

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ГЕТМАНЕНКО ВІКТОР ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 631.171

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Удосконалення процесу сепарації зернового вороху на зерноочисній машині

(тема роботи)

208 «Агроінженерія»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело _____

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Сукманюк Олена Миколаївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

к.і.н., доцент

(науковий ступінь, вчене звання)

АНОТАЦІЯ

Гетманенко В.О. Удосконалення процесу сепарації зернового вороху на зерноочисній машині. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

Робота присвячена проблемі удосконалення процесу сепарації зернового вороху на зерноочисній машині. В роботі проведений аналіз сучасних повітряних сепараторів та наведені етапи їх розвитку. Теоретично обґрунтовано процес аспірації зернової машини та наведена математична модель даного процесу.

Нові технічні рішення установки повітряно-решітної зерноочисної машини знизить опір каналу післярешітного повітряного очищення, збільшить рівномірність розподілу зернового вороху по глибині пневмоканалу і підвищить продуктивність зерноочисної машини та 21% при рівномірній повноті виділення.

Ключові слова: сепарація, зерновий ворох, зерноочисна машина, удосконалення.

ABSTRACT

Hetmanenko V.O. Improvement of the process of grain heap separation on a grain cleaning machine. Qualification for the advanced master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2023.

The work is devoted to the problem of improving the process of grain heap separation on a grain cleaning machine. The paper analyzes modern air separators and shows the stages of their development. The aspiration process of the grain machine is theoretically substantiated and the mathematical model of this process is given.

New technical solutions for the installation of an air-sieve grain cleaning machine will reduce the resistance of the post-sieve air cleaning channel, increase the uniformity of the distribution of the grain heap along the depth of the pneumatic channel, and increase the productivity of the grain cleaning machine by 21% with uniform completeness of selection.

Key words: separation, grain pile, grain cleaning machine, improvement.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПОВІТРЯНИХ СЕПАРАТОРІВ ТА ЕПАТИ ЇХ РОЗВИТКУ	6
1.1. Аналіз сучасних машин для обробки зерна	6
1.2. Удосконалення повітряної очистки зерноочисних машин	16
1.3. Висновки по розділу 1	19
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ АСПРАЦІЇ ЗЕРНОВОЇ МАШИНИ	20
2.1. Математична модель процесу очищення зернового матеріалу	20
2.2. Теоретичні дослідження підвищення рівномірності розподілу зернового вороху в каналі після решітного очищення	23
2.3. Висновки по розділу 2	25
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ УСТАНОВКИ ПОВІТРЯНО-РЕШІТНОЇ ЗЕРНООЧИСНОЇ МАШИНИ	26
3.1. Опис конструкції установки	26
3.2. Методика визначення параметрів зернового вороху в пневмоканалі зерноочисної машини	29
3.3. Розподіл зернового вороху у вертикального каналу пневмосистеми	31
3.4. Вплив подачі зернового вороху на опір пневмосистеми	33
3.5. Методика визначення інтенсивності просіювання компонентів зернової суміші	34
3.6. Висновки по розділу 3	35
ВИСНОВКИ	36
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	37

ВСТУП

Зернове господарство є основною галуззю агропромислового комплексу України. Вирощування зерна є важливою сферою сільськогосподарського виробництва, так як від нього залежить степінь забезпечення населення продуктами харчування, рівень розвитку кормової бази для тваринництва і сировинної бази для ряду галузей промисловості. Вирішення зернової проблеми в країні залежить від досконалості технологій і машин, що забезпечують збирання і післязбиральну обробку врожаю з мінімальними втратами повноцінного зерна і його травмуванням при найменших затратах праці та засобів виробництва.

В даний час одним із головних завдань агропромислового комплексу залишається збільшення виробництва сільськогосподарських культур.

Основною умовою отримання високого валового збору врожаю є своєчасна та якісна післязбиральна обробка зерна.

Нині основу післязбиральної обробки зерна складають двохаспіраційні повітряно-решітні зерноочисні машини, які набули широкого поширення через свою універсальність. Такі сепаратори можуть застосовуватись як для попереднього очищення зерна, так і для основного. Їх використовують для підготовки як товарного зерно, і насінневого матеріалу за певними умовами.

Сучасні повітряно-решітні сепаратори мають два канали аспірації. В першому канал аспірації відбувається попереднє очищення вороху від найбільш легких домішок, сприяючи подальшій роботі решітного стану.

Підвищення ефективності роботи каналів аспірації можливе шляхом більш рівномірного розподілу очищувального матеріалу по площі перетину аспіраційного каналу, ніж в існуючих зерноочисних машинах. У зв'язку з цим, наведене теоретичне обґрунтування способу розробки введення зернової суміші в аспіраційний канал є досить актуальною задачею вдосконалення зерноочисних машин.

Мета роботи: підвищити ефекти роботи повітряного очищення аспіраційних зерноочисних машин за рахунок більш рівномірного завантаження каналу аспірації та проходження зернового матеріалу через решета.

Задачі дослідження:

- Виявити шляхи покращення рівномірності завантаження вертикального пневмосепарувального каналу при подачі зернового вороху;
- Теоретично визначити раціональні параметри процесу введення зернового вороху в канал аспірації;

- Розробити пристрій для введення зернового матеріалу в канал аспірації.

Об'єкт дослідження: Процес пневмосепарації зернового вороху у вертикальному пневмоканалі аспірації та решетах зерноочисної машини.

Предмет дослідження: Закономірності роботи каналу другої сепарації повітряно-решітної зерноочисної машини.

Методологія і методи дослідження. Проблеми вирішувались за допомогою методів теоретичного дослідження з використанням класичної методики із застосуванням математичного моделювання і статистики, а також сучасних приладів та техніки.

Публікації:

Гетманенко В.О. Математична модель процесу очищення зернового матеріалу. Матеріали VII міжнародної науково-практичної конференції «Біоенергетичні системи». 15-17 листопада 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С.116-118.

Гетманенко В.О. Удосконалення процесу повітряного очищення зерноочисних машин. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених «Інженерні процеси та системи». 14-15 червня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. с.124-127.

Гетманенко В.О. Аналіз сучасних технологічних систем післязбиральної обробки зерна. Студентські читання–2023: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 25 жовтня 2023 р. Житомир: Поліський національний університет, 2023. С. 212-215.

Обсяг та структура роботи. Робота складається із вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на 38 сторінках машинописного тексту, містить 2 таблиці, 16 рисунків, списку використаних джерел з 16 найменування.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПОВІТРЯНИХ СЕПАРАТОРІВ ТА ЕТАПІ ЇХ РОЗВИТКУ

1.1. Аналіз сучасних машин для обробки зерна

Зерновий ворох, що надходить з полів на післязбиральну обробку, складається з повноцінного, пошкодженого зерна основної культури, насіння інших культурних та бур'янів, органічних та мінеральних домішок. При післязбиральній обробці зерновий матеріал очищається від різних домішок і сушиться до кондиційної вологості.

За способом поділу компонентів зернового матеріалу машини поділяють на пневмосепаратори, повітряно-решітні, трієри, магнітні, пневмостоли, відбивні столи, фотосепаратори та ін.

За призначенням машини розрізняють для попереднього, первинного та вторинного очищення зерна, універсальні та спеціальні машини для очищення насіння від важких домішок.

До теперішнього часу як у нашій країні, так і за кордоном розроблена велика кількість зерноочисної техніки, призначеної для певних етапів очищення та використовуються різні фізико-механічні властивості компонентів зернового матеріалу.

Головними завданнями удосконалення зерноочисних машин є забезпечення необхідної продуктивності, підвищення якості очищення зерна та насіння, зниження енерго- та металоємності при дотриманні санітарно-гігієнічних вимог.

Зерноочисні машини, які застосовуються в сучасних агрегатах для післязбиральної обробки зернового вороху, відрізняються компоновкою і складом системи повітряної очистки. Пневмосистеми сучасних зерноочисних машин можна класифікувати за кількома ознакам.

Основним відмінним способом руху повітряного потоку, який може бути замкнутим, розімкнутим і комбінованим. У замкнутих пневмосистемах повітря, циркулюючи, багаторазово використовується для виділення домішок із зернової суміші. Такий спосіб руху робочого тіла обумовлює економію витрат енергії на створення рухомих повітряних мас, але тим не менш застосування замкнутих аспіраційних систем має свої недоліки.

Одним із таких недоліків є те, що в повітрі, що неодноразово контактує з біологічним середовищем зернового вороху, накопичуються мікроорганізми, від яких неможливо звільнити повітря в механічних очисних пристроях. Такі мікроби можуть переносити із зараженого зерна на наступні

здорові зерна, тим самим знизивши товарні та посівні якості матеріалу. Так само для забезпечення роботоздатності пневмосепаруючої системи таким чином необхідною умовою є наявність очищення забрудненого повітря та герметизуючі затвори на вході та виході оброблюваного матеріалу. Це в свою чергу в цілому ускладнює конструкцію і призводить до підвищеної вартості сепаратора. Аспіраційна система замкнутого типу використовується в машинах, які входять в склад перероблюючих комплексів (ЗАВ, КЗС).

В аспіраційних системах із замкнутим типом руху робочого тіла повітря, що однократно діє на сипучий матеріал, далі виділяється в атмосферу. Для роботи таких пневмосистем немає необхідності герметизувати вивідний матеріал. У даних пристроях процес виділення домішок забезпечується краще, ніж у пристроях замкнутого типу за рахунок використання чистого повітря з атмосфери.

До недоліків пневмосистем розімкнутого типу можна віднести те, що при роботі таких пристроїв створюють достатньо великий повітрообмін, що в свою чергу вимагає наявності приточної вентиляції в приміщенні. Ще одним недоліком є те, що після обробки зерна забруднене повітря викидається в навколишнє середовище, і для забезпечення екологічної безпеки необхідно застосовувати очисні пристрої.

Також важливим параметром у роботі пневмосистеми є спосіб організації переміщення повітряних мас у пневмоканалах. За способом організації руху повітря в аспіраційних системах зерноочисних машин вони класифікуються на всмоктуючі, нагнітальні і суміщені.

Найбільше поширення у багатьох повітряних очисниках отримали пневмосистеми з всмоктуючим повітряним потоком, такі як МПУ-70, ОЗФ-50/80 та ін. Широке застосування такої системи передбачає більш високу щільність сепарації за рахунок більш рівномірного за структурою повітряного потоку в порівнянні з іншими.

Фракційний очищувач зерна ОЗФ-80/40/20 забезпечує продуктивність 80, 40 та 20 т/год при попередньому, первинному та вторинному очищенні [1-3]. Складається з двох решітних станів 1 та 2 (рис. 1.1) та повітряної системи. Загальна площа решета складає 17 м². Очищення решіт проводиться гумовими кульками. При первинному та вторинному очищенні зерна у верхньому ярусі послідовно встановлюють касети з сортувальними решетами Г1, Г2 та колосовим решетом Б, у нижньому ярусі послідовно встановлюють касети з підсівними решетами В1 В2 та сортувальним решетом Г3. При попередньому очищенні зерна у верхньому ярусі розташовують тільки колосові грати Б, у нижньому ярусі – тільки підсівні решети В. Повітряна система складається з двох вертикальних пневмосепаруючих каналів (ПСК) 3

і 4 і третього вертикального ПСК 15, що очищає матеріал після решіт, двох осадових камер 9, 12 і розташованого у них діаметрального вентилятора 11. Між каналами 3 і 4 розміщено приймально-живильний пристрій 7 і дільник потоку 5 матеріалу.

Швидкість повітря в пневмосепарувальному каналі 15 регулюється зміною частоти обертання колеса вентилятора за допомогою частотного перетворювача, а в каналах 3 та 4 додатково заслінками 6 та 8.

Установка двох сортувальних решіт Г1 та Г2 на початку верхнього ярусу збільшує продуктивність машини, а спільно з підсівними решетами В1, В2 на початку і в кінці нижнього ярусу решіт дозволяє виділити фуражну фракцію.

До недоліків машини слід віднести потребу додаткового обладнання для очищення відпрацьованого повітря, що пов'язано з великими матеріальними та енергетичними витратами, а також перевантаженість колосового решета Б і сортувального Г3 при високих питомих подачах.

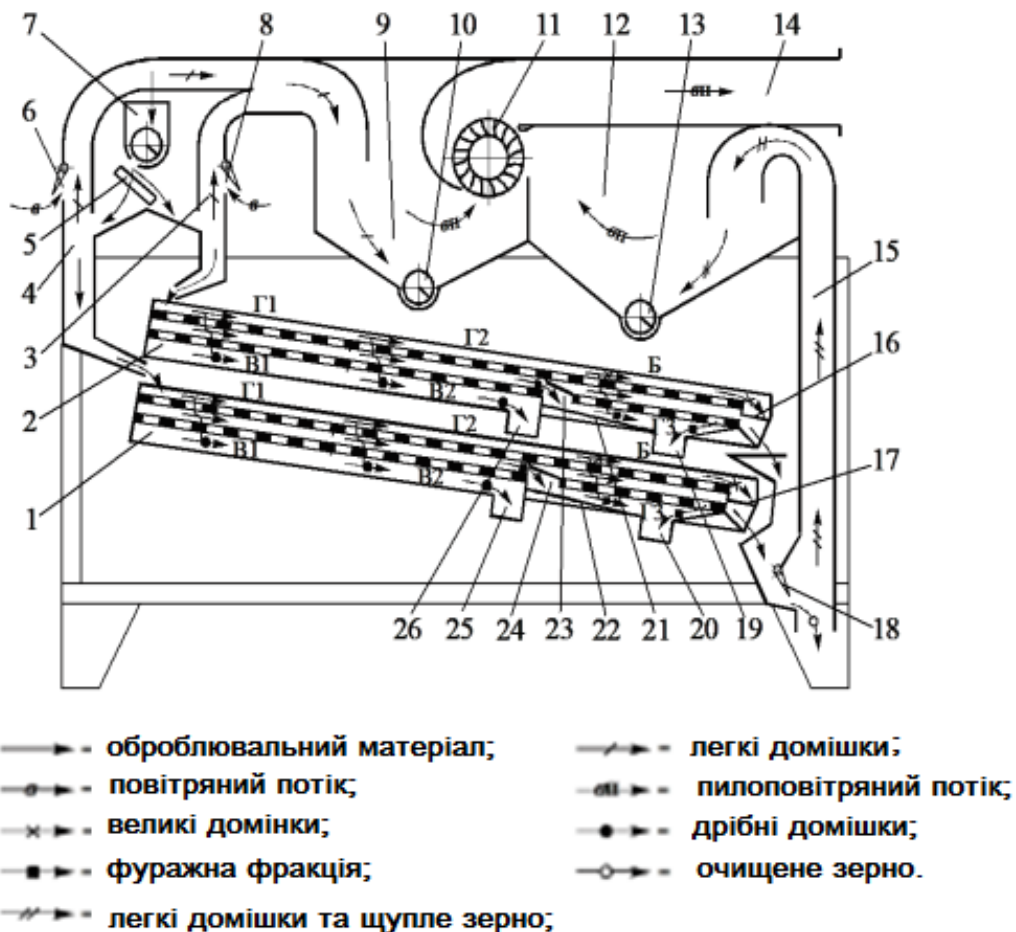


Рисунок 1.1. Технологічна схема очищувача зерна фракційного ОЗФ-80/40/20: 1, 2 – нижній та верхній решітні стани; 3, 4, 15 - ПСК; 5 – дільник; 6, 8 – регулювальні заслінки; 7 – приймально-живильний пристрій; 9, 12 – осадові камери; 10, 13 – пристрої виведення фракцій; 11 – діаметральний вентилятор; 14 – вихідний патрубок; 16, 17, 19, 20, 25, 26 – приймачі фракцій; 18 – клапан; 21, 22 – піддони; 23, 24 – розвантажувальні канали

Системи з нагнітальним повітряним потоком знайшли менше застосування в зерноочистці. Недоліком таких пристроїв є створення побутового тиску в пневмосистемі сепаратора, що призводить до викиду пилу в навколишнє середовище. При роботі нагнітального повітряного потоку також характерна нерівномірність швидкості повітряних мас у каналі, це обумовлює викиди якісних зерен оброблюваного матеріалу у фуражі.

Для створення повітряного потоку в пневмосистемі зерноочисних машин, а також централізованих повітророзподільних системах застосовуються вентилятори різних типів. «За конструкцією вони поділяються на відцентрові, діаметральні та осьові». [1-2] «Найбільш широке використання в зерноочисних машинах отримали пристрої відцентрового і діаметрального типів, на відміну від осьових вентиляторів». [3]

«Основним недоліком вентиляторів осьового типу є сходження повітря в паралельному напрямку осі лопатки, через що повітряний потік не має основного напрямку. До того ж, тиск, створений такими вентиляторами, не досить високий для забезпечення якісної пневмосепарації. Але слід зазначити, що пристрої такого типу мають високу продуктивність, за рахунок чого знайшли широке застосування у вентиляційних системах». [3, 4]

Діаметральні вентилятори активно застосовуються на зерноочисних машинах вітчизняного та зарубіжного виробництва для поділу сипучого матеріалу повітряним потоком. Незважаючи на те, що такі вентилятори забезпечують рівномірний потік повітря по всій ширині вентилятора, застосування їх для створення потоку всмоктуючого в пневмосепаруючих каналах повітряно-решітних машин з великою продуктивністю не раціонально.

«У пневмосистемах повітряно-решітних машин великої продуктивності зарубіжного виробництва активно використовуються відцентрові вентилятори через досить високий коефіцієнт корисної дії, що важливо для процесу пневмосепарації. Радіальні вентилятори, незважаючи на більш високі енерговитрати в порівнянні з діаметральними, відрізняються кращою пристосованістю до частотного регулювання та можливістю створення більш високого тиску всмоктування». [5-7]

Аспіраційні системи зерноочисних машин можна класифікувати за кількістю пневмосепаруючих каналів в аспіраційній системі. Вони поділяються на пневмосистеми з одним, двома та більше пневмоканалами.

Повітряно-решітні зерноочисні машини з одним пневмосепаруючим каналом в основному використовують для попереднього та первинного очищення комбайнового зернового вороху. Більшість сепараторів, які застосовуються при первинному очищенні, часто мають похилі

пневмосепаруючі канали, рідше вертикальні. Наприклад, зерноочисні машини СВТ-40/30, ЗВС-20А та МОЗ-50.

«Два та більше аспіраційних канали мають пневмосистеми повітряно-решітних зерноочисних машин, які застосовують для вторинної та кінцевої обробки зернового вороху». [8] Наявність двох повітряних очищень – дорешітної та післярешітної дозволяє забезпечити необхідну якість кінцевого продукту. «Система післярешітної аспірації дозволяє довіділити легкі домішки з оброблюваного вороху, які не виділилися в до решітному очищенні, а також відокремлювати частину фуражної фракції, яка не відсортувалась на решітних станах». [9]

У більшості двохаспіраційних зерноочисних машин друга аспірація виконана у вигляді вертикального пневмосепаруючого каналу. Зерно, що пройшло очищення на решітних станах машини, збирається в один потік і подається в канал після решітної сепарації самопливом під дією сили тяжіння. Висхідний повітряний потік, проходячи через зернову масу, виносить із неї легкі домішки.

«У зерноочисних машинах серії МВУ-1500 аспіраційна система включає пневмосепаруючі канали дорешітної і післярешітної повітряних очищень. Машини серії МВР мають два аспіраційних канали та дві осадкові камери, для першої та другий аспірації окремо». [10-11]

Перша аспірація в даній машині (рис. 1.2) має похилий пневмоканал, завантаження якого здійснюється за допомогою живильного валика.

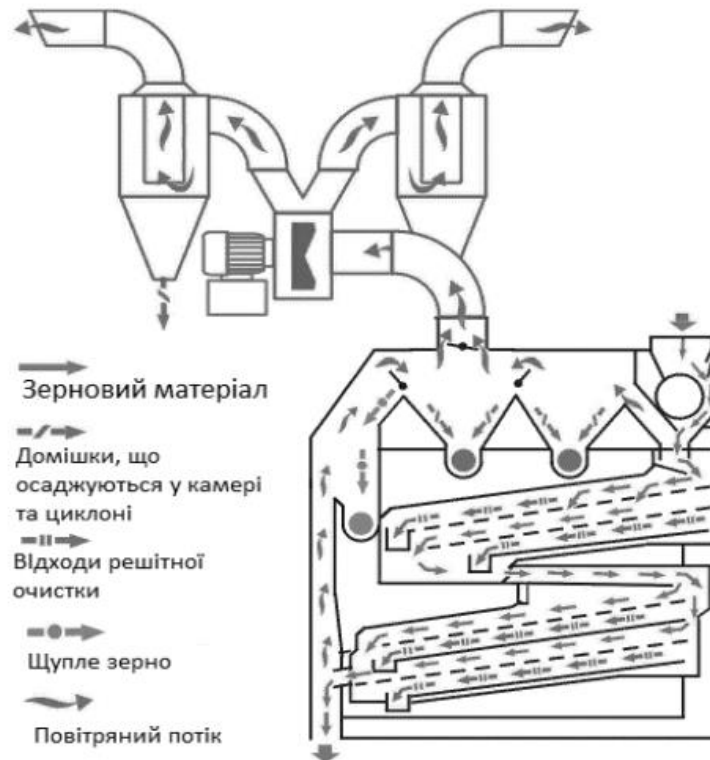


Рисунок 1.2. Технологічний процес роботи машини МВУ-1500.

Осадові камери зерноочисної машини оснащені шнеками для відведення винесених домішок і мають загальну стінку, в якій розташований клапан регулювання швидкості повітряного потоку в каналі дорешітного повітряного очищення. У верхній частині осадової камери післярешітної пневмосепарації встановлений клапан регулювання швидкості повітряного потоку у всій аспіраційній системі.

«Система післярешітної аспірації на машинах серії MBR – 1500 виконана у вигляді вертикального пневмоканалу прямокутної форми. У верхній частині пневмоканал другої аспірації має розширення виділення фуражних домішок, які згодом виводяться шнеком. На введенні в осадову камеру в пневмоканалі післярешітного очищення встановлено регулювальний клапан, який служить для точного коригування швидкості повітря в каналі». [12]

Насінневий матеріал, що проходить обробку подають у приймальну камеру, де зерно розповсюджується по ширині і прокидається в зазор між клапаном 4 і живильним валиком 3, далі проходить по похилих поверхнях та направляються на решітний стан. По дорозі в каналі 2 першої аспірації через зерновий матеріал проходить повітряний потік, де видуваються легкі домішки. Дані домішки потрапляють у першу осадову камеру де осідають та шнеком 5 виводяться на зовню з машини.

Пройшовши очищення на решітному стані, насіння направляється через регульовану щілину в канал другої аспірації по похилій площині, де висхідним повітряним потоком виділяються біологічно неповноцінне зерно і легкі домішки, що залишилися. У верхній розширювальній частині каналу зерно осідає і шнеком виводиться у фураж, а легкі домішки виносяться в камеру осаду, звідки також виводяться шнеком.

Для грубого очищення зернового вороху компанія «Buhler» (Німеччина) виробляє високопродуктивні барабанні скельператори серій MKZM та RCDA продуктивністю від 100 до 800 т/год. Головний недолік даних машин – це відсутність робочих органів для виділення легких та дрібних домішок.

Фірми «Denis» (Франція) та «BuhlerSchmidt-Seeger» (Швейцарія) випускають барабанні сепаратори CR та SDS продуктивністю від 5 до 250 т/год. для очищення зернового матеріалу повітряним потоком від легких домішок перед надходженням їх у барабан. Кількість секцій циліндричних решіт та їх діаметр можна змінювати залежно від номінальної продуктивності.

Зерновий матеріал за один пропуск через сепаратор можна розділити за розмірами та декількома фракціями. Основний недолік даних сепараторів полягає в тому, що площа решіт використовується не більше ніж на 50%. У

зв'язку з цим при рівній якості очищення та продуктивності збільшуються габаритні розміри машин.

Фірмою «Petkus» (Німеччина) створено повітряно-решітний сепаратор К-560А [11] з повітряною системою замкнутого типу із вбудованим радіальним вентилятором. Частина найбільш запиленого повітря витяжним вентилятором відсмоктується та очищається у двох циклонах. Повітряна система ділить зерновий матеріал на важку, фуражну та легку фракції. Важка фракція обробляється на решетах, де виділяються великі та дрібні домішки, а очищений матеріал сортується на фракції великого та дрібного зерна. Фуражна фракція виводиться з повітряної системи назовні та потребує додаткової обробки. Переваги машини К-560А порівняно з іншими машинами полягають у зменшенні об'єму відпрацьованого повітря, що очищається, і зниження пов'язаних із цим витрат енергії.

Фірмою «Happle» (Німеччина) розроблено серію універсальних повітряно-решітних зерноочисних машин продуктивністю від 40 до 150 т/год [7]. Машина АКН-200 має повітряну систему замкнутого типу, яка містить вбудований радіальний вентилятор, пневмосепаруючу та осадову камери, циклон, приймальний бункер з живильним валиком. Особливістю технологічного процесу машини є поділ зернового матеріалу повітряним потоком на важку, середню і легку фракції, які потім очищаються від великих домішок на відповідних секціях верхнього решета дрібних домішок на чотирьох ярусах підсівних решіт, а з легкої фракції на додатковому підсівному решеті виділяється щупле зерно.

Таким чином, усі фракції доводяться до цільового призначення за один прохід через машину. Замкнена повітряна система знижує забруднення довкілля. Недоліком машини є складність налаштування повітряної системи на робочий режим.

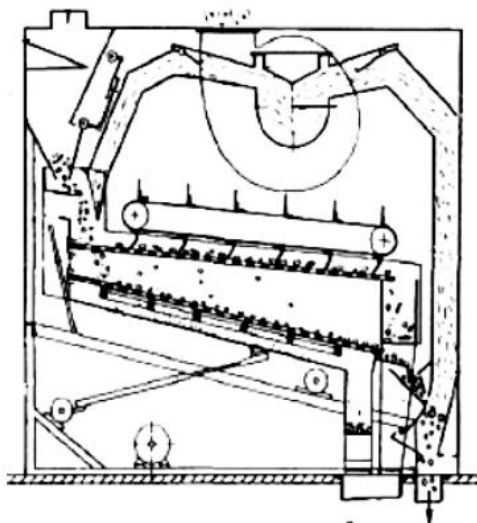


Рисунок 1.3. Сепаратор К-523Б фірми «Petkus»

Машина попереднього очищення К-523Б фірми «Petkus» (рис. 1.3) (Німеччина) містить двоярусний решітний стан, повітряну систему, що включає два пневмосепарувальні канали, радіальний вентилятор та циклон [7]. Верхній ярус решіт очищається скребковим транспортером, нижній – щітками. Суттєвий недолік машин є висока динамічна неврівноваженість, що виникає від роботи решітного стану.

Заслуговує на розгляд універсальна зерноочисна машина СВУ-60. Сепаратор СВУ-60 має продуктивність 60, 40, і 20 т/год відповідно при попередньому, первинному та вторинному очищенню зернового матеріалу. Містить дві повітряні системи та решітну частину (рис. 1.4). Перша повітряна система замкнутого типу, очищає зерновий матеріал від пилу та легких домішок до решіт. Друга повітряна система розімкнутого типу, очищає матеріал після решіт. Повітряні системи з'єднані між собою рециркуляційним каналом 8, по якому до 10% об'єму повітря відсмоктується із першої системи в другу. Повітряний потік створюється високоефективним діаметральним вентилятором 7 і 11 [8].

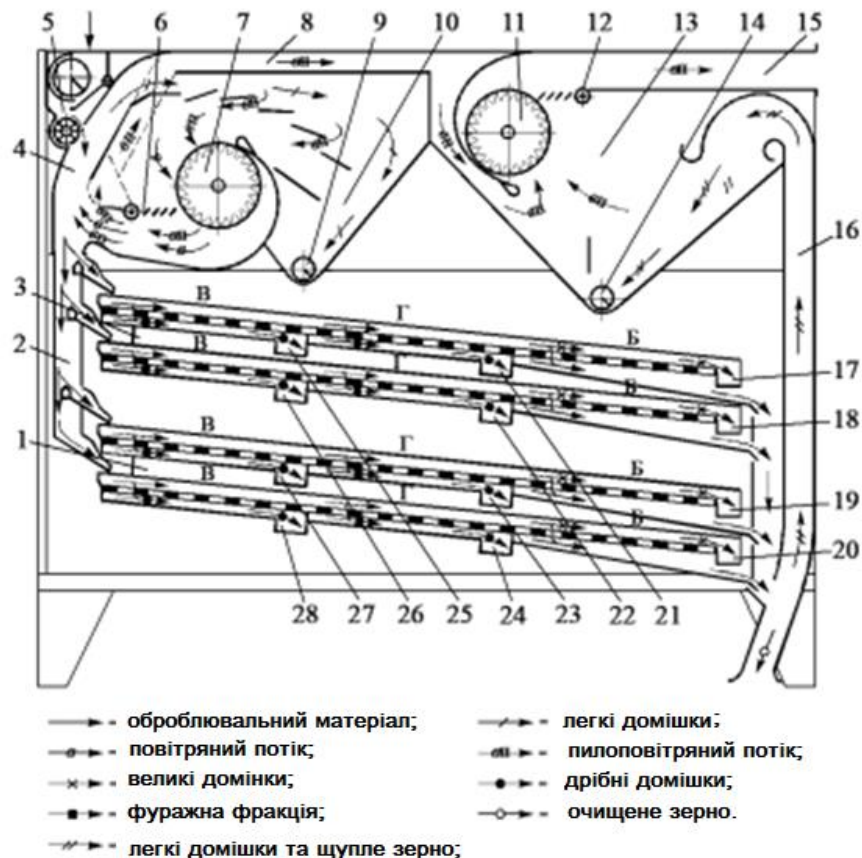


Рисунок. 1.4. Технологічна схема універсального сепаратора вороху СВУ-60: 1, 3 – нижній та верхній решітні стани; 2 – розподільний пристрій; 4, 16 – пневмосепаруючий канал; 5 – приймально-живильне пристрій; 6, 12 – пристрої для регулювання швидкості повітря; 7, 11 – діаметральні вентилятори; 8 – рециркуляційний канал; 9, 14 – пристрої виведення фракцій;

10, 13 – осадові камери; 15 – вихлопний патрубок; 17...28 – приймачі фракцій

Швидкість повітря в пневмосепаруючому каналі регулюється поворотом жалюзі пристроїв 6 та 12, розташованих на стінці вентилятора. Поперечний розмір першого пневмосепаруючого каналу становить 0,15 1,4 м², другого ПСК - 0,14 1,4 м². Відпрацьоване повітря видаляється з машини в систему аспірації технологічної лінії.

Приймально-живильний пристрій містить розрівнюючий шнек 5 і живильний валик із верхньою подачею. Решітна частина складається з розподільного пристрою 2 та чотирьох однакових ярусів решіт, з'єднаних попарно в два решітних стани 1 і 3. Очищення решіт здійснюється гумовими кульками. У ярусах послідовно встановлені підсівне В, сортувальне Г і колосове Б решета загальною площею 17 м². Дрібні домішки виводяться з машини через приймальники 25, 26, 27, 28, дрібне та щупле фуражне зерно – через приймальники 21, 22, 23, 24, великі домішки через приймальники 17, 18, 19, 20. Очищене зерно з усіх ярусів решіт одним потоком надходить до другого пневмосепарувального каналу 16, де додатково очищається від легких домішок, щуплого та подрібненого зерна.

Застосування двох повітряних систем з окремими діаметральними вентиляторами забезпечує практично незалежну їхню роботу та швидке налаштування на технологічний режим. Однак застосування двох вентиляторів та наявність рециркуляційного каналу ускладнює конструкцію і протяжність повітряної системи та збільшує питомі витрати енергії на процес очищення зерна. Послідовне розташування підсівного, сортувального та колосового решіт в одному ярусі дозволяє збільшити їх загальну площу, але погіршує умови просіювання дрібних домішок та щуплого зерна через більш товстий шар матеріалу при високому зерновому навантаженні.

Аспіраційна система машини МПУ-70 (рис. 1.5) включає в себе пневмосепаруючі канали дорешітного та післярешітного очищення та осадову камеру. Перша аспірація утворена похилими перегородками в нижній частині приймальної камери та служить для очищення зернового вороху від легких домішок.

Осадова камера виготовлена з рами металевго корпуса, у верхній частині якої розміщено пристрій регулювання швидкості повітряного потоку. В середині осадової камери з боку приймальної камери встановлено перегородку із заслінкою для зміни швидкості повітря в пневмоканалі першої аспірації. Нижня частина камери зроблена у вигляді піраміди з метою приєднання шнека для виводу відходів.

Канали другої аспірації на МПУ розміщені вертикально і на введені в осадову камеру мають регульовальні заслінки для можливості зміни швидкості повітряного потоку в них.

Післярешітне повітряне очищення призначене для до виділення легких домішок, які не були видалені з першої аспірації, і для видалення частини неповноцінного зерна.

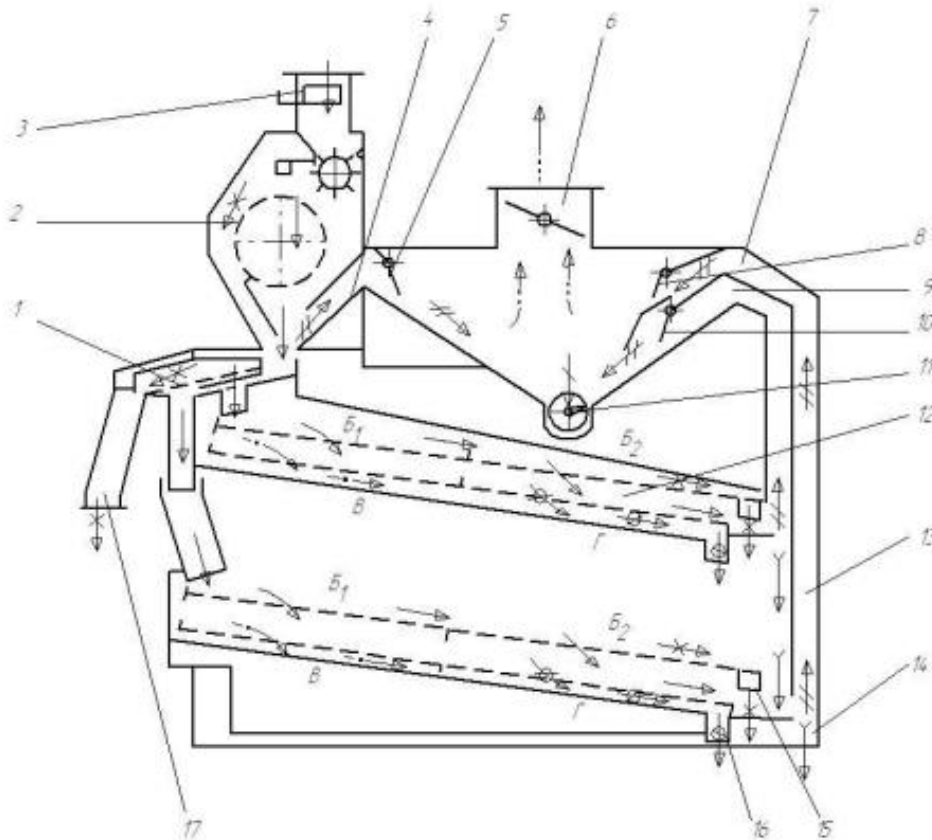


Рисунок. 1.5 – Технологічна схема машини МПУ-70: 1 – решето видалення великих домішок; 2 – скальператор; 3 – приймальний бункер; 4 – канал першої аспірації; 7, 9 – канали другої аспірації; 5, 8, 10 – заслінки; 6 – пристрій для регулювання швидкості повітря; 11 – шнек; 12 – верхній стан; 13 – нижній стан; 14 – вихід очищеного зерна; 15, 18 – лотки для виведення великих домішок; 16 – лоток для основної фракції; 17 – лоток для дрібних домішок

При проведенні аналізу технології післязбирального очищення зерна і зерноочисних машин слід відмітити, що тенденція розвитку зерноочистки зводиться до зниження механічних впливів на матеріал і зменшення затрат на виробництво кінцевого матеріалу. Все це призводить до необхідності скорочення кількості машин в лінії післязбиральної обробки зернового вороху.

Зниження кількості механічних впливів при обробці матеріалу, що надходить забезпечує фракційна технологія післязбиральної обробки зерна.

1.2. Удосконалення повітряної очистки зерноочисних машин

«В більшості випадків сепарація зернового вороху на повітряно-решітному сепараторі є останнім етапом післязбиральної обробки, після якого готовий зерновий матеріал надходить на зберігання або реалізацію». [14] Сучасні повітряно-решітні машини мають дві аспірації, перша здійснює попереднє очищення вороху від найбільш легких та великих домішок (лушпиння, листя, солома тощо) при завантаженні оброблюваного матеріалу в машину. Тим самим «полегшуючи подальшу сепарацію зернової суміші на решітних станах та в каналі післярешітної пневмосепарації». [13-15] У свою чергу, обробка зернова в каналі другої аспірації є завершальною операцією обробки на повітряно-решітному сепараторі, після якої зерно повинне відповідати вимогам, що ставляться до зерна товарного призначення та спрямовуються на подальше зберігання.

Зерновий ворох при подачі в канал післярешітної аспірації рівномірно розподіляється по ширині на решітному стані. Пристрій, що подає зерновий ворох на другу аспірацію, може забезпечити рівномірність завантаження пневмоканалу по глибині з урахуванням робочих швидкостей повітряного потоку та опору, що створюється оброблювальним матеріалом. «Технічні рішення живильних пристроїв основної аспірації не мають загальноприйнятої конструкції, на відміну від живильних каналів до решітної аспірації». [14]

Після решітна аспірація зерноочисних машин виробництва компаній DELTA і Petkus (рис. 1.6) має здвоєний пневмоканал, перша частина якого має розширення. Зерновий матеріал з сортувальних решіт сходиться в загальний потік на нижньому решеті і переміщається по сітці, яка виконана в продовженні нижньої сортувальної або підсівної решітки.

Підканальна поверхня є дрібною металевою сіткою, яка кріпиться в кінці решітного стану і здійснює поступальні коливання разом з ним. При введенні канал на його стінках встановлені герметизуючі заслінки.

При розробці сучасних зерноочисних машин вченими були запропоновані різні конструкції пневмосепарувального каналу, розроблені Тарасенком А.П., Сичуговим М.П., Жолобовим М.В. та ін.

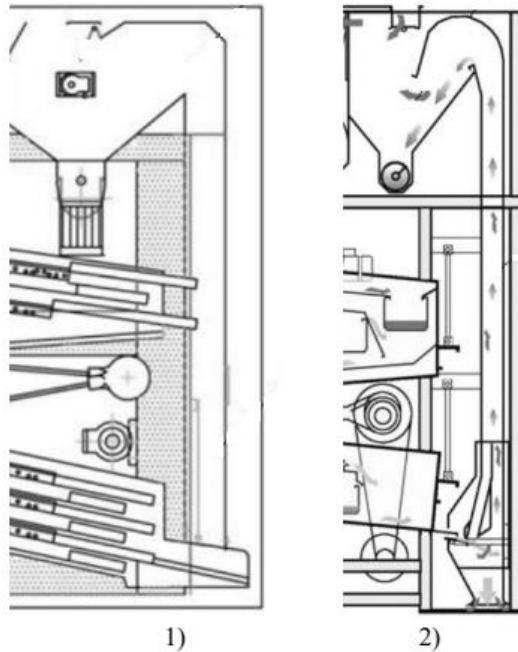


Рисунок 1.6. Системи післярешітної пневмосепарації: 1) машини DELTA 146; 2) машин PETKUS U12/U15

«Сичуговим М.П. [15-16] представлена конструкція пневмосепаруючого каналу (рис. 1.7), підвищення ефективності очищення якого зумовлено наступним».

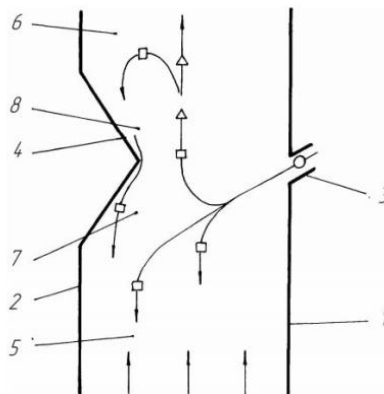


Рисунок 1.7. Загальний вигляд пневмосепаруючого каналу: 1 – внутрішня стінка; 2 – зовнішня стінка; 3 – завантажувальний пристрій; 4 – звуження робочої зони; 5,6,7,8 – площини поперечного перерізу каналу

У конфузорній зоні 7 каналу повітряний потік має високу рівномірність та підвищену швидкість, завдяки чому зростає повнота виділення легких домішок. Повноцінні зерна, незначна частина яких винесена повітряним потоком разом з легкими домішками, відокремлюються від легких домішок зонах 6 і 8 при малій концентрації суміші в повітрі, завдяки чому проходить більш чіткий поділ і знижуються втрати повноцінного зерна у відходи з легкими домішками.

В якості недоліків даної конструкції можна відмітити, що в зонах 7 та 8 швидкість повітряного потоку буде вищою, ніж у зонах 1 і 2.

Оптимальна характеристика повітряного потоку не забезпечить поділ сипучого матеріалу по всій довжині каналу, а зерновий матеріал додатково травмуватиметься.

Запропонована конструкція (рис. 1.8) пневмосепаруючого каналу Тарасенком А.П. [17], який працює наступним чином: вихідний зерновий матеріал через вікно 2 подається у вертикальний пневмосепаруючий канал 1 живильним пристроєм 4, де повітряним потоком виділяються легкі домішки та віддаляються у відходи.

Середня фракція і частина зерна та легких домішок, що рухаються параболічними траєкторіями, близько розташованих до стінок, що протилежні живильнику 4, надходять у камеру 6 і за його похилою площиною 8 направляються на повторне очищення в пневмосепарувальний канал 1. Очищений матеріал від легких домішок під дією сили тяжіння виводиться через нижній переріз пневмосепаруючого каналу 1 назовні.

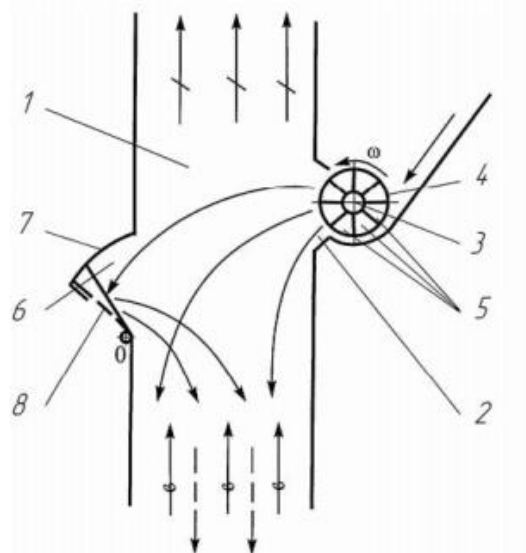


Рисунок 1.8 – Загальний вигляд пневмосепаруючого каналу: 1 – вертикальний пневмосепарувальний канал; 2 – поперечне вікно; 3 – вал живильника; 4 – живильник; 5 – зовнішня циліндрична поверхня; 6 – робоча камера; 7 – верхня стінка робочої камери; 8 – похила поверхня.

Переваги запропонованого винаходу є підвищення якості сортування зернового вороху та зниження втрат повноцінного зерна. Однак, використання робочої камери даної форми при великих подачах призведе до того, що матеріал заповнить робочу камеру 6, а потім рухатиметься по стінці пневмосепаруючого каналу 1. Це може призвести до додаткових втрат зерна.

Багато вчених вже десятиліттями вивчають процес пневмосепарації у вертикальному повітряному потоці та шукають шляхи вдосконалення конструкцій такого типу каналів з метою підвищення ефективності робочого процесу.

За даними досліджень деяких вчених (П.М. Платонов, А. І. Папченко, А.С. Матвеев, С.С. Шкляров), частинки, введені в канал, мають початкову швидкість, близьку до нуля а їх траєкторії представляють собою прямі лінії, що направлені вгору або вниз із точки початкового розміщення. Такі вчені, як О. Я. Маліс, В. В. Гортинський, А. Б. