначали максимальні величини.

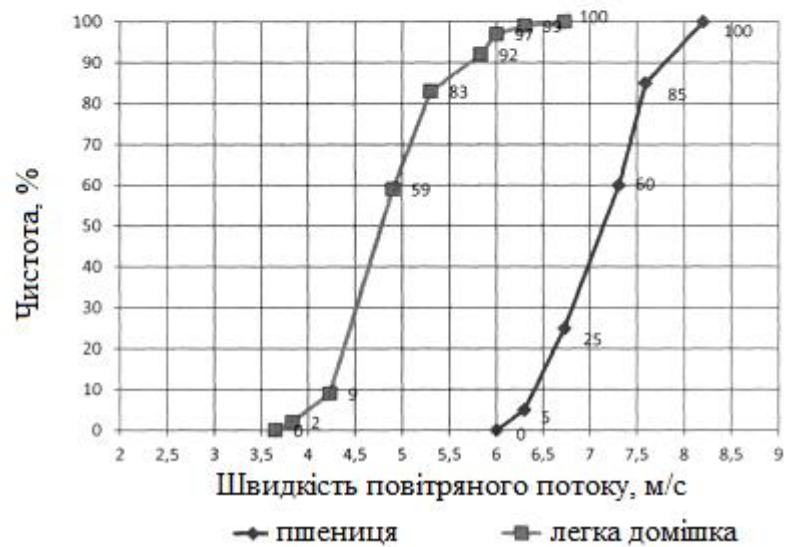
4.2.1 Вплив швидкості витання пшениці і легкої домішки на ефективність поділу

При дослідженні поділяли зерновий матеріал масою 30 кг і вологістю 12,8 %, що складається з зерен пшениці (основний матеріал) із середньою масою 1000 зерен 38 г і легкої домішки (биті, дрібні, щуплі і легкі зерна основної культури, лушпиння та інше).

Для визначення максимально можливої ефективності поділу компонентів зернової суміші були визначені швидкості витання пшениці і легкої домішки на пневмокласифікаторі і побудовані диференціальні інтегральні полігони розподілу швидкостей витання (рис. 4.1).



а)



б)

Рисунок 4.1 – Варіаційні криві розподілу швидкостей витання компонентів зернової суміші

а – диференціальні; б – інтегральні

Поділ компонентів без незначних втрат пшениці не можливий, так як варіаційні криві перетинаються. При 100 % виділенні легкої домішки втрати пшениці можуть становити 8 %, а ефективність сепарування може скласти 92 %.

4.2.2 Вплив встановленого вібрототка на ефективність очищення зерна від легких домішок в пневмоканалі без перегородок

Експериментальні дослідження з очищення зерна від легких домішок проводили на повітряному сепараторі приймальний бункер, якого оснащений вібруючим живильним лотком, а також без вібрототка (рис. 4.2). Експерименти проводили при засміченості зернового матеріалу легкими домішками – 4 %, зерновому навантаженні – 29 кг/см²·год і вологості – 12,8 %. Вихідний зерновий матеріал після ретельного перемішування завантажується в приймальний бункер, з приймального бункера – вібруючим живильним лотком зерновий матеріал, на якому відбувається перерозподіл часток зернового матеріалу в шарі, подається в пневмосепарувальний канал. Під дією повітряного потоку домішки, швидкість витання яких менше швидкості витання зерен основної культури, піднімаються вгору по пневмосепарувальному каналу і надходять в осадову камеру.

Дані ефективності поділу зернового матеріалу на повітряному сепараторі з вібрототком і без вібрототка зведені в таблицю 4.1.

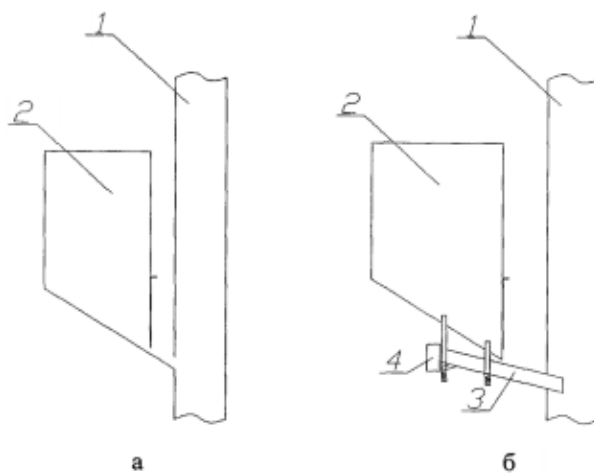


Рисунок 4.2 – Приймальний бункер з вібруючим лотком і без вібрототка
 а – приймальний бункер без вібрототка; б – приймальний бункер з вібрототком.
 1 – пневмоканал; 2 – приймальний бункер; 3 – вібрототок; 4 – вібратор.

Таблиця 4.1 – Ефективність поділу зернового матеріалу на повітряному сепараторі з вібрлотком і без вібрлотка

| Швидкість повітряного потоку в пневмоканалі | Ефективність поділу зернового матеріалу від легких домішок в %, з вібрлотком | Ефективність поділу зернового матеріалу від легких домішок в %, без вібрлотка |
|---|--|---|
| 3,5 м/с | 68,11 | 61,04 |
| 4,5 м/с | 70,41 | 63,2 |
| 5,5 м/с | 73,27 | 68,87 |

Аналіз впливу конструкції повітряного сепаратора з встановленим вібрлотком і без вібрлотка, показує, що максимальна ефективність розподілу зернового матеріалу від легких домішок склала 73,27 % в повітряному сепараторі з вібрлотком, при тих же умовах в повітряному сепараторі без вібрлотка 68,87 %. Вібрлоток не тільки вирівнює шар зерна по всій довжині пневмосепарувального каналу, а й сприяє розшаруванню зернової суміші так, що легкі домішки переміщуються в верхній шар. Це сприяє більш ефективному їх виділенню повітряним потоком. Аналіз експериментальних досліджень показав, що ефективність очищення зернового матеріалу від легких домішок збільшується від 4 до 8 % в повітряному сепараторі з вібруючим живильним лотком.

4.2.3 Вплив кількості та висоти встановлених перегородок в пневмоканалі на ефективність очищення зерна від легких домішок

З метою обґрунтування кількості і висоти перегородок (рис. 4.3) були проведені експериментальні дослідження по вивченню впливу кількості перегородок і висоти на ефективність очищення зерна від легких домішок.

Аналіз впливу встановлених перегородок показав, що максимальна ефективність очищення зерна від легких домішок 99,46 % (рис. 4.3), при одній встановленій перегородці висотою 250 мм, швидкості повітряного потоку в пневмоканалі 5,5 м/с. Мінімальна ефективність очищення зерна при двох

встановлених перегородках висотою 100 мм, швидкості повітряного потоку в пневмоканалі 3,5м/с і становить 72,57 % (рис. 4.4).

Дані ефективності поділу зернового матеріалу в пневмосепарувальних каналах з однією і двома перегородками різної висоти зведені в таблицю 4.2.

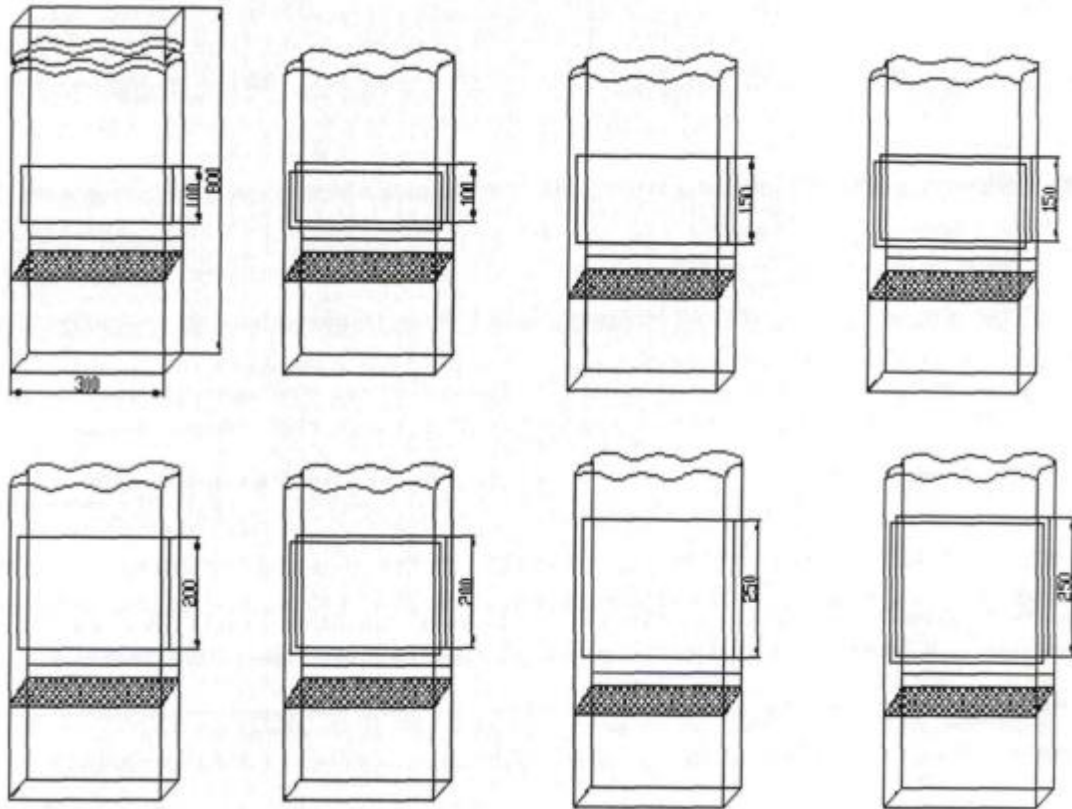


Рисунок 4.3 – Пневмосепарувальний канали з встановленими однією і двома перегородками різної висоти

Після проведення експериментів прийшли до висновку, що в пневмосепарувальному каналі з однією встановленою перегородкою ефективність поділу зернового матеріалу вище ніж в пневмоканалі без перегородки і двома перегородками. У пневмосепарувальному каналі з двома встановленими перегородками внаслідок тертя повітря об стінки пневмоканалу і перегородку в безпосередній близькості від стінок каналу відбувається різке падіння швидкості повітряного каналу і тим самим впливає на ефективність розподілу зернового матеріалу від легких домішок.

