

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
“ ” 2024 р.
Зав. кафедри К.Т.Н., доцент
(науковий ступінь, вчене звання)
А.В. Войтік
(підпис) (ініціали, прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА (дипломний проект)
магістр
(назва освітнього ступеня)

тема роботи **«Механіко-технологічне обґрунтування обладнання
безрешітчастого сортування зернових»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 21м-ім
освітньої програми магістр
спеціальності 208 «Агроінженерія»
Грідасов І.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник К.Т.Н. доцент Шевчук В.В.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2024 рік

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. Стан і аналіз розвитку пріоритетних машинних технологій сепарування зернових і насіннєвих матеріалів	7
1.1 Аналіз основних результатів наукових досліджень процесів поділу зернових матеріалів у повітряних потоках сільськогосподарських машин	7
1.2. Перспективи застосування безрешітного фракціонування зерна і насіння	8
1.3. Аналіз існуючих моделей вихрової течії повітря з твердими частинами в інерційно-відцентрових аеродинамічних сепараторах	11
1.4. Аналіз процесів безрешітного очищення та фракціонування зернових матеріалів	11
РОЗДІЛ 2. Аналітична частина	15
2.1. Дослідження технологічних принципів підвищення ефективності поділу компонентів зернового матеріалу за аеродинамічними властивостями	15
2.2. Теоретичні дослідження пневмоінерційного фракціонування зернових матеріалів у повітряних потоках змінної структури	19
2.2.1 Використання вихрових потоків для інтенсифікації процесу сепарування компонентів зернового матеріалу за аеродинамічними ознаками	22
2.2.2 Опис та конструкція макетного зразка віброживильника	24
2.2.3 Опис та конструкція кільцевого пневматичного сепаратора	27
2.3 Склад бункерного зернового матеріалу	29
2.4 Дослідження розподілу швидкості повітряного потоку по перетину вертикального пневмосепарувального каналу	30
Висновок по 2 розділу	34
РОЗДІЛ 3. Охорона праці	35
3.1. Особливості охорони праці для працівників в сільськогосподарському підприємстві	35
3.2 Моделювання виробничих небезпек при роботі з обладнанням для очищення, сушіння, зберігання зернових матеріалів	36
Висновки до третього розділу	38
РОЗДІЛ 4. Практичні рекомендації та економічна ефективність застосування зерноочисно-сушильного комплексу	39
4.1. Техніко-економічна ефективність застосування машини для очищення зерна ВПС-5М в технологічній лінії зерноочисно-сушильного комплексу	39
Загальні висновки	42
Список використаних джерел	43

РЕФЕРАТ

Гридасов І.М. Механіко-технологічне обґрунтування обладнання безрешітчастого сортування зернових. (Дипломний проект, Уманський національний університет садівництва, 2024: пояснювальна записка на 47 сторінках, у т.ч. 4 розділів, 13 рисунки, 4 таблиць, 41 джерела літератури).

У дипломному проекті дослідження зростання виробництва зерна у господарствах, як відомо, збільшується навантаження на зерноочисні і сепаруючі машини, що призводить до порушення поточності обробки зерна яке надходить від комбайнів. Видалення повноцінного зерна, фуражної фракції та насіння сміттєвих рослин здійснюється складними решітними, трієрними і вібропневматичними машинами, що визначає зниження продуктивності зерноочисних комплексів, так як вся маса зерна, що обробляється, переходить від одної машини до іншої, а їх завантаження залежить тільки від подачі компонентів зернового матеріалу (КЗМ) в комплекс.

Напрямок підвищення продуктивності і якості післязбиральної обробки зерна є застосування фракційної технології, яка передбачає розділення вихідного зернового матеріалу на фракції цільового призначення.

Метою роботи є підвищення ефективності процесів безрешітного сортування зернових матеріалів при забезпеченні якості отриманого матеріалу

Об'єкт дослідження технологічні процеси безрешітного фракціонування зернових матеріалів, зразки пневмосепаруючих робочих органів, експериментальні установки для безрешітного фракціонування зернових матеріалів.

Предмет дослідження - механіко-технологічні закономірності процесів безрешітного очищення і фракціонування зернових матеріалів за аеродинамічними властивостями.

Ключові слова: ЗЕРНОВІ МАТЕРІАЛИ, ПОВІТРЯНИЙ ПОТІК, ПРОЦЕС ФРАКЦІОНУВАННЯ, АЕРОДИНАМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ.

ВСТУП

Актуальність теми. Із зростанням виробництва зерна у господарствах, як відомо, збільшується навантаження на зерноочисні і сепаруючі машини, що призводить до порушення поточності обробки зерна яке надходить від комбайнів. Видалення повноцінного зерна, фуражної фракції та насіння сміттєвих рослин здійснюється складними решітними, трієрними і вібропневматичними машинами, що визначає зниження продуктивності зерноочисних комплексів, так як вся маса зерна, що обробляється, переходить від одної машини до іншої, а їх завантаження залежить тільки від подачі компонентів зернового матеріалу (КЗМ) в комплекс.

Прогресивним напрямком підвищення продуктивності і якості післязбиральної обробки зерна є застосування фракційної технології, яка передбачає розділення вихідного зернового матеріалу на фракції цільового призначення (насіння, продовольче зерно, фураж тощо), що забезпечить підсилення дії ознак поділу на робочих органах наступних операцій (решітна сепарація, трієрування, поділ за густиною) та раціональне завантаження окремих машин.

Своєчасне видалення другорядних КЗМ (дрібних ушкоджених зернівок і сміттєвих домішок) дозволяє суттєво підвищити якість вторинної обробки зерна.

На основі проведеного аналізу зроблено висновок про доцільність розділення КЗМ повітряними потоками за аеродинамічними властивостями їх компонентів

РОЗДІЛ 1

СТАН І АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ПРІОРИТЕТНИХ МАШИННИХ ТЕХНОЛОГІЙ СЕПАРУВАННЯ ЗЕРНОВИХ І НАСІННЄВИХ МАТЕРІАЛІВ

1.1. Аналіз основних результатів наукових досліджень процесів поділу зернових матеріалів у повітряних потоках сільськогосподарських машин

Основні фізико-механічні положення процесів повітряної сепарації зернових матеріалів були започатковані в роботах В.П. Гарячкіна [1], А.Н. Гудкова [2], Н.С. Гармаша [3], Н.П. Безручкіна [4], Г.Д. Терскова [5] і розвинуто у фундаментальних працях А.Я. Маліса та А.Д. Демідова [6], І. Нелюбова і Е.Ф. Ветрова [7], В.В. Гортинського [8], В.Л. Злочевського [9], П.М. Заїки [10], М.Д. Барського [11], А.І. Буркова та Н.П. Сичугова [12].

Проведеними дослідженнями визначено аеродинамічні властивості компонентів зернових матеріалів, швидкість витання і її значення для поділу матеріалі, обґрунтовано можливість розділення матеріалів у вертикальних, нахилених і горизонтальних повітряних каналах, визначено основні методи побудови траєкторій руху часток в повітряному середовищі.

Теоретичні і експериментальні дослідження пневмогравітаційного сепарування, проведені А.С. Матвєєвим [13] для вертикальних каналів різної форми поперечного перетину з урахуванням нерівномірності повітряного потоку і ударів зернівок по стінкам каналу, дозволили визначити особливості поділу матеріалу і сформулювати рекомендації щодо їх проектування. Визначено, що швидкість і кут вводу матеріалу обумовлюють довжину траєкторії, а характер траєкторії залежить від різниці між швидкістю витання і середньої швидкості повітряного потоку.

У загальному випадку на зміну траєкторій зернівок в масовому потоці впливає їх ущільнення в каналі. Визначальне значення має, як показали дослідження [6, 9], стан потоку зерна на вході в канал, а саме його щільність і

рівномірність подачі в канал. Ряд авторів [7, 10, 14] вважають, що доцільно подавати зерновий матеріал в канал під кутом (0-10 град) зі швидкістю 0,2-0,5 м/с.

Більш досконально розглянуто процеси руху компонентів зернового матеріалу в роботах М.М. Абдуєва і Ю.А. Манчинського [32, 33], М.В. Бакума, М.М. Крекота, В.П. Ольшанського [34,]. Теоретичні основи взаємодії зернівки з нахиленим повітряним потоком подано в роботі П.М. Заїки [10]. У роботі М.М. Крекота [34] за допомогою математичної моделі обґрунтовано раціональні параметри пневмосепаратора з нахиленим повітряним потоком. М.М. Абдуєвим [32] теоретично досліджено характер руху зернівок у нахиленому повітряному каналі при зміні характеристик епюри швидкості повітря за висотою каналу. Визначена можливість керованого розділення компонентів у нахиленому каналі з нерівномірним повітряним потоком. Доведено суттєвий вплив нерівномірності повітряного потоку по висоті каналу на ефективність сепараторів.

Проблемі використання нахилоного повітряного каналу для процесів поділу зернового матеріалу на класи (фракції) присвячено значну кількість наукових праць відносно створення і вдосконалення особого класу обладнання - пневмоінерційних сепараторів [32-39]. Дослідженню процесів розділення зернового вороху зустрічним повітряним потоком присвячені роботи

1.2 Перспективи застосування безрешітного фракціонування зерна і насіння

Досить часто сепарування зернового матеріалу на пневматичних або пневморешітних сепараторах є останнім етапом післязбирального оброблення, після якого готовий зерновий матеріал надходить на зберігання або реалізацію [37]. Сучасні машини мають декілька аспіраційних систем, перша здійснює попередню очистку матеріалу від найбільш легких і великих домішок (листя, солома тощо) при завантаженні оброблюваного матеріалу в машину, тим самим полегшуючи подальше фракціонування зернового матеріалу в каналах

пневмосепарації [26, 33].

При поділі зернівок в потоці на них у різних напрямках діють масові сили і сили потоку: масові сили залежать від густини, об'єму і прискорення - тобто, від характерного розміру зернівок. Сила об'єму залежить від коефіцієнта опору $C(R_e)$, динамічного тиску, зумовленого відносною швидкістю між частинкою і несучим середовищем, а також площею міделевого перетину зернівки. На коефіцієнт опору $C(R_e)$ найважливішим є коефіцієнт обтікання зернівки (ламінарний, турбулентний, перехідний), який характеризується числом Рейнольдса [26]. При невеликих числах Рейнольдса $Re < 1$ для сили потоку діє закон Стокса, при більших значеннях $10^3 < Re < 10^5$ діє квадратичний закон опору за Ньютоном.

Так як сила потоку залежить у першій або другій степені від діаметра зернівки, а сила інерції - у третій степені, то дрібні зернівки піддаються дії сили потоку більше ніж важкі укрупненого діаметра, а на зернівки більшого діаметра (важкі) більше впливають масові сили [42]. Таким чином поведінка важких зернівок визначається, в основному, масовими силами, а поведінка легких частинок - аеродинамічними.

Під аеродинамічною силою розуміють рівнодіючу усіх нормальних і дотичних сил, розподілених по поверхні тіла, що рухається у повітряному потоці, який обтікає його.

Математично визначити і оцінити вплив усіх факторів, діючих на зернівку в повітряному потоці, являє собою маловимірне завдання і на даний час навіть кількість цих факторів не визначено [42].

Повітряний потік обмежений твердими стінками (пневмоканал), в пневмосепарувальних системах характеризується значною нерівністю профілю (опору) швидкості. При течії в пневмоканалах різного профілю (прямокутний, круглий, кільцевий) профіль потоку в поперечному напрямку має значний градієнт швидкості, що і зумовлює виникнення підйомної сили, яка суттєво впливає на траєкторію [31, 36].

Тому поняття «домішки», що виділяються повітряним потоком конкретно

для кожного виду суміші, яка сепарується, визначається фізико-механічними властивостями компонентів і, в першу чергу, кривими розподілу коефіцієнтів пропорційності сили аеродинамічного опору або швидкостей вітання зернівок і частинок домішок. Граничне значення «відокремлення» сумішей слід встановлювати за значеннями K або $u_{\text{вт}}$, характерним для найбільш легких зернівок основної культури.

Спосіб введення зернівок в канал, і зокрема, кут введення, як це видно з траєкторій зернівок і частинок домішок, істотно впливає на умови сепарування при всіх досліджених режимах. Розглянемо це для найбільш характерних режимів сепарування, застосовуваних у практиці очищення зерна від аеродинамічно легких домішок ($u_{\text{вт}} = 5,0-6,0$ м/с). Введення зернівок і частинок домішок з широким діапазоном аеродинамічних властивостей в пневмосепарувальний канал під кутом $\alpha = 40^\circ$ дає більш концентровані пучки зернівок, що виділяються як в нижній, так і в верхній частині каналу. Наприклад, при $u_n = 5,0$ м/с і $\alpha = 40^\circ$ усі зернівки з $K = 0,25-0,05$ м⁻¹ в нижній частині каналу групуються у пучок з основою близько 95 мм по ординаті $X=180$ мм, а при $\alpha = -10^\circ$ та $\alpha = 0^\circ$ основа пучка на тій же ординаті вдвічі більше. Така ж закономірність зберігається і при $u_n = 6,0$ м/с та інших швидкостях. Це говорить про те, що умови сепарування для

Пізнання механізму пневмосепарування пов'язано з виявленням закономірностей руху, розподілом компонентів у каналі. В основу методу експериментального вивчення цих закономірностей покладена ідея миттєвої зупинки процесу пневмосепарування за допомогою перетину каналу по висоті блоком заслінок.

При розтині каналу утворюється каскад відсіків, що уловлюють зернівки поділюваних компонентів. Отримані таким чином дані використані як для відтворення картини розподілу і збагачення компонентів, що розділяються по висоті каналу, так і для визначення закономірностей зміни осереднених швидкостей руху зернівок матеріалу. При проведенні теоретичних досліджень прийняті наступні вихідні положення:

- швидкості руху зернівок поділюваних компонентів по перерізу каналу однакові, а розподіл рівномірний;
- зернівки, вітаючи у каналі, рухаються в напрямку виходу;
- із відсіку, розташованого в зоні впускного вікна, компоненти надходять у верхню і нижню частину каналу відповідно до їх часток у вихідному матеріалі;
- масові витрати компонентів через верхню і нижню частини каналу постійні.

1.3 Аналіз існуючих моделей вихрової течії повітря з твердими частинами в інерційно-відцентрових аеродинамічних сепараторах

У роботах [40,] досить повно розглянуто закономірності інерційної сепарації дрібних частинок пилу в закручених потоках. Процес сепарації, що відбувається у відцентрових повітряних пристроях (циклони, вихрові камери), описується таким чином.

Зернівки, що вводяться в камеру повітряним потоком (як правило тангенціально або через завихрювач) під дією сили інерції в початковий момент часу рухаються прямолінійно, а потім під дією обертального повітряного потоку їх траєкторія викривляється, причому тим більше, чим більша відстань від входу частинок до зовнішньої поверхні камери. Початкова ділянка характеризується сепарацією (виділення частинки затоку) найбільш крупних зернівок. У подальшому інтенсивність сепарації визначається безперервною зміною вектора тангенціальної складової швидкості газу.

1.4 Аналіз процесів безрешітного очищення та фракціонування зернових матеріалів

У ринкових умовах виробництва зерна особливого значення набувають процеси механізації післязбирального оброблення зерна. Зернові матеріали після комбайнового збирання мають значну кількість домішок різного кількісного і

якісного складу. Саме зерно являє собою поліфракційну за розміром, вологістю і біологічним складом масу. Крім того, в процесі тимчасового і тривалого зберігання частина зерна псується, пошкоджується шкідниками і змінює свої не тільки біологічні, але і фізико-механічні властивості. Тому задача ефективного відокремлення домішок, пошкодженого і неповноцінного зерна складає сутність проблеми підвищення технічного і технологічного рівнів зерноочисних машин.

Повітряна (пневматична) сепарація є одним із найпоширеніших способів очищення (розділення) зернових сумішей різних культур, а пневмосепаратори набагато дешевші, простіші та надійніші в експлуатації ніж решітні машини. Тому подальший розвиток конструкцій цього класу машин і вдосконалення технології сепарування повітряним потоком є актуальною і своєчасною науково-технічною проблемою.

Незважаючи на значну кількість наукових праць і винаходів у цьому напрямку, можливості подальшого вдосконалення пневмосепарувальних машин для зерноматеріалів у значній мірі вичерпані.

У технічній літературі [12, 42] і публікаціях [12] останніх років наведено достатньо даних, щодо опису принципів роботи та конструкцій машин для сепарації зернових матеріалів повітряними потоками, а також впливу діючих факторів на їх ефективність [24, 25] і методи розрахунків повітряних сепараторів [42]. У роботі [16] розглянуто процеси поділу насіння за аеродинамічними властивостями у вертикальному каналі з нижнім вивантаженням і горизонтальному каналі [24] та в зигзагоподібному каналі кільцевого перетину [25].

Серед способів підвищення ефективності роботи пневмосепараторів різного типу слід відмітити наступні [11, 15-16]. Механічне вкидання насіння у вертикальний потік повітря висвітлено в роботі [42], попереднє розшарування у гравітаційному русі зернин [38], подача зерна псевдозрідженим шаром, подача багаторівневою поверхнею живильного пристрою.

На основі аналізу існуючих способів і технічних засобів первинної сепарації зернових матеріалів (очищення, розділення за розміром і масою)

зроблено висновок про можливість підвищення ефективності процесу сепарації на основі фракціонування зерна повітряними потоками, тобто попередній поділ зернової маси за розміром і масою та подальше оброблення окремих фракцій за технологічним призначенням [28, 29].

Технологія сепарування зернової маси повинна визначатися її фракційним складом і призначенням кінцевих очищених (розділених) фракцій (фуражне, продовольче, насіннєве). Виділення окремих фракцій здійснюють окремі машини, які функціонують за різними схемами: виділення фуражної фракції здійснюють решітними і трієрними схемами; поділ зерна на дрібну і крупну фракцію (в елеваторній промисловості) в повітряних сепараторах фракціонерах при одночасному очищенні від сміттєвих і дрібних домішок.

Фракціонування зернової маси повітряними потоками є актуальним і перспективним напрямком розвитку технологій і машинних засобів первинної післязбиральної обробки зерна [30-39]. При цьому використання повітряних потоків на початкових стадіях поділу забезпечує попереднє формування зернових потоків, що з мінімальними втратами і енергозатратами забезпечує отримання зерна продовольчих, насіннєвих і фуражних кондицій. Висока кореляція показника швидкості витання та технологічних властивостей

У залежності від співвідношення таких параметрів, як кут і швидкість вводу матеріалу в повітряний потік, швидкість та напрямок його руху відносно координати місця зустрічі частинки з потоком повітря - пневматичне сепарування може виконувати чотири функції або технологічні процеси:

- Пневмосепарування (за загальним принципом) - поділ зернової маси на легкі і важкі (дрібні та крупні) частинки;
- Пневмогравітаційне фракціонування - поділ на фракції за фізико-механічними властивостями (маса, густина, розмір), які корелюють із швидкістю витання часток;
- Пневмоінерційне фракціонування - вкидання зернового потоку в рухоме або нерухоме повітряне середовище (поділ зернової маси за аеродинамічними властивостями: сила опору повітряному середовищу збільшується);

- Аеродинамічна (аеромеханічна) класифікація - подавання струменевим зерноповітряним потоком (затоплений струмінь в камері).

Найбільший вплив на ефективність поділу (розщеплення траєкторій) надають такі фактори:

- швидкість повітряного потоку (за умови його рівномірності);
- початкова швидкість, кут і умови (щільність зернового потоку при зустрічі із зерновим потоком) введення сепаруючої суміші в пневмоканал;
- фізико-механічні властивості компонентів зернової суміші.

Ураховуючи, що в нижній зоні каналу (відносно місця введення матеріалу) траєкторії руху зернин з різними значеннями коефіцієнта k_n суттєво розщеплюються (розгалужуються), виникає можливість поділу очищеного зернового потоку на фракції за аеродинамічними ознаками.

На базі проведеного аналізу літературних джерел, патентної документації, а також з аналізу інформаційних джерел з мережі інтернет поставлено наступні **завдання дослідження:**

1. Дослідити фактори інтенсифікації процесу аеродинамічного розділення зернових матеріалів за комплексом їх фізико-механічних властивостей і визначити шляхи підвищення ефективності поділу КЗМ.

2. Розробити просторові механіко-математичні моделі динаміки руху КЗМ у процесі їх фракціонування в повітряних потоках.

3. Дослідити експериментальні зразки пневмосепаруючих робочих органів, дослідити та обґрунтувати раціональні конструкційні параметри і режими технологічних процесів сепарування і фракціонування зернових матеріалів з урахуванням аеродинамічних властивостей їх компонентів.

4. Дослідити конструкційну схему машини для очищення зерна з виділенням легких та дрібних домішок в осадовій камері.

5. Визначити економічну ефективність пневмосепаруючих зерноочисних машин у технологічній лінії очищення і фракціонування зерна.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

2.1 Дослідження технологічних принципів підвищення ефективності поділу компонентів зернового матеріалу за аеродинамічними властивостями

У зв'язку з постійним удосконаленням конструкцій зерноочисних машин і агрегатів та з метою інтенсифікації режимів їх роботи і поліпшення якості виконання робочих процесів ускладнюються методи розрахунку параметрів машин і агрегатів при їх конструюванні, тому потрібно більш глибоке вивчення закономірностей протікання технологічних процесів. При цьому розроблення технологічних схем вискоефективних зерноочисних машин та оптимізація параметрів і режимів роботи їх основних робочих органів з використанням фізико-математичного моделювання істотно спрощує рішення поставлених задач [1-5, 11].

Для оцінювання можливості та ефективності поділу компонентів зернового матеріалу (КЗМ) за аеродинамічними властивостями необхідно вивчити взаємодію повітряного потоку, обмеженого стінками вертикального каналу, із зернівками, які відрізняються аеродинамічними характеристиками.

Визначення траєкторій руху зернівок, їх швидкості і прискорення (траєкторний аналіз) дозволяють отримати більш чітке уявлення процесу поділу КЗМ і факторів, які впливають на ефективність процесу, що досліджується.

Характер та закономірності руху матеріалу у вертикальному повітряному каналі в першу чергу визначається взаємодією сил тяжіння і аеродинамічного опору при обтіканні зернівок газовим потоком. При наявності градієнта швидкості повітряного потоку в каналі виникають додаткові рушійні сили типу Жуковського - Магнуса [1 - 3], які теж треба враховувати і оцінювати при розрахунках траєкторій руху частинки. У залежності від режиму обтікання частинки і руху самого повітряного потоку (ламінальний, турбулентний, перехідний) виникають певні зусилля зумовлені зміною тиску в напрямку руху.

Тому математичний опис руху частинки можна скласти тільки для

найбільш простих або спрощених умов (випадків). До таких умов відносяться такі вихідні припущення, що використовуються у більшості робіт, присвячених процесам переміщення моно - і полідисперсного матеріалу під дією повітряного потоку.

1. Несучий потік є однорідним нестискаємим середовищем, нормованими параметрами (тиск, температура, густина);
2. В'язкі сили між повітрям потоком і стінами каналу, а також внутрішнє тертя відсутні;
3. Рух потоку - стаціонарний;
4. Частинки мають сферичну форму;
5. Електричні і термодифузійні сили не враховуються.

Розрахункова схема аеродинамічного класифікатора з пульсуючим потоком повітря наведена на (рис. 2.1), а імітаційна модель динаміки руху зернівок КЗМ на (рис. 2.1.б).

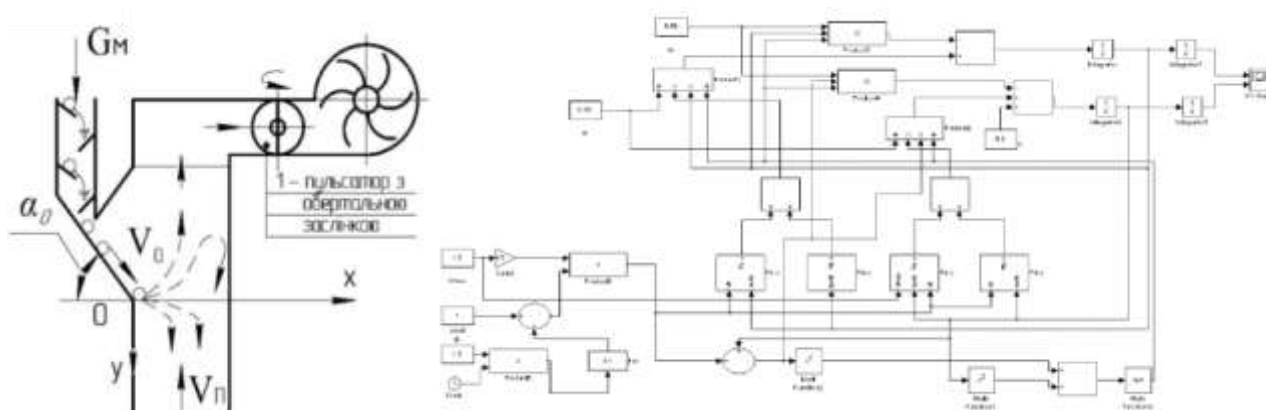


Рисунок 2.1 - Розрахункова схема аеродинамічного класифікатора з пульсуючим потоком повітря (а) та імітаційна модель динаміки руху зернівок КЗМ (б)

Для підвищення ефективності аеродинамічної схеми пневмосепаратора з вертикальним потоком повітря доцільне використання змінної аеродинамічної сили у вигляді дії пульсуючого потоку повітря, тобто зміна швидкості в часі. При двохфракційному поділі зернового матеріалу (насінневої фракції) за густиною у

пневмовіброзрідженому шарі, схема якого наведена на (рис. 2.2), є недосконалість поділяючого пристрою (позиція 2 на рис.2.2), що призводить до необхідності зниження рівня встановлення лінії поділу і відповідно збільшення кількості зернівок, основного компонента за межею поділу. Для поділу легкого і основного компоненту з верхньої зони, розроблено повітряну систему доочищення вихідної фракції у вигляді пневмоканалу періодично-змінного перетину та осаджувально-подільної камери (рис. 2.2)

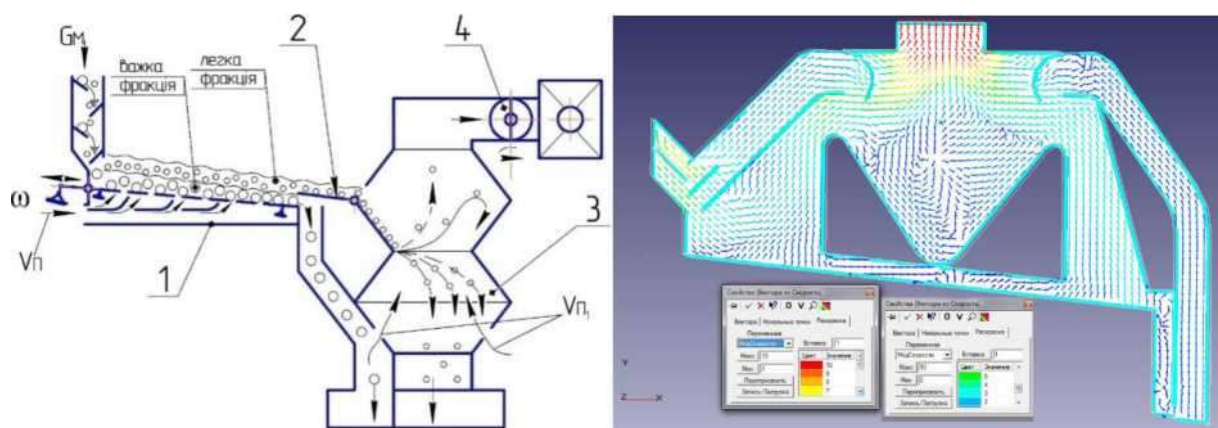


Рисунок 2.2 - Схема двохфракційного поділу зернового матеріалу за густиною у пневмовіброзрідженому шарі (а) та модель руху повітряного середовища (б) в аспіраційній системі сепаратора

Зернівки, які відрізняються масою та аеродинамічними властивостями, занурюються або спливають в цьому шарі прийнято називати проходовими. Взаємодія таких зернівок між собою не впливає на їх переміщення і властивості постілі. Установлений режим коливання зернівок постілі характеризується постійним значенням параметрів коливань у кожній точці постілі.

У цьому випадку, вплив зернівок постілі на проходову зернівку розглядається як вплив суцільного середовища, яке здійснює коливання за заданим гармонічним законом та зв'язаний з проходовою частиною силою опору (типу в'язкого тертя).

Для опису такого процесу широко використовують рівняння, яке у векторній формі має вигляд:

$$\tau^{\wedge} = P + C + P_p + P_{,,} + P_{ж} , \quad (2.1)$$

де V - вектор швидкості частки відносно середовища;

u - абсолютна швидкість середовища в точці, що співпадає з центром тяжіння частки;

m_0, m - маса середовища в об'ємі частки і маса проходкової частинки (зернівки); $m / m_0 = D$; $m_E = m' + m$

m' - приєднан» маса частинки до середовища.

P - зовнішня сила, що діє на частинку в середовищі;

B - сила опору руху частинки.

Для встановлення якісних характеристик процесу просіювання проходкової зернівки складемо рівняння її переміщення при таких спрощуючих припущеннях:

- зерносоломистий ворох (постіль) знаходиться в русі під дією силового поля, що створюється повітряним потоком і вібрацією опорної поверхні решета;
- поле швидкостей повітря і зернівок однорідне;
- швидкість коливань постілі співпадає із швидкістю коливань решета і носить гармонічний характер.

Аналіз отриманих результатів показує, що використання пульсуючого повітряного потоку зі змінною швидкістю дозволяє суттєво збільшити величину розщеплення траєкторій руху часток, відповідно, ефективність сепарації зернового матеріалу, тобто швидкість проходження проходкової зернівки крізьвібропневмозріджений шар зернового матеріалу. У порівнянні з існуючими сепараторами, які використовують горизонтальні, похилі та вертикальні пневмоканили, ефективність поділу зернового матеріалу збільшується на 40 %.

У результаті аналізу проведених теоретичних досліджень встановлена можливість підвищення ефективності розділення зернових матеріалів за аеродинамічними характеристиками та густиною зернівок, шляхом інтенсифікації і підвищення ефективності сепарації зернового вороху при застосуванні пульсуючих повітряних потоків для поділу сумішей на пасивних решетах.

2.2 Теоретичні дослідження пневмоінерційного фракціонування зернових матеріалів у повітряних потоках змінної структури

Одним з перспективних напрямків інтенсифікації поділу компонентів зернового матеріалу в горизонтальному потоці є принцип тонкошарової (або струменевої) пневмоінерційної сепарації (рис. 2.3), в основу якого покладено протитечійну подачу зерна (під певним кутом) у повітряний потік, швидкість якого межує із швидкістю витання основних фракцій.

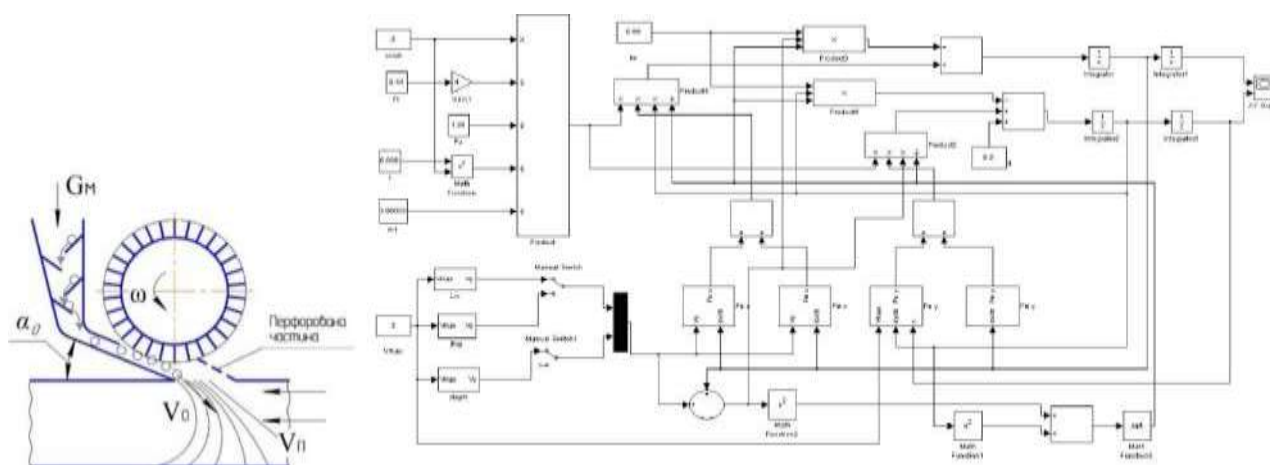


Рисунок 2.3 - Розрахункова схема пневмоінерційного сепаратора (а) та імітаційна модель процесу фракціонування КЗМ у горизонтальному повітряному каналі (б)

Як вже показано, ефективність поділу компонентів у горизонтальному каналі можна значно підвищити застосуванням нерівномірного повітряного потоку. При цьому ефективність поділу збільшується при зміні швидкості по висоті та за довжиною каналу [26].

На базі імітаційної моделі переміщення зернівок, проведено аналіз траєкторій поділу компонентів зернового матеріалу на фракції і на основі трьохфакторного числового експерименту отримані регресійні математичні моделі, які визначають залежність показника ефективності поділу від параметрів

процесу та каналу: швидкості початкового введення матеріалу θ_0 , кута введення матеріалу в канал α_0 , швидкості повітряного потоку θ , кута розкриття перетину пневмоканала.

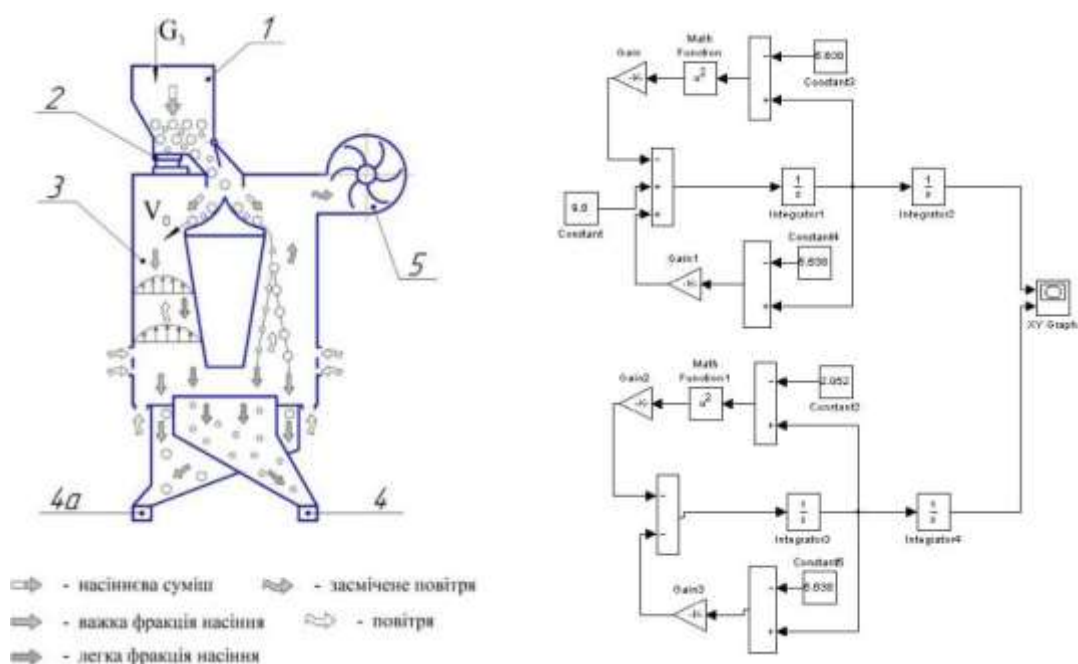


Рисунок 2.4 - Технологічна схема пневмогравітаційного сепаратора (а) та імітаційна моделей у комп'ютерному середовищі Мактаб Simulink для визначення траєкторій руху КЗМ в пневмогравітаційному сепараторі (б)

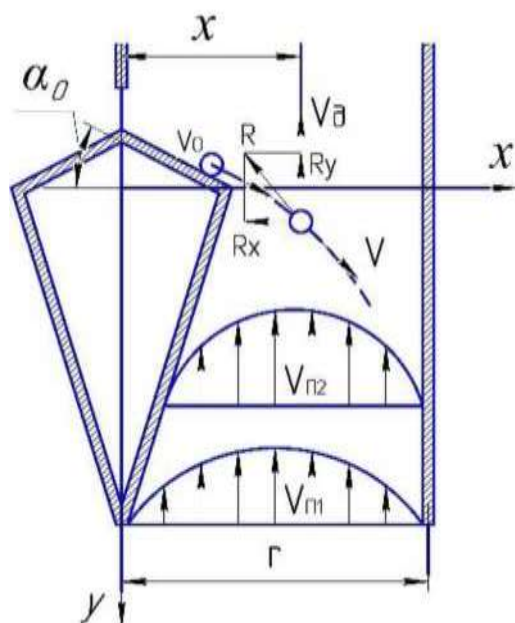


Рисунок 2.5 - Розрахункова схема руху зерноповітряної суміші в пневмогравітаційному сепараторі із змінною площею перетину каналу

Напрямок введення зернівок КЗМ в зустрічний повітряний потік і швидкість початкового руху зернівок і визначають їхню траєкторію руху в робочому просторі камери сепаратора. Після введення компонентів в горизонтальний потік вони починають взаємодіяти з повітряним потоком, що рухається в горизонтальному напрямку проти осі.

Для опису переміщення поодиноких зернівок в повітряному потоці визначили загальноприйняті спрощуючі припущення, ідеалізуючи дослідний процес:

зернівки рухаються ізольовано, не взаємодіючи із стінками камери (канала) та іншими зернівками;

потік повітря в перетині перпендикулярному напрямку рівномірний;

швидкість повітря в напрямках

Аналізуючи отримані результати математичного моделювання балістики зернівок КЗМ можна визначити, що збільшення величини розщеплення траєкторій руху зернівок забезпечується за використання змінної швидкості повітряного потоку за координатами. Збільшення величини розщеплення траєкторій однозначно характеризує зростання ефективності поділу компонентів зернового матеріалу на фракції за аеродинамічними властивостями, які, як відомо, щільно корелюють з якісними показниками зернового матеріалу.

Отримані результати досліджень процесу інерційного фракціонування свідчать про реальну можливість підвищення ефективності поділу матеріалу на фракції за аеродинамічними властивостями. Ефект епюри швидкості повітря в повітряному каналі може бути використано для керування процесами поділу матеріалу на фракції.

$$P = m \cdot g,$$

де m - маса зернівки, кг;

g - прискорення вільного падіння, м/с²;

- повітряний потік, який відсмоктується з робочої зони пневмосепаратора, сталий по площі перерізу каналу та діє на зернівку з силою

Аналізуючи графічні залежності рисунків, можна зробити висновок про те, що вплив обертання зернівки суттєво залежить від початкової кутової швидкості та кута введення зернової суміші в аспіраційний канал. Установлено також, якщо змінювати швидкість повітряного потоку в зоні розділення зернової суміші та відносну швидкість зернівки можна досягти розпушеності матеріалу по площі аспіраційного каналу і перетворити стохастичний рух зернівок з коливальним обертанням в об'ємі каналу в повне обертання зернівок навколо своєї осі. Надання зернівкам обертання на початку їх руху призведе до зменшення ефекту стохастичного розсівання по площі каналу.

Отримано рівняння для визначення траєкторії руху в залежності від кутової швидкості та забезпечено підвищення ефекту пневмосепарації при розділенні зернових сумішей за рахунок впливу ефекту Магнуса.

Таким чином, запропоновані аналітичні дослідження для визначення поведінки руху зернівки у вертикальних аспіраційних каналах пневматичного сепаратора. Це дає змогу визначити та обґрунтувати нові робочі органи для підвищення пропускної здатності вертикальних каналів. Застосування даних досліджень на практиці дає змогу покращити якість пневматичної сепарації зерна і насіння. Розроблена механіко - математична модель руху зернівки всередині аспіраційного зигзагоподібного каналу дає можливість обґрунтувати фундаментальні положення процесів сепарації у вертикальних каналах та розробити теоретичні засади складних процесів в аспіраційних каналах з нагнітальним та відсмоктувальним принципом дії.

2.2.1 Використання вихрових потоків для інтенсифікації процесу сепарування компонентів зернового матеріалу за аеродинамічними ознаками

Відповідно до вихідних вимог ворохоочисників СВС-15, СВС-25 вміст легких домішок зернових матеріалів не може перевищувати 4 - 6% [28], а в реальних умовах вміст легкої фракції може досягати до 50 % від загального вмісту домішок [28, 29].

Для інтенсифікації процесу очищення КЗМ від легких домішок для вібропневмовідцентрових зерносепараторів, які працюють із схемою пневмосепарації типу БЦС, запропоновано ряд конструкційних рішень [30] пневмосепарувального пристрою попередньої очистки. Найбільш ефективним і впровадженим у виробництві є кільцево - конусно - каскадний пневмосепарувальний пристрій конструкції. На відміну від існуючого, конічна частина направляючого конуса виконана каскадною, складеною із чотирьох конусів із утворенням між ними кільцевих щілин для подачі повітря в шар зерна, який сповзає вздовж твірної конуса, до низу. Шар зерна вентилується повітрям із щілин, утворюючи три зони очищення. Основним недоліком такої схеми перебігу процесу є те, що рухаючись вздовж твірної конуса, кут нахилу якої (до горизонту) близький до кута тертя і, відповідно, маючи установлену (постійну) швидкість переміщення, шар зерна збільшує свою висоту.

На підставі аналізу науково-технічної літератури, проведених теоретичних досліджень і, виходячи з поставлених завдань, намічена відповідна програма експериментальних досліджень:

Приймально-розподільний пристрій:

- визначення фракційного складу зернового матеріалу, що надходить на післязбиральне оброблення;
- визначення вологості зернового матеріалу;
- дослідити вплив способу подавання зернового матеріалу при його формуванні в бункері приймально-розподільного пристрою пневмосепаратора;

Віброживильник:

- визначити розподіл швидкості повітряного потоку по перетину вертикального пневмосепарувального каналу;
- дослідити та обґрунтувати раціональні параметри віброживильника і режими його роботи;
- дослідити вплив подавання матеріалу на якісні показники роботи процесу пневмосепарування розробленої конструкції;
- вивчити вплив зернового матеріалу питомі витрати енергії.

2.2.2 Опис та конструкція макетного зразка віброживильника

Для визначення впливу ступінчастої поверхні на траєкторію сходу зернового матеріалу в пневмоканал (рис. 2.6).

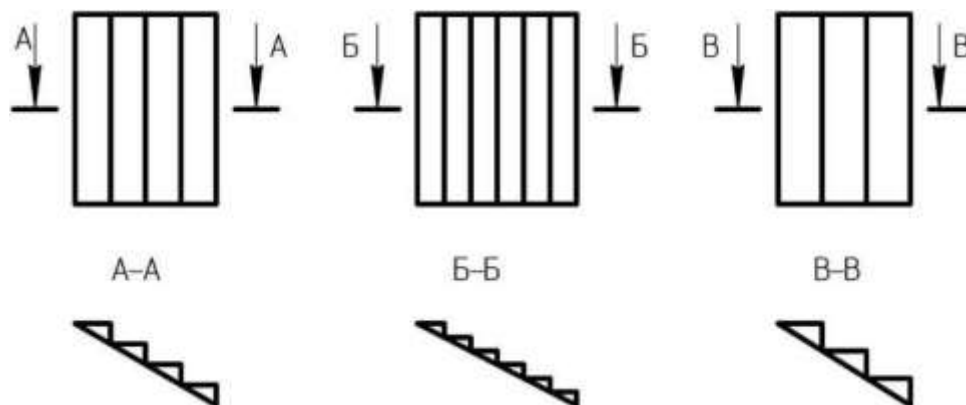
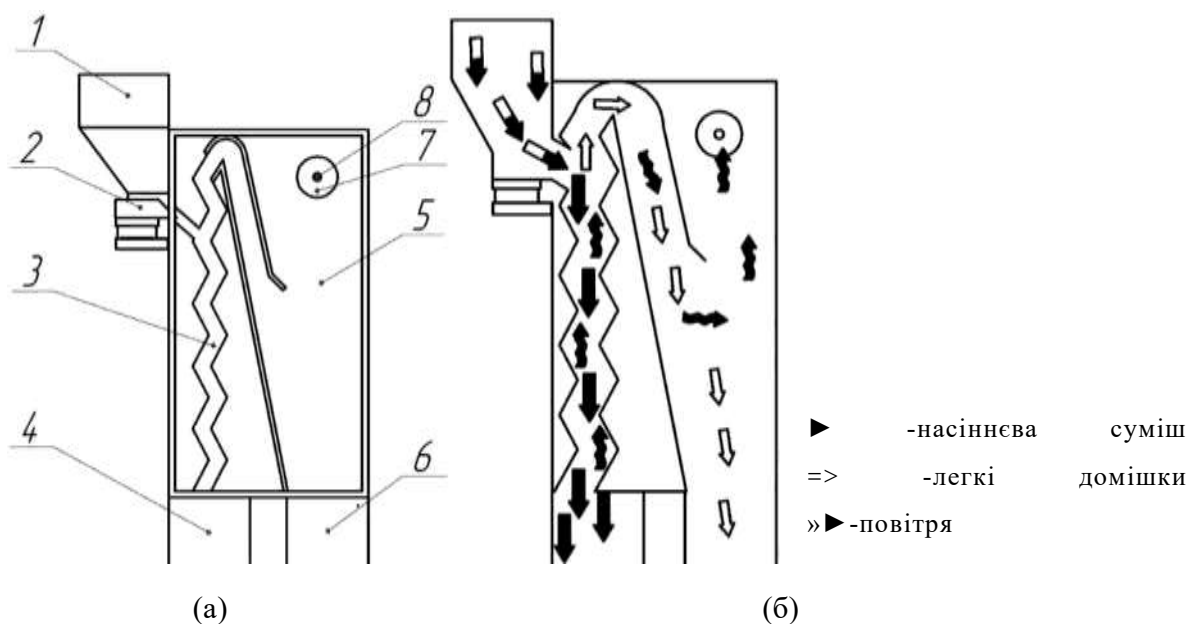


Рисунок 2.6 - Схеми змінних скатних поверхонь віброживильного лотка

Експериментальна установка пневмофракційного сепаратора

Для дослідження пневмофракційного оброблення зерна виготовлена експериментальна установка (рис. 2.7).



1-бункер; 2-вібратор-завантажувач; 3-пневматичний канал; 4-приймач важких

фракцій; 5-камера осадження легких домішок; 6-приймач легких домішок; 7-вентилятор з електроприводом; 8-фільтр

Рисунок 2.7 - Конструкційна (а) та технологічна схеми (б) експериментальної установки пневмофракційного сепаратора



Рисунок 2.8 - Загальний вигляд експериментальної установки
пневмофракційного сепаратора ВПС-5М

Пневматичний сепаратор насіння ВПС-5М призначений для застосування в селекції та насінництві в галузі квітництва і овочівництва (очистка насіння трав, лікарських рослин, льону та інш.). Якість сепарації наближена до пневматичного сортувального столу, а при розділенні довгих компонентів навіть вище.

Насіннєвий матеріал завантажують у приймальний бункер, звідки він по вібратору-живильнику потрапляє в аспіраційний канал. Зазор між живильником та бункером регулюється гвинтом-заслінкою.

Сепаратор простий за будовою, не пилить, самоочищається і не травмує насіння, основна характеристика наведена в (табл. 2.1). Продуктивність за безперервного завантаження 40-100 кг/год.

Основні переваги сепаратора:

- стабільна робота і висока якість сепарування, зарахунок рівномірного розподілення матеріалу по ширині аспіраційного каналу;
- висока надійність та довговічність роботи;
- легкість в обслуговуванні та наладки оптимальних режимів.



Рисунок 2.9. - Загальний вигляд пневматичного сепаратора для дослідження процесу пневмофракціонування в прямотоці повітря

Таблиця 2.1 Коротка технічна характеристика пневматичного сепаратора

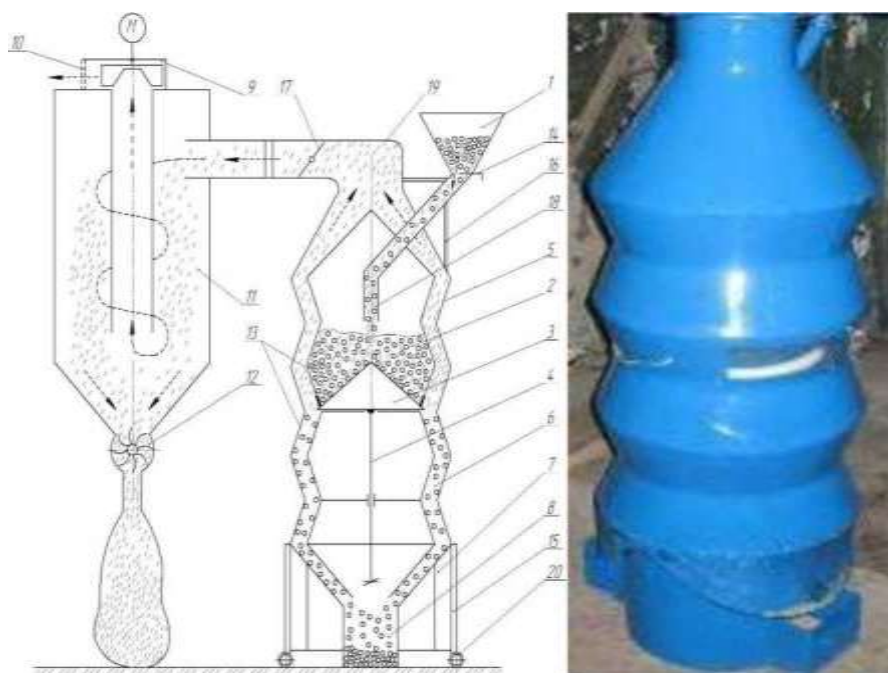
Ширина, мм	820
Глибина, мм	100
Висота, мм	1200
Ширина повітряного каналу, мм	40
Глибина повітряного каналу, мм	100
Висота повітряного каналу, мм	820
Ємкість приймального бункера, л	20
Встановлена потужність, Вт	250
Живлення, В, Гц	220, 50
Кількість полок ступенів, шт.	11
Частота вібрацій живильника, Гц	8
Продуктивність, кг/год	350-400
Маса, кг	60
Обслуговуючий персонал, чел.	1

2.2.3 Опис та конструкція кільцевого пневматичного сепаратора

Для дослідження пневмофракційного оброблення зерна виготовлена експериментальна установка (рис. 2.10).

На базі пневматичного сепаратора насіння розроблено експериментальну установку кільцевого гравітаційного пневмосепаратора з V - подібним каналом (КГП).

Сепаратор простий за будовою, не пилить, самоочищається і не травмує насіння. Продуктивність за безперервного завантаження 100-400 кг/год.



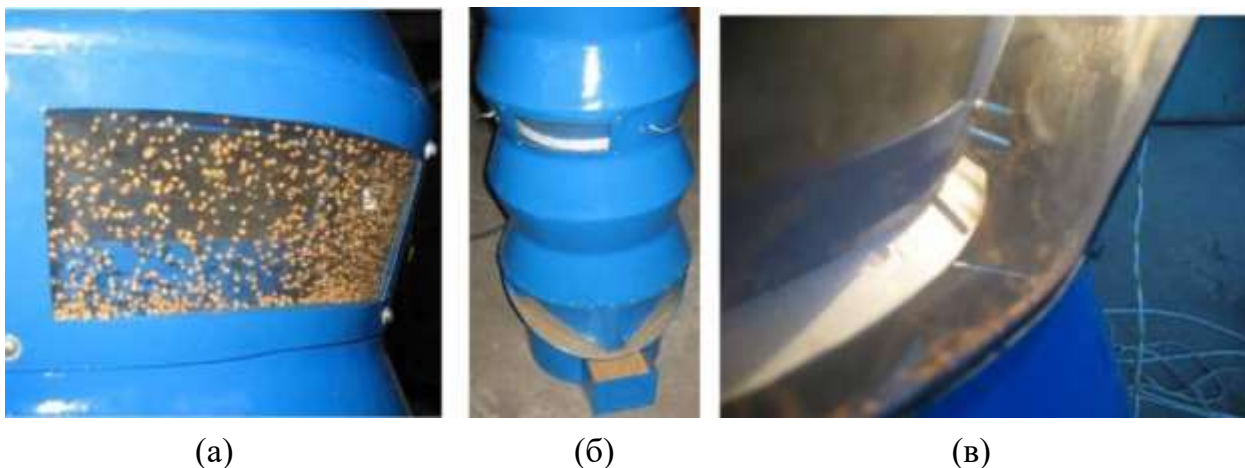
1 - приймальний бункер; 2 - накопичувальний бункер; 3 - конус-дозатор; 4 - регулювальна штанга; 5 - кільцевий V - подібний аспіраційний канал; 6 - сегментні вставки; 7 - випускний патрубок; 8 - накопичувальний короб для очищеного насіння; 9 - відсмоктуючий вентилятор; 11 - циклон; 12 - дозатор для легких домішок; 13 - оглядове вікно; 14 - шибер; 15 - рама пневмосепаратора; 16 - опорна рамка; 17 - регулювальна заслінка; 18 - направляючий випускний патрубок; 19 - перехідний дифузор; 20 - колеса

Рисунок 2.10 - Кільцевий гравітаційний пневмосепаратор а) - технологічна схема; б) - загальний вигляд

Кільцевий гравітаційний пневмосепаратор можна використовувати як для очищення і сортування зерна, так і насіння різних сільськогосподарських культур, попередньо оброблених в повітряно-решітних та трієрних машинах, а також використовувати в технологічних лініях для оброблення насіння на пунктах та заводах як самостійні машини.

Основні переваги сепаратора:

- стабільна робота і висока якість очищення насіннєвого матеріалу за рахунок рівномірного розподілення матеріалу по периметру аспіраційного каналу;
- висока надійність та довговічність роботи;
- легкість в обслуговуванні та наладці режимів.



а) - процес розділення зернівок за густиною; б) - процес осадження питоמו важких зернівок у вихідному каналі сепаратора; в) - траєкторії виносу легких домішок (питоמו легких часток) в похилому аспіраційному каналі

Рисунок 2.11 - Загальний вигляд експериментальної установки в процесі фракціонування зернового матеріалу

Під час проведення експериментальних досліджень усі вимірювальні прилади перевірялися на початку і в кінці випробувань на їх робочими характеристиками, налаштування вимірювальної апаратури здійснювали одні й ті ж люди, протягом усієї роботи використовували одну і ту ж апаратуру.

При масових вимірах однієї величини оцінювання її проводили за середнім арифметичним, а похибку досліду визначали середнім квадратичним відхиленням.

Оцінювання збіжності розрахункових та експериментальних даних проводили за величиною максимального і середнього відносного відхилень експериментальних значень від розрахункових за формулами [25, 26]:

$$\delta_{\text{CP}} = \frac{1}{n} \sum \frac{|y_P - y_i|}{y_P}$$

$$\delta_{\text{MAX}} = \left(\frac{|y_P - y_i|}{y_P} \right)_{\text{MAX}},$$

де n - кількість точок порівняння;

y_P і y_i - розрахункове і експериментальне значення параметра.

Оброблення результатів експериментальних досліджень також проводилися методами загальної теорії статистики і теорії планування експерименту [16, 24, 27, 28].

Для обчислення статистичних характеристик вибірки використовувалося програмний додаток Microsoft Excel 2010. Для оцінки різко виділених спостережень використовувався критерій Ірвіна [16, 24, 29, 30].

Всі розрахунки виконувалися на персональному комп'ютері. Для розрахунків використовувався програмний додаток Microsoft Excel 2010, Mathcad 7, а також література по інженерних та конструкторських розрахунках [30] і диференційного та інтегрального числення [31, 32].

Для оптимізації геометричних параметрів і режиму роботи використовували багатофакторне планування експерименту [24, 25, 26, 29].

2.3 Склад бункерного зернового матеріалу

Для проведення досліджень на лабораторній установці в якості вихідного матеріалу було взято зерновий матеріал пшениці з бункера зернозбирального комбайна «КЗС 9М-1»

отриманий під час збирання. Досліди проводили на озимій пшениці, вологість насіння становила 14%. Перед проведенням дослідів визначали якісний склад вихідного матеріалу.

Результати аналізу вихідного матеріалу представлені в таблиці 2.2.

№	Ціле зерно, %	Дроблене зерно, %	Домішки, %	Скловидність, %	Вміст клейковини, %	Схожість, %	Мікро травмування, %
1	97,36	2,24	0,40	64,12	26,70	97,36	10,3
2	97,31	2,33	0,36	63,87	26,30	98,75	10,6
3	97,38	2,23	0,39	63,12	27,50	97,23	10,4
4	97,47	2,28	0,25	64,24	29,20	96,92	10,7
5	97,56	2,26	0,18	63,47	28,80	97,90	10,6
Середнє	97,41	2,27	0,32	63,76	27,70	97,83	10,5

Таким чином, у вихідному матеріалі середній вміст цілого зерна становив 97,41%, дробленого зерна - 2,27%, домішок 0,32%. Аналіз цілого зерна на лабораторну схожість показав, що вона коливається від 96,92 до 98,75% і в середньому становить 97,83%. Скловидність зерна становить 63,76%, вміст клейковини 27,7%. Узагальнений показник мікро травмування насіння, де всі види травм приведені до пошкодження зародка, знаходиться в межах 10,3-10,7%.

2.4 Дослідження розподілу швидкості повітряного потоку по перетину вертикального пневмосепарувального каналу

Для визначення якісних показників роботи вертикального пневмосепарувального каналу необхідно знати розподіл повітряного потоку всередині нього. Як було зазначено раніше, розподіл швидкостей повітряного потоку визначали експериментальним шляхом з використанням диф. манометра відповідно до методики.

Для більшої наочності була побудована діаграма розподілу швидкостей повітряного потоку в пневмоканалі при частоті обертання ротора вентилятора 2192 хв⁻¹ (рис. 2.12).

З діаграми видно, що розподіл швидкостей повітряного потоку в площині, що знаходиться нижче завантажувального вікна, має характер нормального розподілу на відміну

від розподілу швидкостей повітряних мас над завантажувальним вікном, де ми можемо спостерігати зсув швидкостей до правої частини пневмоканалу. Такий характер зміни поля швидкостей легко пояснюється підсмоктуванням повітря через завантажувальне вікно, через яке створюється бічний тиск.

у результаті зустрічі двох повітряних потоків, вертикального і горизонтального, основний повітряний потік зсувається в бік напрямку горизонтального повітряного потоку. Такий розподіл швидкостей повітряного потоку всередині пневмосепарувального каналу може погано позначитися на якості пневмосепарації в системі очищення двохаспіраційного сепаратора.

Так, неповноцінні зерна, які підхоплюються повітряним потоком більшої швидкості і повинні виноситися в осадову камеру, потрапляють в зону пневмосепарувального каналу, в якій швидкість повітря наближена до нуля, в результаті чого зернівки будуть опускатися і потрапляти в очищений матеріал, знижуючи його якість

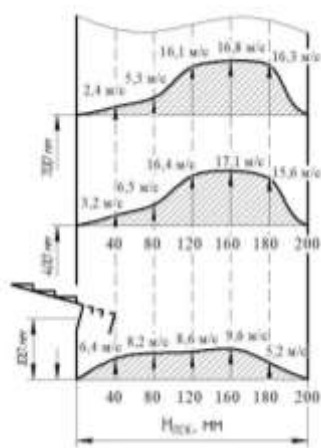


Рисунок 2.12 - Діаграма розподілу швидкостей по глибині пневмоканала в трьох площинах

Також в результаті перерозподілу швидкостей в пневмосепаруючому каналі виникає зона підвищених швидкостей. Повноцінне зерно, потрапивши в таку зону, буде виноситися в фураж, що призведе до підвищених втрат якісного зерна в системі аспірації.

Для вирівнювання поля швидкостей повітряного потоку по глибині і висоті вертикального пневмосепарувального каналу необхідно усунути бічне підсмоктування повітря. Це можна зробити, зменшивши площу перетину завантажувального вікна, тим самим герметизуючи завантаження пневмоканалу.

Таблиця 2.3 - Розподіл швидкостей повітряного потоку у вертикальному пневмосепарувальному каналі в залежності від частоти обертання ротора вентилятора

X, мм		40	80	120	160	180
n, хв ⁻¹		V, м/с				
1940	100	4,3	7,1	7,4	7,9	3,0
	400	0,9	3,6	13,9	14,5	13,3
	700	1,3	2,7	13,5	15,2	14,8
2030	100	5,8	7,2	7,9	8,3	2,6
	400	1,1	3,5	15	15,2	13,9
	700	1,2	2,5	13,9	15,3	14,9
2120	100	5,1	7,7	8,4	8,9	5,1
	400	1,1	3,5	15,7	15,9	14,8
	700	1,8	2,5	14	16,1	15,6
2200	100	6,4	8,2	8,5	9,6	5,2
	400	3,2	6,5	16,4	17,1	15,6
	700	2,4	5,3	16,2	16,8	16,3
2300	100	6,5	8,3	9,1	9,8	5,8
	400	3,3	6,7	17,3	17,2	16
	700	2,5	5,5	16,7	18,0	17,3

Таблиця 2.4 - Розподіл швидкостей повітряного потоку у вертикальному пневмосепарувальному каналі в залежності від частоти обертання ротора вентилятора з герметичною заслінкою

X, мм		40	80	120	160	180
п, хв ⁻¹		V, м/с				
1940	100	7,8	8,9	9,7	10,2	0,2
	400	1,5	11	12,5	11,8	10,0
	700	5,7	8,6	9,4	9,0	8,5
2030	100	8,3	9,3	10,2	10,3	0,2
	400	1,3	12	13,1	12,2	10,6
	700	6,3	9,2	9,5	9,1	8,6
2120	100	8,6	9,8	10,7	11,1	0,3
	400	1,4	11,1	13,8	13,2	11,4
	700	5,8	9,3	10,5	9,8	9,3
2200	100	9	10,2	11,2	11,4	0,4
	400	0,7	11,7	14,4	13,5	11,5
	700	6,7	9,8	11	9,8	9,9
2300	100	9,4	10,6	11,6	11,9	0,5
	400	1,8	12,5	15,1	13,7	12
	700	7,3	9,4	10,5	10,0	9,9

Зменшення площі перетину завантажувального вікна має на увазі під собою зменшення його висоти відповідно до встановленої продуктивності. На більшості сучасних зерноочисних машин в системі пневмосепарації є автоматизована герметизуюча заслінка, яка збільшує і зменшує висоту відкриття завантажувального вікна в залежності від висоти шару зернового матеріалу, що надходить в канал очищення [7, 12, 18].

Слід відмітити, що залежність маси 1000 насінин від точки введення при завантаженні двома різними лотками має помітну відмінність (рис. 2.13).

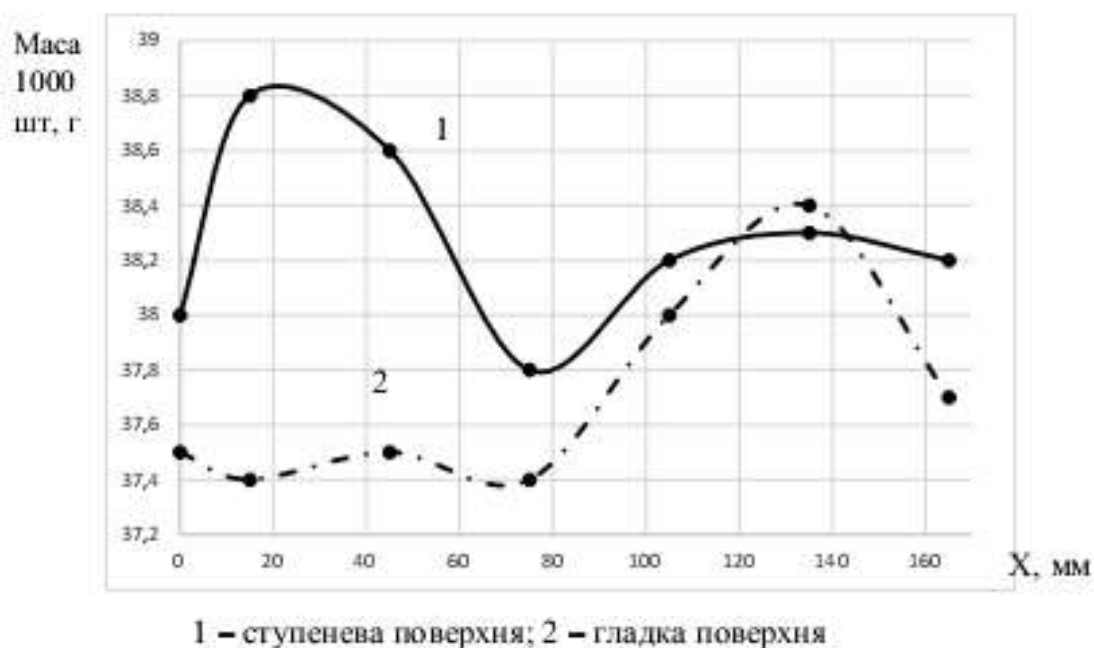


Рисунок 2.13 - Залежність маси 1000 насінин від точки введення

Видно, що маса 1000 насінин зернового матеріалу, поданого в пневмоканал віброживилиником з лотком із ступінчастою поверхнею, трохи вище ніж маса 1000 насінин матеріалу, завантаженого з гладкої поверхні. А так як маса 1000 насінин є одним із значущих показників якості зерна, то можна зробити висновок, що використання ступінчастої поверхні при завантаженні пневмосепарувального каналу дозволяє підвищити якість кінцевого продукту.

Висновок по 2 розділу

1. Застосування фракційної технології оброблення зернового матеріалу з використанням повітряного потоку дозволяє істотно підвищити якість очищення зерна і насіння. Це дозволило розробити технічні засоби, які працюють з підвищеними швидкостями повітряного потоку в зоні розділення і зумовлюють поділ зернового матеріалу на фракції повноцінного, фуражного зерна і засмічених домішок. Системний аналіз функціонування технічних засобів дозволив виявити раціональні параметри, які характеризують якісні показники технологічного процесу.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1 Особливості охорони праці для працівників в сільськогосподарському підприємстві

Агропромислове виробництво характеризується наявністю цілого ряду небезпечних факторів, які вже стали часто зустрічатися в господарствах: старіння основних фондів, підвищена кількість фізично зношеного та дуже старого обладнання, механізмів та машин, не відповідність безпечним умовам праці.

Основним особливостями побудування виробничого процесу в агро секторі економіки є:

- сезонність робіт, що створює труднощі реалізувати в окремі періоди року дотримання нормативної тривалості трудового дня, через те щорічно травматизм досягає пікових значень в одні і ті ж місяці року;

- нерівномірне навантаження працівників протягом року (кількість працівників в агропромисловому виробництві в липні перебільшує в середньому за рік на 12-15%);

- Використання праці підлітків і людей пенсійного віку у напружений період польових робіт (в липні їх кількість сягає 4-5% від загальної кількості працюючих).

Так, технологічні процеси пов'язані сушінням та максимальну температуру нагрівання зерна необхідно регулярно контролювати на вході до зони сушіння прямооточних сушарок.

Високий рівень небезпеки мають і механізовані роботи зерно перед сушкою в прямооточних та рециркуляційних шахтних сушарках (без додаткових пристроїв для нагрівання зерна) для уникнення загоряння потрібно очищувати на зерноочисних машинах від грубих та легких домішок, а перед сушкою у рециркуляційних сушарках з нагрівом зерна у камерах з падаючим потоком - від грубих домішок..

Проаналізувавши вищенаведене, для найбільш ефективного правового дотримання охорони праці у господарстві з основними нормами існує ряд спеціальних норм, які відображають специфіку виробничих процесів по галузях сільськогосподарського виробництва і, відповідно, особливості охорони праці в них.

Дані норми відображаються в галузевих нормативних актах з охорони праці, які представляють собою правила з охорони праці по видах виробничих процесів, і примірні інструкції по видах робіт або професіях, на основі яких керівником підприємства розробляються інструкції з охорони праці вже на певному сільськогосподарському підприємстві.

З метою розробки ефективних заходів і засобів з охорони праці і їх закріплення на законодавчому рівні є основою для підвищення рівня безпеки сільського господарства як однієї з основних галузей економіки країни.

3.2 Моделювання виробничих небезпек при роботі з обладнанням для очищення, сушіння, зберігання зернових матеріалів

1. Силоси та бункери для зерна, борошна, круп, комбікормів, висівок незалежно від місця їх розташування закривають суцільним перекриттям з облаштуванням в них завантажувальних та лазових люків із запобіжними ґратами, що щільно зачиняються та закриваються на замок.

2. Внутрішні поверхні стін залізобетонних силосів, бункерів, складів-куполів, їхні днища мають бути гладкими (без виступів, впадин тощо) і забезпечувати повний вихід з них продукту. Залишки зернопродукту допускаються при експлуатації металевих силосів та складів-куполів. Обробка внутрішньої поверхні силосів має сприяти кращому витіканню сипучого матеріалу. Для обробки внутрішньої поверхні силосів, а також випускних конусів необхідно застосовувати розчини, на які є висновки державної санітарно-епідеміологічної експертизи.

3. Усі залізобетонні силоси і бункери обладнуються аспіраційним обладнанням та іншими пристроями з таким розрахунком, щоб запилене повітря, яке витісняється під час заповнення силосів і бункерів зерном, готовою продукцією або відходами, не надходило до приміщень, де перебувають люди. Аспіраційне обладнання та оперативну ємність для збору і зберігання пилу допускається об'єднувати в одну аспіраційну установку з технологічним і транспортним обладнанням не інакше, як через шлюзові затори або через вибухозахисні клапани.

Оперативні ємності для збору і зберігання пилу слід аспірувати окремою установкою, їх об'єднання допускається лише з обладнанням, в якому відсутні обертові деталі (насипні лотки, поворотні труби тощо).

4. Перевірка температури продуктів, що зберігаються в силосах та бункерах, здійснюється стаціонарними або переносними установками (у випадках зберігання на підлозі). Опускатись у силоси та бункери працівникам заборонено.

5. Залізобетонні силоси та бункери для зберігання зерна, борошна, висівки, комбікормів, лушпиння та інших сипких продуктів мають бути обладнані пристроями, що забезпечують повне висипання продукту. Силоси для зерна діаметром більше 12 м мають облаштовуватися плоским дном з механізованим підгортанням зерна (колісні ковшові навантажувачі фронтального типу, шнекові навантажувачі тощо).

6. Люки залізобетонних силосів, бункерів у перекриттях повинні зачинятися кришками на рівні підлоги; вивантажувальні лійки металевих силосів - ґратами на рівні підлоги.

7. Не допускається заглиблювати ґрати люків залізобетонних силосів більше ніж на 0,06-0,6 м від поверхні підлоги приміщення.

8. Ґрати люків мають кріпитися на петлях чи болтах та мати пристрій для замикання.

9. Лазові люки прямокутного розрізу розміром не менше 0,47х0,65 м розміщують за можливості в центрі залізобетонного силосу.

10. Експлуатацію лебідок для спуску працівників у залізобетонні силоси необхідно здійснювати з дотриманням таких вимог:

діаметр сталевого каната (троса) для спуску одного працівника має бути не менше 7,7 мм;

співвідношення діаметрів барабана, направляючого барабана чи блока та діаметра каната має бути не менше 40 мм;

лебідка повинна бути оснащена справним гальмом, безпечною рукояткою, опускання працівника відбувається тільки під час обертання рукоятки у напрямку, зворотному підйому;

випробування лебідки проводиться щороку вантажем, який удвічі перевищує максимальне робоче навантаження, відповідно до інструкції заводу-виробника обладнання, що міститься у паспортній або експлуатаційній документації.

3.3 Висновки по розділу

Наведено заходи з охорони праці працівників на підприємстві при виконанні робіт. Досліджено методику моделювання процесів при роботі з обладнанням для очищення, сушіння, зберігання зернових матеріалів, виникнення небезпечних ситуацій, а саме надані рекомендації по роботі з обладнанням для підвищення якості зернових матеріалів та процесу виникнення травми при роботі з експериментальною установкою.

РОЗДІЛ 4

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ЗЕРНООЧИСНО-СУШИЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ

4.1. Техніко-економічна ефективність застосування машини для очищення зерна ВПС-5М в технологічній лінії зерноочисно-сушильного комплексу

Розрахунок річного економічного ефекту від використання експериментальної машини для очищення зерна проведено відповідно до методики, викладеної в роботах [1-4]. У якості базової машини при розрахунку економічних показників прийнята машина для очищення зерна ВПС-5 [5, 6], що є за конструкційним виконанням і технологічним процесом найбільш близьким аналогом.

У виробничих умовах з метою якісного оброблення зернового матеріалу зазвичай оператор встановлює машину на функціонування в гранично допустимих вимогах втрат Π_z повноцінного зерна, рівних 0,05% від маси зерна основної культури в вихідному матеріалі, а часто цей показник перевищує вказане значення.

Експериментальна машина для очищення зерна ВПС-5М може працювати самостійно, а також у складі потокової лінії зерноочисного агрегата типу ЗАВ-10, що забезпечує якісне оброблення зернового збіжжя з фракційним розділенням відходів в осадовій камері і при максимальній продуктивності $q = 5-10$ т/год має втрати Π_z повноцінного зерна у відходи в межах 0,02%, що на 0,03% нижче в порівнянні з серійною машиною.

Показники економічної ефективності машини для очищення зерна ВПС-5М, встановленої в технологічну лінію зерноочисно-сушильного комплексу КЗС-25Ш, визначені за результатами випробувань.

Для оцінки машини, що працює по пневмофракційній технології, розрахунок техніко-економічної ефективності її застосування проведено в порівнянні з машиною попереднього очищення того ж класу по продуктивності

ЗВС-10, але працює тільки по потоковій технології. Машина ЗВС-10 проходила випробування на протязі багатьох років, але умови відрізнялися по вологості W вихідного матеріалу. З метою виключення всіх інших факторів, крім різниці в технології очищення зернового матеріалу, розрахунок проведено при умовно рівних випробовуваних показниках по базовій машині.

Розрахункові дані собівартості одиниці продукції, експлуатаційних і капітальних витрат для базової і нової машин наведені в таблиці 5.1. Закупівельні ціни базової $Ц_0$, Бі нової $Ц_0$, Н машин, що випускаються в Україні, прийняті виходячи з реальної оцінки їх вартості. .

$$E_{\text{ЕФ}} = \left[\frac{П_3 Ц_ч}{100} + (E_{\text{В.Б}} + E_{\text{К}} K_{\text{Б}}) - (E_{\text{В.Н}} + E_{\text{К}} K_{\text{Н}}) \right] Q_{\text{Н}} T K_{\text{У}} + E_{\text{Я}} ,$$

де $П_3$ – значення зниження втрат повноцінного зерна у відходи, %;

$Ц_ч$ – ціна реалізації продовольчого зерна, грн/т;

$E_{\text{В.Б}}$, $E_{\text{В.Н}}$ – прямі експлуатаційні витрати на одиницю продукції по базовій і новій машині, грн/т;

$E_{\text{К}}$ – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень, $E_{\text{К}} = 0,15$;

$K_{\text{Б}}$, $K_{\text{Н}}$ – питомі капіталовкладення по базовій і новій машині, грн/т;

$Q_{\text{Н}}$ – номінальна пропускна здатність нової машини, т/год;

T – річна нормативна навантаження, год;

$K_{\text{У}}$ – коефіцієнт використання експлуатаційного часу;

$E_{\text{Я}}$ – річний економічний ефект від зміни якості продукції, грн.

Річний економічний ефект від зміни якості продукції визначається за наступною залежністю:

$$E_{\text{Я}} = B_{\text{П}} + B_{\text{Ф}} - B_{\text{ПП}} ,$$

де $B_{\text{П}}$, $B_{\text{Ф}}$ – вартість отриманого продовольчого і фуражного зерна при роботі машини по фракційній технології, грн;

$B_{\text{ПП}}$ – вартість отриманого продовольчого зерна при роботі машини по потоковій технології, грн.

Нової машини внаслідок однаковою технологією виготовлення визначена з урахуванням пропорційності мас даних машин за наступним виразом:

$$Ц_{0,\text{Н}} = Ц_{0,\text{Б}} m_{\text{Н}} / m_{\text{Б}} ,$$

де $M_{\text{Б}}$, $M_{\text{Н}}$ – маса базової і нової машин відповідно, кг.

Із урахуванням отриманих числових виразів річний економічний ефект від зниження втрат $П_3$ повноцінного зерна у відходи і за приведеними витратами

складе $E_{ПЗ} = 108$ тис. грн, а річний економічний ефект від зміни якості продукції $E_{я} = 130,3$ тис. грн.

Річний економічний ефект від застосування машини для очищення зерна ВПС-5М $E_{ЕФ} = 238,3$ тис. грн.

Термін окупності витрат $T_0 = E_{ЕФ} = 1,4$ років.

Економічний ефект $E_{ЕФ}$ від застосування нової машини ВПС-5М обумовлений підвищенням якості E очищення зерна, зниженням втрат $П_3$ повноцінного зерна у відходи і тим, що виділена з легких відходів фуражна фракція в подальшому обробляється і сушиться при більш жорстких теплових режимах ніж насіннєве зерно, що призводить до економії витрат енергії. Використання в зерноочисно-сушильних комплексах в складі зерноочисної лінії машини ВПС-5М замість ВПС-5 дасть господарству річний економічний ефект 238,3 тис. грн, а термін окупності T_0 становить 1,4 років.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломній роботі вирішена проблема підвищення ефективності функціонування пневмосепаруючих систем за аеродинамічними властивостями їх компонентів та створено технічні засоби, використання яких забезпечить зменшення травмування зерна і поділ на фракції відповідно до його подальшого цільового призначення (насіннєве, продовольче, фуражне зерно, відходи). На підставі одержаних результатів досліджень сформульовано наступні основні висновки:

На основі системного аналізу відомих технічних засобів для очищення і сепарації зернових сумішей до підвищення ефективності їх функціонування встановлено, що існуючі пневмосепаруючих систем практично досягли межі технологічної досконалості. Перспективи подальшої інтенсифікації і підвищення ефективності розділення зернових матеріалів на фракції потребують упровадження нових принципів оброблення струменів зернового матеріалу повітряними потоками на аеродинамічних властивостей КЗМ. фракції в розроблених технологічних процесах і технічних засобах.

На базі результатів досліджень розроблено аспіраційну систему до зерноочисної машини ВПС-5М, обладнану пневмосистемою з каналами до- і післярешітної аспірації, що забезпечує в порівнянні з машиною ВПС-5 збільшення продуктивності в 1,2 раза та зменшення в 1,6 раза питомої енергоємності та в 1,23 раза меншу питому металоємність, а повноту виділення домішок.

Економічний ефект $E_{\text{ЕФ}}$ від застосування нової машини ВПС-5М обумовлений підвищенням якості E очищення зерна, зниженням втрат P_3 повноцінного зерна у відходи і тим, що виділена з легких відходів фуражна фракція в подальшому обробляється і сушиться при більш жорстких теплових режимах ніж насіннєве зерно, що призводить до економії витрат енергії. Використання в зерноочисно-сушильних комплексах в складі зерноочисної лінії машини ВПС-5М замість ВПС-5 дасть господарству річний економічний ефект 238,3 тис. грн, а термін окупності становить 1,4 років.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Горячкин В. П. Собрание сочинений : в 3-х т. М.: Колос, 1965. Т. 3. О пневматическом обогащении. С. 166-189.
2. Гудков А. Н. Теоретические положения определяющие режим работы потока воздуха пневматических устройств зерноочистительных машин. Труды Волгоградского СХИ. М., 1963. Т.17. С. 135-146.
3. Гармаш Н. Г. Теоретические основы одного из видов безрешетной сепарации мелкого зернового вороха. Сельскохозяйственная машина. 1956. №12. С. 4-8.
4. Безручкин И. П. Сепарация зерна воздушным потоком. Сельскохозяйственная машина. 1949. №5. С.3-7.
5. Терсков Г.Д. Оптимальная скорость воздушного потока и построение траекторий движения зерна. Сельскохозяйственная машина. 1936. №2. С. 510.
6. Малис А. С., Демидов А. Р. Машины для очистки зерна воздушным потоком. М.: Машгиз, 1962. 176 с.
7. Нелюбов А. И., Ветров Е. Ф. Пневмосепарирующие системы сельскохозяйственных машин. М.: Машиностроение, 1977. 192с.
8. Гортинский В. В., Демский А. Б., Борискин М. А. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях. М.: Колос, 1980. 304 с.
9. Злочевский В. Л. Интенсификация процесса аэродинамического разделения зерновых материалов : автореф. дис. ...д-ра техн. наук. Новосибирск : СибИМЭ СО ВАСХНИЛ, 1986. 35 с.
10. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Харків : Око, 2006. Т. 3, ч. 7. Очистка і сортування насіння. 407 с.
11. Барский М. Д. Фракционирование порошков. М., 1980. 327 с.
12. Бурков А. И., Сычугов Н. П. Зерноочистительные машины. Конструкция, исследование, расчет и испытание. Киров : Изд-во НИИСХ

Северо-Восток, 2000. 258 с.

13. Матвеев А. С. О технологии и технических средствах очистки и сортирования зерна и семян. Развитие комплексной механизации производства зерна с учетом зональных условий : сб. науч. тр. ВИМ. М., 1982. С. 181-183.

14. Шушол И. Исследование дополнительного сортирования посевного ячменя воздушным потоком : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01. М., 1979. 15 с.

15. Нестеренко О. В. Обґрунтування параметрів пневмосепаруючого каналу з багаторівневим введенням зернового матеріалу : автореф. дис. .канд. техн. наук / ЦНТУ. Кропивницький, 2017. 21 с.

16. Васильковський М. І., Гончарова С. Я., Лещенко С. М. Обґрунтування параметрів сепарації зерна в похилому повітряному потоці / М.І. Васильковський, С.Я. Гончарова, С.М. Лещенко. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : зб. наук. пр. Вип. 37. Кіровоград : КНТУ, 2007. С. 132-137.

17. Демский А. Б., Веденьев В. Ф. Основные направления совершенствования пневмосепарирующего зерноочистительного оборудования. М., 1978. 73с.

18. Михайлов Є. В. Методологія обґрунтування складу і функціональних параметрів технічних засобів післязбиральної обробки зерна (на прикладі Півдня України) : автореф. дис. ... докт. техн. наук. Мелітополь, 2014. 42с.

19. Тіщенко Л. М., Кучеренко С. Ї., Ольшанський В. П. Балістика крапель які випаровуються при польоті. Харків : ХНТУСГ, 2007. 203с.

20. Харченко С. О. Концепція інтенсифікації процесів віброрешітного просіювання зернових сумішей : автореф. дис. .докт. техн. наук / ХНУСГ. Харків, 2018 р. 40 с.

21. Борщ Ю. П. Моделирование динамики расслоенной зерновой смеси в вертикальном канале пневмосепарирующих устройств зерновых сепараторов. [Вісник Харківського національного технічного університету сільського](#)

господарства імені Петра Василенка. 2014. Вип. 152. С. 128-135.

22. Кюрчев С. В., Колодий А. С. Результаты исследований разработанного сепаратора семян с вертикальным аспирационным каналом. Motrol : Motorization and energetics in agriculture. 2014. Vol. 16. № 2. Рр. 169177.

23. Саитов В.Е. Повышение эффективности функционирования зерноочистительных машин путем совершенствования их основных рабочих органов и пневмосистем с фракционной сепарацией: автореф. дис. ...докт. техн. наук : 05.20.01. Чебоксары, 2014. 40 с.

24. Туров А. К. Пневмосепарация зерна в вертикальном канале с подготовкой в струйном плоскопаралельном потоке : авторефер. дис. . канд. техн. наук / СИБИМЭСХ. Новосибирск, 1984. 19с.

25. Тейтельбаум А. Х. Исследование процесса пневмосепарации зерновых смесей с принудительным вращением зерновок : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01. Барнаул, 1978. 26 с.

26. Богомолов А. В. Учет вращения частицы зерновой смеси при движении ее в воздушном потоке. ВісникХДТУСГ. Харків, 2002. Вип. 9. С.- 5 14.

27. Тищенко Л. М., Ольшанский В. П., Ольшанский С. В. Гидродинамика сепарирования зерна. Харьков, 2010. 174 с.

28. Ицекзон З.Х. Исследование пневмосепарационного процесса в вертикальных каналах с целью повышения его эффективности при очистке и сортировании семян : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Омский с.- х. ин-т им. С. М. Кирова. Омск, 1974. 39 с.

29. Колодій О. С. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів пневмогравітаційного сепаратора насіння соняшника : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11. Мелітополь, 2015. 23 с.

30. Кюрчев С. В. Механіко-технологічне обґрунтування післязбиральної обробки та зберігання насіння зернових і олійних культур. автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.05.11. Глеваха, 2019. 44с.

31. Дементьев М. А. К вопросу исследования аэродинамических

свойств семян. Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин. М.: Сельхозгиз, 1936. С. 148-158.

32. Абдуєв М.М. Обґрунтування параметрів сепаратора з нахиленим повітряним каналом для розділення зернових сумішей : автореф. дис.канд. техн. наук / ХНТУСГ ім. П. Василенка. Харків, 2007. 20 с.

33. Манчинський Ю. А. Обґрунтування параметрів розділення насіннєвих сумішей на вібруючій поверхні: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.1 / Національний аграрний ун-т. К., 2000. 35 с.

34. Кречот М. М. Обґрунтування параметрів процесу і розробка пневматичного сепаратора насіння овочевих культур : автореф. дис. .канд. техн. наук / ХНТУСГ ім.. П. Василенка. Харків, 2015. 20с.

35. Стеничев М. Г. Исследование процесса разделения мелкого соломистого вороха встречным воздушным потоком : автореф. дис. .канд. техн. наук / ЧИМЭСГ. Челябинск, 1975. 26 с.

36. Косилов Н. И., Маликов А. С., Романов В. В. Повышение эффективности предварительной очистки за счет расслоения потока зернового вороха. Повышение производительности и качества работы зерноуборочных и зерноочистительных машин : сб. науч. тр. / Челябин. ин-т механизации и электрификации сел. хоз-ва. Челябинск, 1986. С. 5-13.

37. Косилов Н. И., Нилов В. П. Исследование и обоснование параметров сепаратора с противоточной подачей вороха во встречный воздушный поток. Уборка и послеуборочная обработка зерна : науч. тр. / ЧИМЭСХ. Челябинск, 1977. Вып. 131. С. 62-69.

38. Півень М. В. Обґрунтування параметрів процесу решітного сепарування зернових сумішей : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11 / Харківський національний технічний ун-т сільського господарства ім. Петра Василенка. Харків, 2006. 20 с.

39. Дринча В. М. Технологические и технические решения очистки и сортирования при подготовке высококачественных семян зерновых культур: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 1997. 50 с.

40. Пивень А. В., Миронов А. В. Обоснование угла ввода зернового вороха в воздушный поток делительных камер пневмоинерционных сепараторов. Совершенствование технологий и технических средств для уборки урожая и послеуборочной обработки зерна: науч. тр./ ЧИМЭСХ. Челябинск, 1987. С.79 - 82.

41. Гиевский А. М. Повышение эффективности работы универсальных воздушно-решетных зерноочистительных машин : автореф. дис. . д-ра техн. наук / Воронежский государственный аграрный университет. Воронеж, 2016. 40 с.