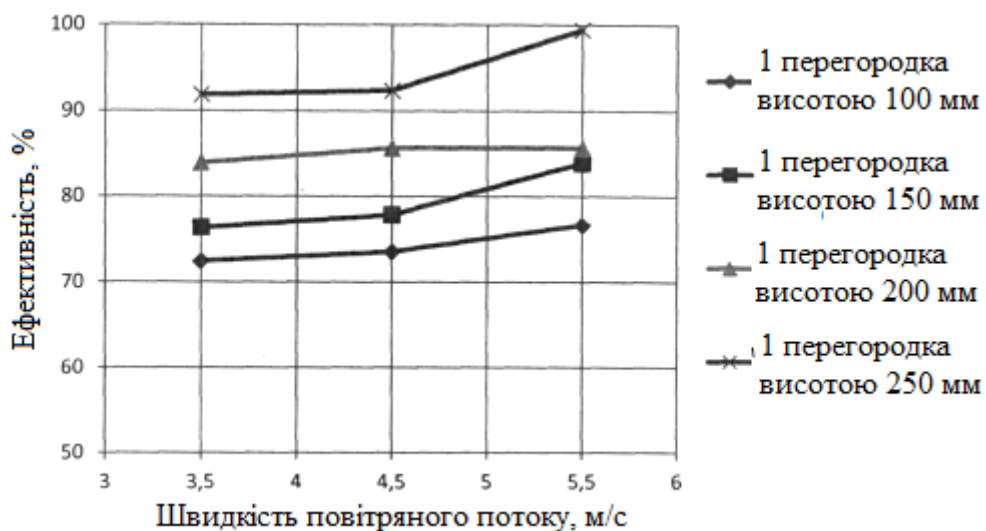


Рисунок 4.4 – Ефективність очищення зернового матеріалу в пневмоканалі з однією перегородкою

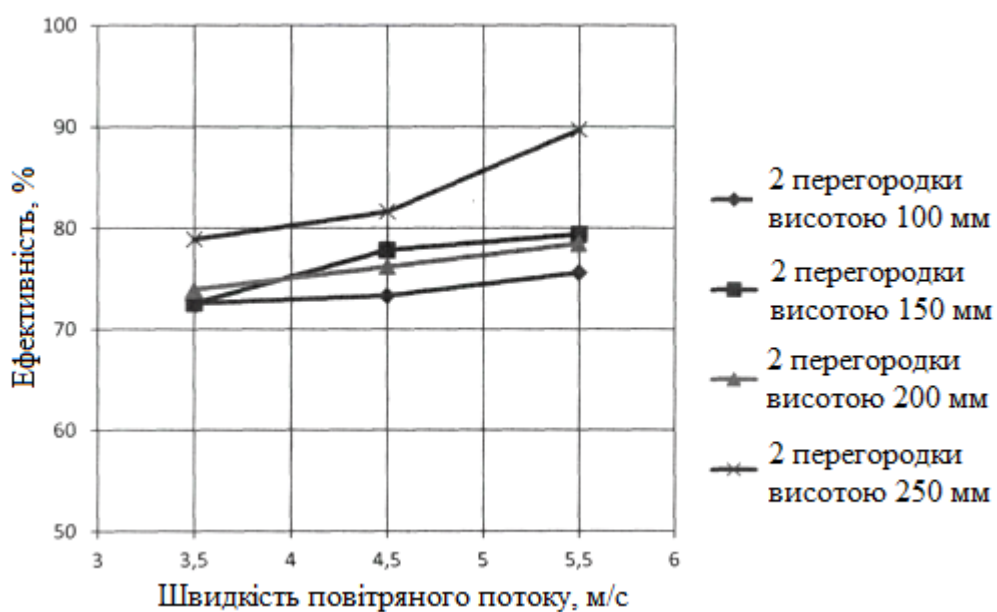


Рисунок 4.5 – Ефективність очищення зернового матеріалу в пневмоканалі з двома перегородками

Таблиця 4.2 – Ефективність поділу зернового матеріалу в пневмосепарувальних каналах з однією і двома перегородками різної висоти і без перегородок

| Кількість перегородок, шт | Висота перегородок, мм | Ефективність поділу зернового матеріалу від легких домішок в % | | |
|-----------------------------|------------------------|--|---|---|
| | | Швидкість повітряного потоку в пневмоканалі 3,5 м/с | Швидкість повітряного потоку в пневмоканалі 4,5 м/с | Швидкість повітряного потоку в пневмоканалі 5,5 м/с |
| 1 перегородка | 100 | 72,44 | 73,57 | 76,70 |
| | 150 | 76,36 | 77,87 | 83,93 |
| | 200 | 83,93 | 85,70 | 85,70 |
| | 250 | 91,89 | 92,43 | 99,46 |
| 2 перегородки | 100 | 72,57 | 73,33 | 75,60 |
| | 150 | 72,57 | 77,87 | 79,39 |
| | 200 | 73,94 | 76,21 | 78,48 |
| | 250 | 78,91 | 81,62 | 89,72 |
| Пневмоканал без перегородок | | 68,11 | 70,41 | 73,27 |

У пневмосепарувальному каналі без перегородок в середній частині каналу швидкість повітряного потоку максимальна, а у бічних стінок каналу практично дорівнює нулю і це впливає на ефективність розділення зернового матеріалу від легких домішок. Найбільш сприятлива умова створюється в пневмосепарувальному каналі з однієї встановленої перегородкою, де швидкість повітряного потоку раціонально вирівняна, завдяки чому зерновий матеріал більш тривалий час піддається дії повітряного потоку і ефективність поділу набагато більше, ніж в пневмоканалах без перегородок і з двома встановленими перегородками.

4.2.4 Обґрунтування основних параметрів повітряного сепаратора при очищенні зерна від легких домішок

Експериментальні дослідження проводилися на кафедрі харчових технологій Дніпропетровського державного аграрно-економічного університету та в умовах товариства з обмеженою відповідальністю «Павлоградзернопродукт».

Для проведення досліджень використовували зерновий матеріал (пшениця) вагою 38,94 кг., і легку домішку (биті зерна основної культури, лущиння тощо) вагою 3,7 кг.

Вивчення процесу очищення зерна від легких домішок полягало у визначенні оптимальної швидкості повітряного потоку в пневмоканалі, завантаженому зерновим матеріалом і кількості перегородок встановлених в пневмоканалі для вирівнювання швидкості повітряного потоку, при якій забезпечується висока ефективність очищення зерна від легких домішок в пневмосепараторі.

Для вирішення поставленого завдання було зроблено планування експерименту за допомогою повного факторного експерименту (ПФЕ-3³). Рівні варійованих факторів визначали на основі аналізу науково-технічної інформації за станом питання.

Встановлено, що швидкість повітряного потоку в пневмоканалі може варіюватися від 3,5 до 5,5 м/с, тому при плануванні експерименту необхідно врахувати цей фактор.

Крім того, було встановлено, що слід проводити експерименти в пневмоканалі без перегородки, а також з однією і двома встановленими перегородками.

Як параметр оптимізації була обрана ефективність очищення зернового матеріалу, що характеризує здатність поділу зернового матеріалу від легких домішок.

Використовуючи літературні дані при проведенні експериментальних досліджень з безлічі факторів, що впливають на процес очищення зернового матеріалу, для дослідження було обрано такі: швидкість повітряного потоку в

пневмоканалі, кількість встановлених перегородок в пневмоканалі, завантаження пневмоканалу зерновим матеріалом.

Заплановано проводити експерименти при швидкості повітряного потоку 3,5; 4,5 і 5,5 м/с, сепарувати зерновий матеріал в пневмоканалі без перегородки при різних величинах завантаження пневмоканалу 37; 33,3 і 29,62 кг/см²·год, також заплановано проводити експерименти при тих же швидкостях повітряного потоку і завантаженні пневмоканалу зерновим матеріалом з однієї і двома встановленими перегородками в пневмоканалі. У таблиці 4.3 представлені рівні варіювання факторів процесу очищення зернового матеріалу від легких домішок.

Таблиця 4.3 – Рівні варіювання факторів процесу очищення зернового матеріалу від легких домішок

| Фактор | Рівень | | |
|---|--------|------|-----|
| | -1 | 0 | +1 |
| X_1 – швидкість повітряного потоку в пневмоканалі, м/с. | 3,5 | 4,5 | 5,5 |
| X_2 – кількість встановлених перегородок в пневмоканалі, шт. | 1 | 0 | 2 |
| X_3 – завантаження пневмоканала зерновим матеріалом, кг/см ² ·год. | 29,62 | 33,3 | 37 |

Побудувавши план повного факторного експерименту при вивченні про процесу очищення зернового матеріалу від легких домішок, здійснили експеримент.

Отримавши експериментальні дані, виконали статистичну обробку результатів. Спочатку визначили похибки повторних (паралельних) дослідів. Середньоквадратичне відхилення визначили за виразом [36]:

$$S_i^2 = \frac{\sum_1^n (y_i - y)^2}{n - 1}, \quad (4.1)$$

де \bar{y} – середнє арифметичне значення параметра оптимізації з трьох повторних дослідів (значення наведені в таблиці 4.4).

Для визначення похибки використовуємо критерій Стюдента [36]:

$$\frac{\bar{y} - y_{\min}}{S} \geq t \text{ або } t_{\text{розр}} \geq t_{\text{табл.}}, \quad (4.2)$$

де t – критерій Стюдента, його значення для трьох повторних дослідів і довірчої ймовірності 0,95 дорівнює $t = 4,3$.

Для п'ятого дослідів $y_{\min} = 89,27$; $y_{\max} = 91,48$; $y = 90,41$.

$$\frac{\bar{y} - y_{\min}}{S} = \frac{90,41 - 89,27}{1,10666} = 1,03$$

$$\frac{y_{\max} - \bar{y}}{S} = \frac{91,48 - 90,41}{1,10666} = 0,9668$$

Умова $t_{\text{розр}} \geq t_{\text{табл.}}$ не виконується, отже, результати повторних дослідів не можемо вважати помилковими.

Дисперсію відтворюваності розраховуємо за формулою:

$$S_y^2 = \frac{\sum_1^N \sum_1^n (y_{ui} - \bar{y}_u)^2}{N(n-1)} = \frac{\sum_1^N S_i^2}{N} = \frac{115,8236}{27} = 4,289762 \quad (4.3)$$

Перевірку однорідності дисперсій можна виконувати за критеріями Фішера і Кохрена.

Таблиця 4.4 – Середньоквадратичне відхилення дослідів

| Номер досліду | S_i^2 | S_i | Номер досліду | S_i^2 | S_i |
|---------------|----------|----------|---------------|----------|----------|
| 1 | 1,1664 | 1,08 | 15 | 6,204033 | 2,49079 |
| 2 | 1,453433 | 1,205584 | 16 | 10,91523 | 3,303821 |
| 3 | 1,207033 | 1,098651 | 17 | 13,21903 | 3,635799 |
| 4 | 1,1664 | 1,08 | 18 | 12,30823 | 3,508309 |
| 5 | 1,2247 | 1,106662 | 19 | 2,640633 | 1,625003 |
| 6 | 1,199433 | 1,095186 | 20 | 2,689733 | 1,640041 |
| 7 | 0,853333 | 0,92376 | 21 | 2,810033 | 1,676315 |
| 8 | 0,7936 | 0,890842 | 22 | 2,6244 | 1,62 |
| 9 | 0,929233 | 0,963967 | 23 | 2,296233 | 1,515333 |
| 10 | 1,1664 | 1,08 | 24 | 2,4583 | 1,567897 |
| 11 | 1,0303 | 1,015037 | 25 | 10,53003 | 3,245001 |
| 12 | 0,906233 | 0,951963 | 26 | 10,28603 | 3,207185 |
| 13 | 5,5404 | 2,353805 | 27 | 12,2575 | 3,501071 |
| 14 | 5,947233 | 2,438695 | | | |

Перевірка за критерієм Фішера:

$$F_{розр} = \frac{S_{\max}^2}{S_{\min}^2} = \frac{S_{17}^2}{S_8^2} = \frac{13,21903}{0,7936} = 16,657 \quad (4.4)$$

При числах ступенів свободи:

$$f_8 = f_{17} = n - 1 = 3 - 1 = 2$$

$$F_{табл} = 19,0$$

$F_{розр} < F_{табл}$ – дисперсії однорідні

Перевірка за критерієм Кохрена:

$$G = \frac{S_{\max}^2}{\sum_1^N S_i^2} = \frac{13,21903}{115,8236} = 0,11413 \quad (4.5)$$

Табличне значення критерію Кохрена в залежності від числа ступенів свободи

$$f_1 = n - 1 = 3 - 1 = 2 \text{ та } f_2 = N = 27$$

$$G_{\text{табл}} = 0,21296$$

Виконано умову $G < G_{\text{табл}}$ отже, дисперсії однорідні. Рівняння регресії має вигляд:

$$\begin{aligned} \hat{Y} = & 116,2733 + 5,8614 \cdot X_2 - 16,001 \cdot X_1 - 6,6413 \cdot X_2^2 + \\ & + 0,6108 \cdot X_2 \cdot X_1 + 2,2215 \cdot X_1^2 \end{aligned} \quad (4.6)$$

Перевіряємо адекватність отриманого рівняння.

Обчислюємо теоретичні значення параметра оптимізації \hat{Y} , величину похибки $\Delta Y = Y - \hat{Y}$, отримані результати занесені в таблицю 4.5.

Розраховуємо дисперсію адекватності:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{\sum_1^N (Y - \hat{Y})^2}{f} = \frac{\sum_1^N Y_i^2}{f} = \frac{82,8777}{23} = 3,603, \quad (4.7)$$

де f – число ступенів свободи.

$$f = N - (k + 1), \quad (4.8)$$

де k – число факторів.

$$f = 27 - (3 + 1) = 23$$

Адекватність рівняння регресії визначається за критерієм Фішера:

$$F_{розр} = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2} = \frac{3,603}{4,289762} = 0,83999$$

$$F_{табл} = 19,0$$

$F_{розр} \leq F_{табл}$ ця умова виконується, отже, модель адекватна.

Таблиця 4.5 – Значення параметра оптимізації і величини помилок

| Номер дослід-ду | Y | ΔY | ΔY^2 | Номер дослід-ду | Y | ΔY | ΔY^2 |
|-----------------|----------|------------|--------------|-----------------|----------|------------|--------------|
| 1 | 88,84423 | -3,04577 | 9,276745 | 15 | 89,25823 | 0,921555 | 0,849264 |
| 2 | 88,84423 | -0,86244 | 0,743811 | 16 | 95,47313 | -1,64021 | 2,690272 |
| 3 | 88,84423 | 1,327555 | 1,762402 | 17 | 95,47313 | 0,236455 | 0,055911 |
| 4 | 91,22693 | -1,20308 | 1,447389 | 18 | 95,47313 | 2,406455 | 5,791026 |
| 5 | 91,22693 | 0,816925 | 0,667366 | 19 | 76,91953 | -1,9938 | 3,975258 |
| 6 | 91,22693 | 2,800255 | 7,841428 | 20 | 76,91953 | 0,076195 | 0,005806 |
| 7 | 98,05263 | -1,41404 | 1,999523 | 21 | 76,91953 | 2,122855 | 4,506513 |
| 8 | 98,05263 | -0,28737 | 0,082584 | 22 | 79,91303 | -1,70698 | 2,913764 |
| 9 | 98,05263 | 1,869295 | 3,494264 | 23 | 79,91303 | 0,316355 | 0,10008 |
| 10 | 87,48633 | -1,15367 | 1,330966 | 24 | 79,91303 | 2,353025 | 5,536727 |
| 11 | 87,48633 | 0,696325 | 0,484869 | 25 | 87,34953 | -2,37381 | 5,63495 |
| 12 | 87,48633 | 2,832995 | 8,025861 | 26 | 87,34953 | -0,29381 | 0,086321 |
| 13 | 89,25823 | -3,17178 | 10,06016 | 27 | 87,34953 | 1,499525 | 2,248575 |
| 14 | 89,25823 | -1,12511 | 1,265861 | | | | |

Отримавши експериментальні дані і виконавши статистичну обробку результатів отримали рівняння регресії:

$$y = 116,2733 + 5,861 \cdot X_2 - 16 \cdot X_1 - 6,641 \cdot X_2^2 \cdot X_1 + 2,2215 \cdot X_1^2$$

де X_1 – швидкість повітряного потоку в пневмоканалі, м/с;

X_2 – кількість встановлених перегородок в пневмоканалі, шт.

За допомогою програми Статистика 8.0 побудували графік залежності ефективності очищення зернового матеріалу від швидкості повітряного потоку і кількості встановлених перегородок (рис. 4.6)

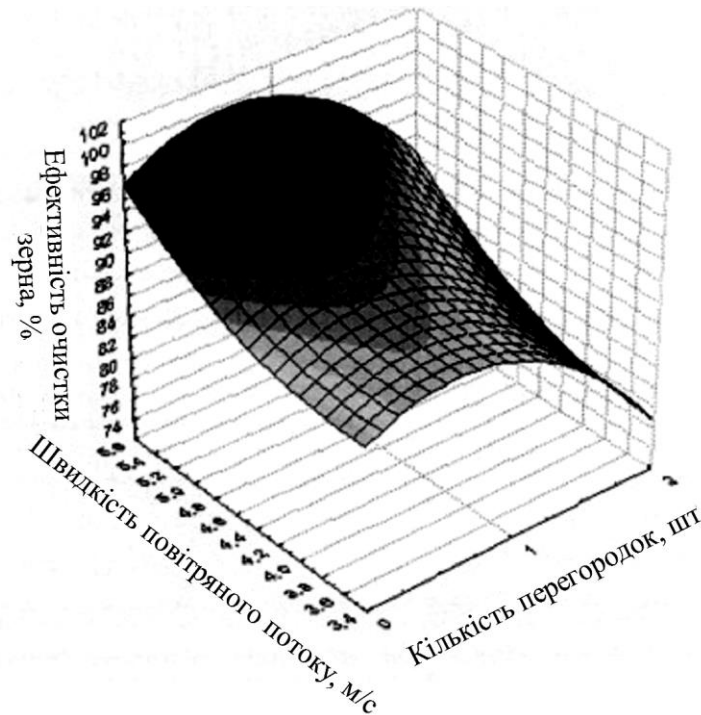


Рисунок 4.6 – Графік залежності ефективності очищення зернового матеріалу від швидкості повітряного потоку і кількості перегородок

За допомогою тієї ж програми Статистика 6.0, побудували графік залежності ефективності очищення зернового матеріалу від кількості встановлених перегородок і завантаження пневмоканала зерновим матеріалом (рис. 4.7) і рівняння регресії наступного вигляду:

$$y = 103,4414 - 0,2189 \cdot X_3 + 8,5519 \cdot X_2 - 0,0048 \cdot X_3^2 + 0,0017 \cdot X_3 \cdot X_2 - 6,6413 \cdot X_2^2, \quad (4.9)$$

де X_2 – кількість встановлених перегородок в пневмоканалі, шт;

X_3 – завантаження пневмоканалу зерновим матеріалом, кг/см²·год.

Характер зміни ефективності очищення зерна показує, що найбільша ефективність очищення зерна – 99,46 % спостерігається при швидкості

повітряного потоку в пневмоканалі 5,5 м/с та в пневмоканалі з однією встановленою перегородкою і завантаженням пневмоканалу зерновим матеріалом 29,62 кг/см²·год.

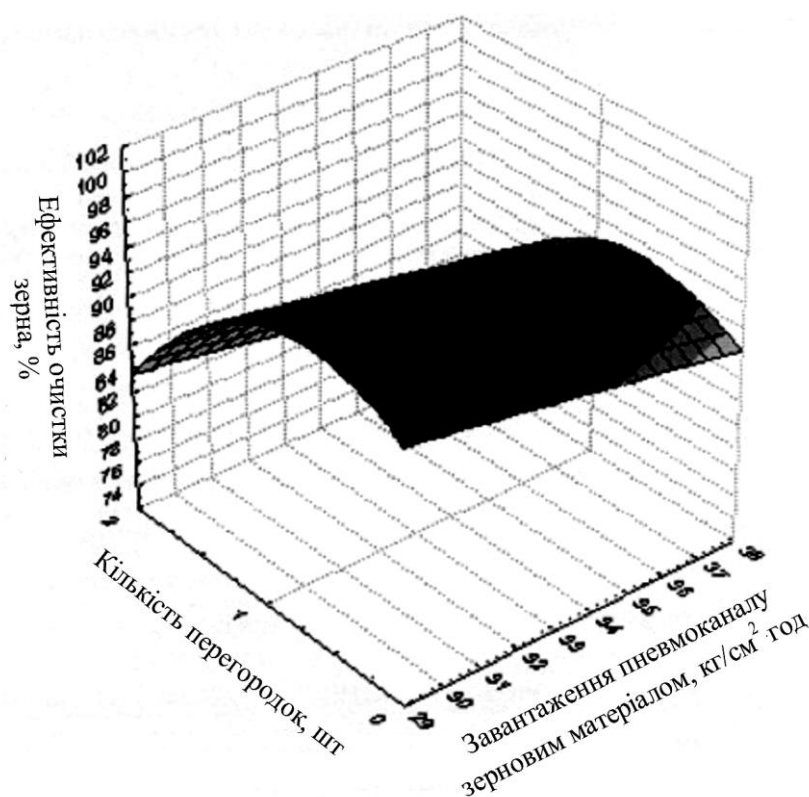


Рисунок 4.7 – Графік залежності ефективності очищення зернового матеріалу від кількості встановлених перегородок і завантаження пневмоканалу зерновим матеріалом

Були проведені дослідження на повітряному сепараторі, з метою визначення оптимальної швидкості повітряного потоку в пневмоканалі. Дослідження показали, що при збільшенні швидкості повітряного потоку в пневмосепарувальному каналі від 3,5 до 5,5 м/с збільшується ефективність очищення зерна від легких домішок від 91,89 до 99,46 %, а при зменшенні швидкості повітряного потоку зменшується ефективність очищення зерна. Після проведення експериментів було встановлено, що оптимальна швидкість повітряного потоку в пневмосепарувальному каналі склала 5,5 м/с. Швидкість повітряного потоку, який подається в пневмоканал регулюється заслінкою (рис. 3.1).

Вплив завантаження зернового матеріалу на ефективність очищення зернового матеріалу від легких домішок вивчали при тих же факторах, що і в попередніх дослідах. Завантаження пневмоканалу зерновим матеріалом $29,62 \text{ кг/см}^2 \cdot \text{год}$ забезпечує продуктивність експериментальної установки 8 т/год , завантаження $33,3 \text{ кг/см}^2 \cdot \text{год}$ відповідно 9 т/год і $37 \text{ кг/см}^2 \cdot \text{год}$ – 10 т/год . Дослідження очищення зернового матеріалу від легких домішок показали, що зі збільшенням завантаження пневмоканалу зерновим матеріалом зменшується ефективність очищення зернового матеріалу, а при зменшенні завантаження збільшується ефективність очищення зернового матеріалу з $96,18$ до $99,46 \%$.

4.2.5 Вплив засміченості зернової суміші на ефективність очищення зерна від легких домішок

Вплив вмісту легких домішок в зерновому матеріалі на ефективність очищення вивчали за таких умов: пневмосепарувальний канал з однією, двома встановленими перегородками висотою 250 мм і без перегородок, при швидкості повітряного потоку, що подається в пневмосепарувальний канал $5,5 \text{ м/с}$, подача зернового матеріалу 8 т/год . Вміст легких домішок (C_0) в зерновому матеріалі становила $4,42$; $6,08$; $8,47$ і 10% . Результати дослідів представлені на рисунку 4.8 і зведені в таблицю 4.6.

Проведені експерименти показують, що ефективність виділення легких домішок падає при підвищенні вмісту легкого компонента в зерновому матеріалі. При вмісту легких домішок $4,42 \%$, в пневмоканалі з однією встановленою перегородкою спостерігається ефективність його виділення $99,46 \%$.

Пояснюється це тим, що за інших рівних умов повітряному потоку доводиться виділяти і транспортувати більшу кількість матеріалу [44].

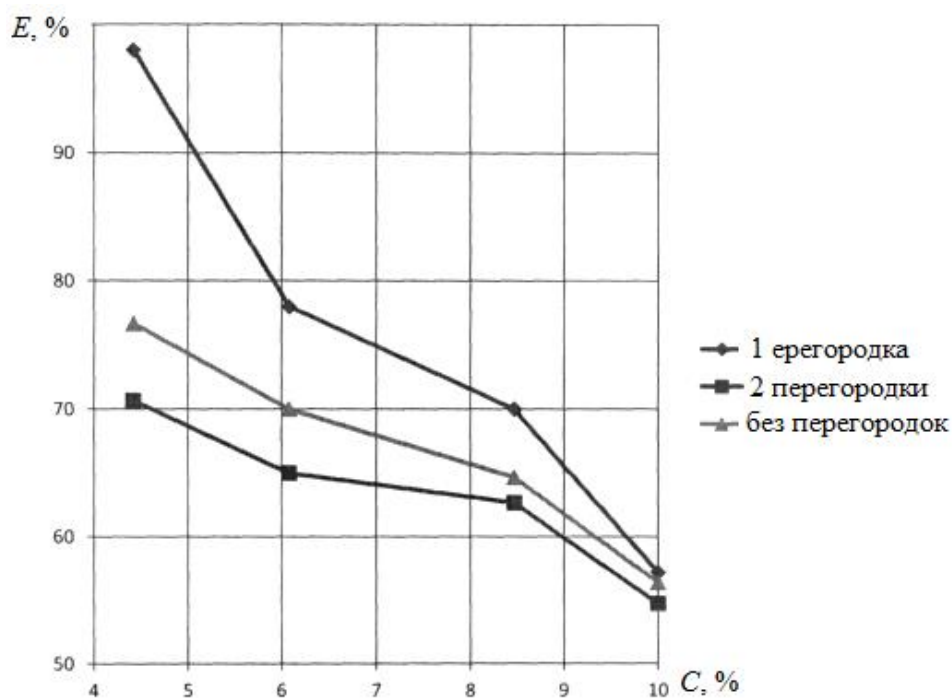


Рисунок 4.8 – Ефективність виділення легкої домішки в залежності від вмісту її в зерновому матеріалі

Таблиця 4.6 – Ефективність виділення легкої домішки в залежності від вмісту її в зерновому матеріалі

| № п/п | Вміст легкої домішки, % | Ефективність поділу зернового матеріалу в % | | | | | | | | | | | |
|-------|-------------------------|---|-------|-------|---------------|-------------------------------|-------|-------|---------------|-----------------------------|-------|-------|---------------|
| | | Пневмоканал з 1 перегородкою | | | | Пневмоканал з 2 перегородками | | | | Пневмоканал без перегородок | | | |
| | | повторність | | | Сер. значення | повторність | | | Сер. значення | повторність | | | Сер. значення |
| | | 1 | 2 | 3 | | 1 | 2 | 3 | | 1 | 2 | 3 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 1 | 4,42 | 99,59 | 99,22 | 99,58 | 99,46 | 70,75 | 70,39 | 70,85 | 70,66 | 77,2 | 76,8 | 76 | 76,66 |
| 2 | 6,08 | 77,84 | 78,96 | 77,2 | 78 | 65,38 | 64,04 | 65,6 | 65 | 71 | 68,1 | 71 | 70 |
| 3 | 8,47 | 69,4 | 70 | 70,6 | 70 | 63,3 | 62,9 | 61,8 | 62,66 | 65 | 64,1 | 64,9 | 64,66 |
| 4 | 10 | 56,8 | 56,9 | 57,9 | 57,2 | 54,41 | 55,84 | 53,9 | 54,71 | 55,9 | 56,89 | 56,35 | 56,38 |

Крім засміченості оброблюваного зернового матеріалу на процес пневмосепарування значно впливає її вологість (рис. 4.9).

4.2.6 Вплив вологості зернового матеріалу на ефективність виділення легких домішок

На післязбиральну обробку зерно надходить вологістю вище кондиційної, тому необхідно вивчити вплив вологості зернового матеріалу на ефективність виділення легких домішок. Вологість зернового матеріалу міняли від 12,8 до 27,4 % для більш повного вивчення процесу сепарування. Експерименти були проведені в пневмосепарувальному каналі з однією встановленою перегородкою висотою 250 мм, при подачі зернового матеріалу 8 т/год і при швидкості повітряного потоку, що подається в пневмоканал 5,5 м/с. Дані дослідів представлені на рисунку 4.9 і в таблиці 4.7.

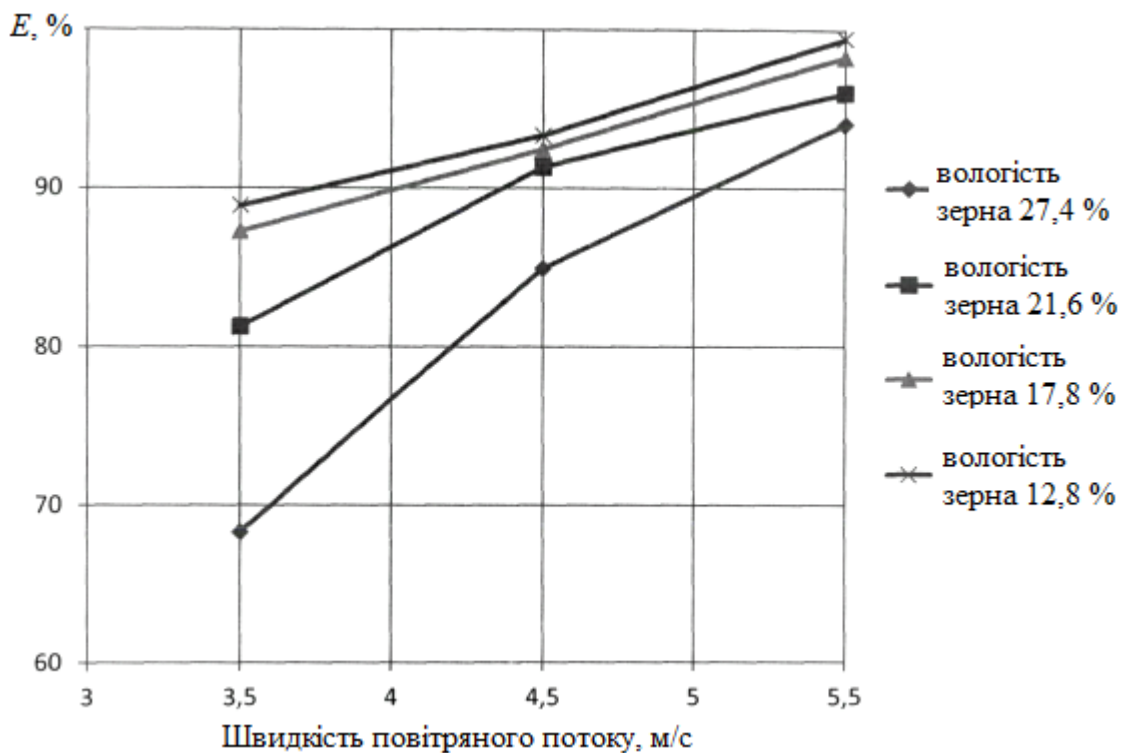


Рисунок 4.9 – Ефективність виділення легкої домішки в залежності від вологості зернового матеріалу

Аналіз результатів експериментів показує, що зі збільшенням вологості зернового матеріалу зменшується ефективність виділення легкої домішки. Так при збільшенні вологості зернового матеріалу з 12,8 % до 27,4 %, ефективність виділення легкої домішки зменшується на 5,46 %.

Це пояснюється тим, що зерно пшениці більшої вологості набухають і створюють більше перешкод на шляху виносу легкої домішки.

Дані по ефективності поділу зернового матеріалу в залежності від вологості зведені в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Ефективність поділу зернового матеріалу в залежності від вологості зернового матеріалу

| № п/п | Вологість зернового матеріалу, % | Ефективність поділу зернового матеріалу в % | | | | | | | | | | | |
|----------|-------------------------------------|--|------|-------|---------------------|--|-------|-------|---------------------|--|------|-----|---------------------|
| | | При швидкості повітряного потоку 3,5 м/с | | | | При швидкості повітряного потоку 4,5 м/с | | | | При швидкості повітряного потоку 5,5 м/с | | | |
| | | повторність | | | Середнє значення | повторність | | | Середнє значення | повторність | | | Середнє значення |
| | | 1 | 2 | 3 | | 1 | 2 | 3 | | 1 | 2 | 3 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| 1 | 27,4 | 68 | 72 | 65 | 68,3 | 90 | 92 | 93 | 91,66 | 98 | 95 | 97 | 96,66 |
| 2 | 21,6 | 83 | 81 | 80 | 81,33 | 91 | 93 | 90 | 91,33 | 98 | 99 | 97 | 98 |
| 3 | 17,8 | 86 | 89 | 87 | 87,33 | 92 | 93 | 95 | 93,33 | 99 | 97 | 99 | 98,33 |
| 4 | 12,8 | 88,6 | 88,9 | 88,93 | 88,81 | 91,35 | 92,43 | 93,51 | 92,43 | 100 | 98,4 | 100 | 99,46 |

Висновки за розділом

В даному розділі кваліфікаційної роботи було отримано наступні результати:

1. Продуктивність повітряного сепаратора для очищення зерна з встановленими перегородками в пневмоканалі склала для різної вологості пшениці (14,2 – 25,3 %) і засміченості (3,2 – 7,7 %) і продуктивності 8 – 10 т/год.

2. При обробці зернового вороху пшениці за один пропуск знімається понад 1 % вологи (поверхневої), видаляється понад 88 % легкої домішки.

3. Використання повітряного сепаратора для очищення зерна з встановленими перегородками в пневмоканалі дозволяє підвищити ефективність очищення від легких домішок на 12 – 17 %.

4. Повітряний сепаратор для очищення зерна з встановленими перегородками в пневмоканалі можна рекомендувати використовувати як стаціонарну машину, що працює окремо на пунктах з приймання зерна і для монтажу на зерноочисних агрегатах різного типу, що мають вертикальні ампіраційні канали.

5. За результатами випробувань повітряний сепаратор для очищення зерна з встановленими перегородками в пневмоканалі, може бути рекомендований для впровадження в лінію з підготовки зерна пшениці до зберігання в ТОВ «Павлоградзернопродукт».

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

5.1 Розробка організаційно-технологічної карти

Організаційно-технологічна карта з охорони праці для оператора зерноочисного сепаратора з каналом для відокремлення легких долмішок приведена на рис. 5.1.

| | |
|---|--|
| 1. Характеристика процесу та умови праці | <p>1. Місце роботи – дільниця приймання та обробки зерна на елеваторі ТОВ «Павлоградзернопродукт».</p> <p>2. Вид робіт – очищення зерна від сторонніх домішок за аеродинамічними властивостями повітряним потоком.</p> <p>3. Кваліфікація – оператор сепаратора для очистки зерна в повітряному потоці.</p> <p>4. Умови праці – нормальні.</p> |
| 2. Технічні умови забезпечення безпеки праці | <p>1. Застосувати засоби індивідуального захисту: костюм бавовняний пилозахисний; черевики шкіряні; рукавиці комбіновані; шолом захисний; при роботі взимку – куртка та брюки утеплені.</p> <p>2. Освітленість робочого місця – не менше 150 лк.</p> <p>3. Повітряний обмін – не менше 1000 м³/год.</p> |
| 3. Показники технологічного режиму і заходи безпеки | <p>1. Захисні загородження повинні бути надійно закріплені та пофарбовані в яскравий колір.</p> <p>2. Електрозахисні і блокувальні пристрої повинні бути справними і відповідати нормативним параметрам. Рама сепаратора повинна бути заземлена.</p> <p>3. На пульту керування сепаратора повинна бути попереджувальна табличка, що буде попереджувати про можливість враження струмом.</p> |
| 4. Шкідливі небезпечні і виробничі фактори на робочому місці | <p>1. Зерновий пил (аерозолі), частинки мінеральних домішок та соломи.</p> <p>2. Обертальні частини обладнання;</p> <p>3. Підвищене значення електричної напруги.</p> <p>5. Підвищений рівень шуму та вібрації.</p> |
| 5. Основні вимоги безпеки при роботі оператора сепаратора очистки зерна | <p>1. Роботи повинні виконуватись згідно заходів безпеки встановлених ДНАОП та існуючої на підприємстві документації.</p> <p>2. До роботи на сепараторі допускаються, що досягли 18 років, пройшли навчання та всі види інструктажу з охорони праці, стажування і мають досвід роботи на даному обладнанні.</p> <p>3. Забороняється проводити ремонтні роботи і очистку сепаратора не вимкнувши його від мережі і без повної зупинки робочих органів.</p> <p>4. Постійно здійснювати контроль стану опор ситового робочого органу, аспіраційного каналу та регульовальних і натяжних пристроїв.</p> <p>5. Дотримуватися правил електробезпеки, здійснювати контроль допоміжних захисних пристроїв та захисних огорожень.</p> <p>6. Підтримувати чистоту і порядок на робочому місці.</p> |

Рисунок 5.1 – Операційнотехнологічна карта оператора зерноочисного сепаратора

Під час розробки організаційно-технологічної карти нами було враховано всі особливості та умови роботи оператора зерноочисного сепаратора.

5.2 Утилізація відходів на елеваторі ТОВ «Павлоградзернопродукт»

Елеватор ТОВ «Павлоградзернопродукт» – це сучасний елеватор з повністю механізованими зерноскховищами, які забезпечують безпечне та зручне транспортування продукції. На виробничому об'єкті здійснюється кілька процесів з утилізації відходів виробництва.

Виробничі відходи з елеваторів накопичуються на складі після очищення будівлі зерноскховища. Спеціальне обладнання запобігає потраплянню опадів, високих температур ззовні будівлі, конденсації водяної пари та зараженню шкідниками. Однак тривале зберігання відходів у ліфтах не рекомендується. Їх необхідно вчасно утилізувати.

Видалення залишків зерна в силосах після сортування зерна може покращити санітарний стан зерноскховищ. Своєчасне видалення відходів також може запобігти самозайманню, розмноженню гризунів і патогенних мікроорганізмів.

Відходи з елеваторів передаються на сміттєзбірники. Змішування різних категорій відходів заборонено. Це пов'язано з тим, що передача на подальшу переробку та обробку для виробництва кормів значно ускладнюється.

Екологічна безпека залежить від дотримання вимог щодо зберігання, транспортування та утилізації відходів зернових культур. Невиконання цих вимог може призвести до небезпечних екологічних проблем. Утилізація зерновідходів відбувається поетапно. Це включає в себе наступні процеси:

- завантаження в спеціальні герметичні контейнери і доставка на переробний завод;
- розкладання відходів для отримання субстрату та біогумусу;
- відділення їстівних відходів на корм тваринам;
- термічна обробка з мінімальним викидом шкідливих продуктів згоряння;

- біологічне знешкодження;
- розкладання під впливом хімічних речовин та активних бактерій;
- можливість утилізації на звалищах та компостних майданчиках;
- тривале зберігання в закритих контейнерах з подальшим зануренням у бункери.

Висновки за розділом

У цій частині кваліфікаційного дослідження була розроблена операційно-технологічна для операторів зерночного сепаратора елеватора ТОВ «Павлоградзернопродукт». Також розглянуто особливості утилізації відходів елеватора та їх вплив на екологічну безпеку на місцевому рівні.

6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

6.1 Організація проведення дослідження

Організація дослідження включала складання переліку завдань, визначення їх взаємозв'язку та тривалості, створення мережевого графіка, визначення критичного шляху та розрахунок орієнтовної вартості експерименту.

Перелік завдань, передбачених під час проведення дослідження з визначення впливу техніко-технологічних параметрів обладнання для очистки зерна у вертикальному повітряному каналі на ефективність виділення легкої фракції, наведено в табл. 6.1.

Організація досліджень включає: складання переліку робіт, визначення їх взаємозв'язку і тривалості, побудову мережевого графіка, визначення критичного шляху, розрахунок кошторису витрат на проведення експерименту.

Перелік робіт, передбачений ходом дослідження з встановлення впливу техніко-технологічних параметрів повітряного сепаратора на ефективність відокремлення легкої домішки, наведений у табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – План проведення дослідження

| Шифр робіт $i-j$ | Найменування робіт | Тривалість робіт t_{ij} , днів |
|------------------|---|----------------------------------|
| 1 | 2 | 3 |
| 1-2 | Вибір теми науково-дослідної роботи | 1 |
| 2-3 | Літературний пошук та написання огляду | 18 |
| 3-4 | Складання плану науково-дослідної роботи | 2 |
| 4-5 | Розробка методики проведення досліджень | 3 |
| 5-6 | Підготовка дослідних зразків зерна пшениці | 3 |
| 6-7 | Підготовка макетного зразка сепаратора з вертикальним повітряним каналом | 20 |
| 7-8 | Визначення впливу основних геометричних параметрів вертикального повітряного каналу на ефективність процесу сепарування | 4 |

Продовження таблиці 6.1

| 1 | 2 | 3 |
|-------|---|---|
| 7-9 | Визначення впливу вологості зерна пшениці на ефективність процесу сепарування | 3 |
| 7-10 | Визначення впливу геометричних параметрів сепарувального каналу з перегородками на ефективність процесу сепарування | 5 |
| 7-11 | Визначення впливу кількості перегородок на ефективність процесу сепарування | 6 |
| 8-12 | Аналіз та обробка результатів дослідження | 1 |
| 9-12 | | 1 |
| 10-12 | | 1 |
| 11-12 | | 1 |
| 12-13 | Обробка результатів експериментальних даних | 4 |
| 13-14 | Підготовка матеріалу до публікації | 5 |
| 14-15 | Формування демонстраційного матеріалу | 4 |

Згідно з планом робіт буде створено мережевий графік. Це графічна модель, яка показує майбутні роботи і процеси у вигляді окремих етапів і дозволяє шляхом розрахунків визначити оптимальний варіант їх виконання. На етапі реалізації мережевий графік дає можливість оперативно управляти ходом виконання робіт (рис. 6.1).

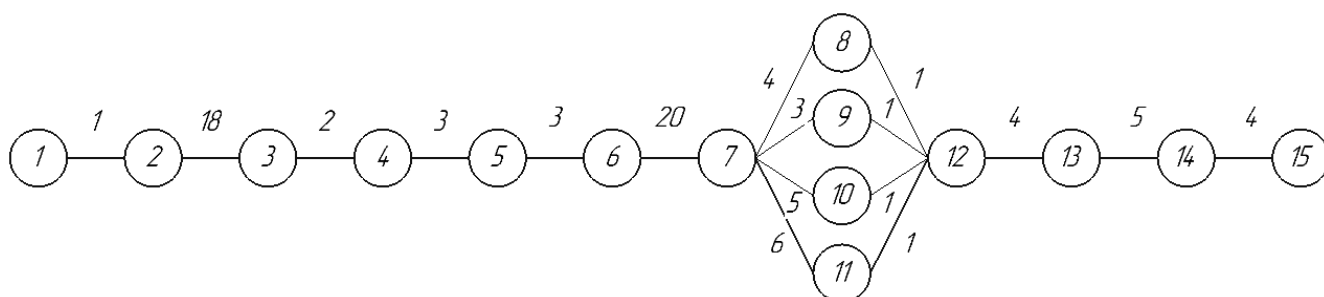


Рисунок 6.1 – Мережевий графік проведення науково-дослідної роботи

Знаходимо повний шлях – тривалість послідовних робіт від початкової події до кінцевої.

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-8-12-13-14-15}^1 = 1 + 18 + 2 + 3 + 3 + 20 + 4 + 1 + 4 + 5 + 4 = 65;$$

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-9-12-13-14-15}^2 = 1 + 18 + 2 + 3 + 3 + 20 + 3 + 1 + 4 + 5 + 4 = 62;$$

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-10-12-13-14-15}^3 = 1 + 18 + 2 + 3 + 3 + 20 + 5 + 1 + 4 + 5 + 4 = 66;$$

$$L_{1-2-3-4-5-6-7-11-12-13-14-15}^4 = 1 + 18 + 2 + 3 + 3 + 20 + 6 + 1 + 4 + 5 + 4 = 67.$$

Максимальна тривалість робіт спостерігається у 4 шляху, його тривалістю 67 днів.

6.2 Витрати, пов'язані з проведенням дослідження

Витрати на основні та побічні матеріали розраховують за формулою:

$$M = \sum m_1 \cdot C_1, \quad (6.1)$$

де m_1 – кількість витраченого і-го матеріалу;

C_1 – ціна одиниці і-го матеріалу, грн.

Результати розрахунку витрат на матеріали наведені в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Необхідна кількість основних матеріалів та їх вартість

| Найменування, одиниці | Кількість | Ціна, грн | Сума, грн |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|
| Зерно пшениці, кг | 80 | 7,2 | 576,0 |
| Всього | | | 576,0 |

Результати розрахунку заробітна плата людей, що приймали участь у дослідженнях, наведені в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Розрахунок витрат на заробітну плату

| Посада | Середньомісячний заробіток, грн | Середньочасовий заробіток, грн | Кількість людино-годин | Сума, грн |
|--------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------|-----------|
| Дипломний керівник | 8000 | 47,62 | 20 | 952,40 |
| Всього | | | | 952,40 |

Нарахування на заробітну складають:

$$H = \frac{952,40 \cdot 22}{100} = 209,53 \text{ грн.}$$

Затрати на витрачену електроенергію визначають за формулою:

$$E = M \cdot K \cdot T \cdot a, \quad (6.2)$$

де M – потужність встановленого електрообладнання, кВт;

K – коефіцієнт використання потужності ($K = 0,9$);

T – час роботи на установці, год;

a – тариф за електроенергію, грн/(кВт/год).

Затрати енергії на сушильну шафу складають:

$$E_1 = 1,2 \cdot 0,9 \cdot 24 \cdot 1,68 = 43,54 \text{ грн.}$$

Затрати енергії на електронні ваги складають:

$$E_2 = 0,006 \cdot 0,9 \cdot 18 \cdot 1,68 = 0,16 \text{ грн.}$$

Затрати енергії на роботу повітряного сепаратора:

$$E_3 = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 12 \cdot 1,68 = 16,32 \text{ грн.}$$

Загальні затрати електроенергії складають:

$$E = E_1 + E_2 + E_3 = 43,54 + 0,16 + 16,32 = 60,02 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію розраховуємо за формулою:

$$A = \frac{\Phi \cdot H \cdot t}{100 \cdot 12}, \quad (6.3)$$

де A – амортизаційні відрахування, грн;

Φ – вартість устаткування, грн;

H – річна норма амортизації, %;

t – тривалість проведення дослідження на устаткуванні, днів;

12 – кількість місяців у році.

Результати розрахунків витрат на амортизацію наведені в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Результати розрахунків витрат на амортизацію

| Устаткування | Вартість, грн | Річна норма амортизації, % | Тривалість роботи, днів | Витрати на амортизацію, грн |
|--|---------------|----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Сушильна шафа | 6850,0 | 24 | 3 | 13,51 |
| Електронні ваги | 2090,0 | 24 | 3 | 4,12 |
| Дослідна модель повітряного сепаратора | 15000,0 | 24 | 2 | 19,73 |
| Всього | | | | 37,36 |

Накладні витрати становлять:

$$\frac{(952,40 \cdot 80)}{100} = 761,92 \text{ грн.}$$

Кошторис витрат на проведення дослідження наведений в табл. 6.5.

Таблиця 6.5 – Кошторис витрат на проведення дослідження

| Витрати | Сума, грн. |
|--------------------------------|------------|
| Основні матеріали | 576,00 |
| Заробітна плата | 952,40 |
| Нарахування на заробітну плату | 209,53 |
| Електроенергія | 60,02 |
| Амортизація | 37,36 |
| Накладні витрати | 761,92 |
| Всього | 2597,23 |

Аналіз показав, що на першому місці стоять витрати на заробітну плату і накладні витрати.

6.3 Розрахунок ціни дослідження

Ціну досліджень визначаємо:

$$Ц = C + \frac{P \cdot C}{100}, \quad (6.4)$$

де $Ц$ – вартість дослідження, грн;

C – витрати на дослідження, грн;

P – нормативна рентабельність ($P = 30$), %.

$$Ц = 2597,23 + \frac{30 \cdot 2597,23}{100} = 3376,40 \text{ грн.}$$

Витрати на проведені дослідження становлять 3376,40 грн.

Висновки за розділом

Найбільшими є витрати на заробітну плату та накладні витрати, які складають 952,40 грн та 761,92 грн. Загалом ціна досліджень складає 3376,40 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведені аналітичні, експериментальні і виробничі дослідження дозволили зробити наступні висновки:

1. Аналіз досліджень показав, що застосування пневмоканалів стає ефективним при використанні конструктивних рішень, що забезпечують рівномірний розподіл швидкості повітряного потоку за рахунок установки перегородок по глибині пневмоканалу.

2. Установка перегородок дає можливість збільшити ефективність очищення легких домішок на 9 – 19 % і використовувати сепаратора на очищенні зернового матеріалу від легких, щуплих, дрібних, битих зерен основної культури і лушпиння.

3. Розроблено математичну модель процесу сепарування компонентів зернового матеріалу в вертикальному пневмоканалі з перегородками (2.12), яка враховує фізико-механічні властивості компонентів зернового матеріалу, конструкцію пневмоканала і перерозподіл компонентів в шарі при подачі в пневмоканал. Застосування даної моделі дозволяє зробити повноту виділення компонентів з зернового матеріалу в вертикальних пневмоканалах з перегородками.

4. Ефективність виділення легких домішок збільшується при збільшенні швидкості повітряного потоку в пневмоканалі від 3,5 до 5,5 м/с на 3 – 10 %. А при збільшенні завантаження зернового матеріалу, що подається в пневмоканал, зменшується.

5. Обґрунтовано раціональні параметри процесу очищення зернового матеріалу від легких домішок в пневмоканалі з перегородками: завантаження пневмоканала зерновим матеріалом – 29 кг/см²·год, кількість встановлених перегородок – одна, висота перегородок – 250 мм і швидкість повітряного потоку 5,5 м/с.

6. Найбільшими є витрати на заробітну плату та накладні витрати, які складають 952,40 грн та 761,92 грн. Загалом ціна досліджень складає 3376,40 грн.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Aliev, E. B., Bandura, V. M., Pryshliak, V. M., Yaropud, V. M., Trukhanska, O. O. (2018). Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural industry. INMATEH – Agricultural Engineering. Vol. 54, Nr. 1. P. 95-104 – ISSN 2068 – 4215.
2. Shevchenko, I. A., Aliev, E. B. (2018). Research on the photoelectronic separator seed supply block for oil crops. INMATEH – Agricultural Engineering. Vol. 54, Nr. 1. P. 129-138 – ISSN 2068 – 4215.
3. Aliev, E. B., Yaropud, V. M., Dudin, V. Yr., Pryshliak, V. M., Pryshliak, N. V., Ivlev, V. V. (2018). Research on sunflower seeds separation by airflow. INMATEH – Agricultural Engineering. Vol. 56, No. 3. P. 119-128. ISSN 2068 – 4215.
4. Василенко П. М. Основи аналітичних методів землеробської механіки / П. М. Василенко // – К.: Видавництво НАУ, 1998. – 29 с.
5. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Том 2 (ч. 2, кн.. 2) Зернозбиральні машини / П. М. Заїка // – Х.: Око, 2004. – 404с.
6. Котов Б. І. Перспективи розвитку конструкцій зернонасінносчисної техніки / Б. І. Котов, М. І. Волошин // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КДТУ, 2001. – Вип. 31. – С. 110 – 112.
7. Котов Б. І. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерно матеріалів / Б. І. Котов, С. П. Степаненко, М. Г. Пастушенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КДТУ, 2003. – Вип. 33. – С. 53 – 59.
8. Лузан П. Г. Обґрунтування параметрів та режимів роботи інерційно-гравітаційного решітчастого сепаратора зерна: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.11 / Кіровогр. держ. техн. ун-т. – Кіровоград, 2001. – 19 с: укр.
9. Манчинський Ю. О. Математична модель руху компонентів насінневих сумішей по робочій площині / Ю. О. Манчинський, М. В. Бакум, О. М.

Горбатовський, М. М. Кравцов // Механізація та електрифікація сільського господарства. – Глеваха, 2008. Вип. 92. – С. 156 – 162.

10. Нагірний Ю. П. Обґрунтування інженерних рішень / Ю. П. Нагірний // – К.: Урожай, 1994. – 216с.

11. Пустовойтов П. Є. Математичне та інформаційне забезпечення системами підтримки прийняття рішень при управлінні багатомономенклатурним запасом в умовах невизначеності (05.13.06.) / Нац. техн. ун-т «Харківський політехнічний інститут». – Х., 2004. – 20с.

12. Shevchenko, I., Aliiev, E. (2018). Study of the process of calibration of confectionery sunflower seeds. Food Science and Technology. Volume 12, Issue 4. P. 135-142.

13. Aliiev E., Gavrilenko O. 2018. Method for estimating the state of the support and motor apparatus of cattle [Спосіб оцінки стану опорно-рухового апарату великої рогатої худоби]. Scientific Horizons, 12 (73): 3-7.

14. Aliiev, E., Gavrilenko, A., Tesliuk, H., Tolstenko, A., Koshul'ko, V. (2019). Improvement of the sunflower seed separation process efficiency on the vibrating surface. Acta Periodica Technologica, APTEFF, 50, P. 12-22.

15. Aliiev E. 2019. Justification of constructive-mode parameters of a photo-electron separator of sunflower seeds. [Обґрунтування конструктивно-режимних параметрів фотоелектронного сепаратора насіння соняшника]. Scientific Horizons, 5 (78): 23-30. DOI: 10.33249/2663-2144-2019-78-5-23-30.

16. Aliiev E. 2019. Production testing of tape device for automatic phenotyping of sunflower seeds. [Виробнича перевірка стрічкового пристрою для автоматичного фенотипування насіння соняшнику]. Scientific Horizons, 12 (85): 75-83. DOI: 10.33249/2663-2144-2019-85-12-75-83.

17. Aliiev E.B. Automatic Phenotyping Test of Sunflower Seeds. Helia. 2020. Volume 43. Issue 72. Pages 51-66. DOI: 10.1515/helia-2019-0019.

18. Bai C., Gosman A. D. Development of methodology for spray impingement simulation. SAE Technical Paper Series. 1995. 21 p.

19. Khalid M. Saqr, Hossam S. Aly, Mazlan A. Wahid, Mohsin M. Sies. Numerical Simulation of Confined Vortex Flow Using a Modified k - ϵ Turbulence Model. *CFD Letters*. 2009. Vol. 1(2). P. 87–94.
20. Wallin S. Engineering turbulence modeling for CFD with a focus on explicit algebraic Reynolds stress models. Doctoral thesis. Norstedts truckeri, Stockholm, Sweden. 2000. 124 p.
21. Mohsenin N.N. Physical properties of plant and animal materials / N.N. Mohsenin // New York: Gordon and Breach Science Publishers Inc. – 1980 – P. 51-87.
22. Aydin C. Physical properties of almond nut and kernel / C. Aydin // *New Food Eng.* – Vol. 60 – P. 315-320.
23. Gupta R.K. Physical properties of sunflower seeds / R.K. Gupta, S.K. Das // *Food Eng.* – 1997 – Vol. 66 – P. 1-8.
24. McCabe W.L. Unit operations of chemical engineering / W.L. McCabe, J.C. Smith, P. Harriott // McGraw-Hill Book Co, New York. – 1986.
25. Jain R.K. Properties of pearl millet / R.K. Jain, S. Bal // *Journal of Agricultural Engineering Research*. – 1997 – P. 85-91.
26. Sahay K.M. Unit operations in agricultural processing / K.M. Sahay, K.K. Singh // Vikas Publishing House Pvt Ltd, New Delhi. – 1994.
27. Singh K.K. Physical properties of sunflower seeds / K.K. Singh, T.K. Goswami // Physical properties of cumin seed. *J. Agric. Eng.* – 1996 – Vol. 64 – P. 93-98.
28. Nimkar M.P. Some Physical properties of green gram / M.P. Nimkar, K.P. Chattopadhyay // *Journal of Agricultural Engineering Research*. – 2001– Vol. 80(2) – P. 183-189.
29. Aliiev E., Aliieva O., Maliehin R. Technical and technological provision of complex waste processing of plant raw oil cultures in food for organic animals. *Scientific Horizons*. 2020. № 07 (92). P. 112-19. DOI: 10.33249/2663-2144-2020-92-7-112-119.

30. Shevchenko I. Aliiev E. Improving the efficiency of the process of continuous flow mixing of bulk components. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. 6/1 (108). P. 6-13. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.216409

31. Paliy, A., Aliiev, E., Paliy, A., Ishchenko, K., Shkromada, O., Musiienko, Y., Plyuta, L., Chekan, O., Dubin, R., Mohutova, V. (2021). Development of a device for cleansing cow udder teats and testing it under industrial conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(1 (109)), 43–53. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224927>

32. Shevchenko, I., Aliiev, E., Viselga, G., Kaminski, J. R. (2021). Modeling Separation Process for Sunflower Seed Mixture on Vibro-Pneumatic Separators, 27(4), 311–320. <https://doi.org/10.5755/j02.mech.27647>

33. Paliy A., Aliiev E., Nanka A., Bogomolov O., Bredixin V., Paliy A., Shkromada O., Musiienko Y., Stockiy A., Grebenik N.. Identifying changes in the technical parameters of milking rubber under industrial conditions to elucidate their effect on the milking process. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 3, Issue 1 (111), 2021. 21–29. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.231917>

34. Gunko I., Babyn I., Aliiev E., Yaropud V., Hrytsun A. Research into operating modes of the air injector of the milking parlor flushing system. *U.P.B. Sci. Bull., Series D, Vol. 83, Issue 2, 2021. 297–310.* https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/rez4fb_469127.pdf

35. Paliy, A., Aliiev, E., Paliy, A., Nechyporenko, O., Baidevliatova, Y., Baydevliatov, Y., Lazorenko, A., Ukhovskiy, V., Korniienko, L., Sharandak, P. (2021). Determining the efficiency of cleaning a milk line made from different materials from contaminants. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (1 (112)), 76–85. Doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.237070>

36. Aliiev E., Maliehin R., Ivliev V., Aliieva O. Simulation of the process of cavitation treatment of liquid feed [Техніко-технологічне забезпечення комплексної безвідходної переробки рослинної сировини олійних культур у корми для органічного тваринництва]. *Scientific Horizons*, 24(2), 2021. P. 16-26. DOI: 10.48077/scihor.24(2).2021.16-26.

37. Aliiev E., Lupko K. Prerequisites for the Creation of a Mechatronic System of Indented Cylinders for the Separation of Fine Seeds. *Scientific Horizons*, 24(3), 2021. P. 75-86. DOI: 10.48077/scihor.24(3).2021.75-86.

38. Paliy, A., Aliiev, E., Paliy, A., Ishchenko, K., Lukyanov, I., Dobrovolsky, V., Yurchenko, O., Chekan, O., Dedilova, T., & Musiienko, Y. (2021). Revealing changes in the technical parameters of the teat cup liners of milking machines during testing and production conditions. *EUREKA: Physics and Engineering*, (6), 102-111. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2021.002056>

39. Kozachenko O., Aliiev E., Sedykh K. Results of investigation of the spring shank disc harrow performance. *U.P.B. Sci. Bull., Series D*, Vol. 83, Issue 4, 2021. 123–140. https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/rezabf_492985.pdf

40. Yaropud V., Hunko I., Aliiev E., Kupchuk I. Justification of the mechatronic system for pigsty microclimate maintenance. *Agraarteadus, Journal of Agricultural Science*, 2021, XXXII (2): 341–351. DOI: 10.15159/jas.21.23

41. Aliiev E., Pavlenko S., Aliieva O., Morhun O. Accelerated biothermal composting of manure-compost mixture. *Agraarteadus, Journal of Agricultural Science*, 2021, XXXII (2): 169–181. DOI: 10.15159/jas.21.30

42. Aliiev E., Paliy A., Kis V., Paliy A., Petrov R., Plyuta L., Chekan O., Musiienko O., Ukhovskyi V., Korniiien L. (2022). Establishing the influence of technical and technological parameters of milking equipment on the efficiency of machine milking. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (1 (115)), 44–55. DOI: 10.15587/1729-4061.2022.251172

43. Aliiev, E., Paliy, A., Dudin, V., Kis, V., Paliy, A., Ostapenko, V., Levchenko, I., Prihodko, M., Korg, O., Kladnytska, L. (2022). Establishing an interconnection between the technical and technological parameters of milking equipment based on the movement of a milk-air mixture in a milking machine. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(1 (116)), 35–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.253978>.

44. Shevchenko I., Aliiev E. (2022). Precise grading and sorting of sunflower plant materials in industrial facilities. *Journal of Central European Agriculture*, 2022, 23(2), p. 327-341. DOI: /10.5513/JCEA01/23.2.3345.

45. Aliiev E., Pavlenko S., Golub G., Bielka O. Research of mechanized process of organic waste composting. *Agraarteadus, Journal of Agricultural Science*, 2022, XXXIII (1): 21–32. DOI: 10.15159/jas.22.04

46. Алієв, Е. Б. (2018). Патент на корисну модель України 136828, МПК В07В 4/02 (2006.01). Адаптивний аеродинамічний сепаратор. Заявник: Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України, № u201902090. Заявл. 01.03.2019. Опубл. 10.09.2019, бюл. № 17.

47. Yaropud V., Honcharuk I., Datsiuk D., Aliiev E. The model for random packaging of small-seeded crops' seeds in the reservoir of selection seeders sowing unit. *Agraarteadus, Journal of Agricultural Science*, 2022, XXXIII (1): 199–208. DOI: 10.15159/jas.22.08

48. Aliieva O., Polyakov A., Aliiev E. (2022). Features of photosynthetic activity and water consumption of safflower. *Zemdirbyste-Agriculture*, 109 (2): 123–130. DOI: 10.13080/z-a.2022.109.016

49. Aliiev, E., Paliy, A., Kis, V., Milenin, A., Ishchenko, K., Paliy, A., Levchenko, I., Livoshchenko, L., Livoshchenko, Y., Plyuta, L. (2022). Justifying parameters for the automatic servo control system of a rotary plate vacuum pump in the milking machine. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (1 (118)), 80–89. DOI: 10.15587/1729-4061.2022.262215

50. Paliy, A., Aliiev, E., Paliy, A., Kotko, Y., Kolinchuk, R., Livoschenko, E., Chekan, O., Nazarenko, S., Livoschenko, L., Uskova, L. (2022). Determining the effective mode of operation for the system of washing the milking machine milk supply line. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (119)), 74–81. DOI: 10.15587/1729-4061.2022.265778

51. Aliiev E., Paliy A., Paliy A., Kis V., Levkin A., Kotko Y., Levchenko I., Shkurko M., Svysenko S., Sevastianov V. Increasing energy efficiency and enabling the process of vacuum mode stabilization during the operation of milking equipment.

Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. 6 (1 (120)), 62–69. DOI: 10.15587/1729-4061.2022.267799

52. Mykolenko S., Aliieva O., Aliiev E., Pivovarov O. Technological and nutritional benefits of amaranth groats in breadmaking. *Scientific Horizons*. 2022. 25(11),63-73. DOI: 10.48077/scihor.25(11).2022.63-73

53. Paliy A., Aliiev E., Paliy A., Ishchenko K., Rybalko I., Pavlichenko O., Prihodko M., Popsui V., Bondarchuk L., Chernyavskaya T. (2023). Establishing changes in the parameters of teat rubber for milking machines during testing and under industrial conditions. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (1 (121)), 58–66. doi: [https://doi.org/ 10.15587/1729-4061.2023.272030](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.272030)

54. Aliiev E. Lupko K. Kobets O. (2023). Development of adaptive seed-separation trier for small-seeded crops. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry. Wood Industry. Agricultural Food Engineering*. 16 (65), 1: 103–126. DOI: 10.31926/but.fwiafe.2023.16.65.1.8

55. Aliiev, E., Tesliuk, H., Puhach, A., Kobets, O., Zolotovska, O., Boiko, V. (2023). Improving the work process efficiency of a tillage module for pre-sowing tillage. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (1 (124)), 60–71. DOI: 10.15587/1729-4061.2023.284597

56. Yaropud V., Aliiev E., Mazur I., Burlaka S. (2023). Simulating the Process of Operation of Vortex Laye Electromagnetic Apparatus with Ferromagnetic Working Elements. *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 99 NR 9/2023: 64–71. DOI:10.15199/48.2023.09.11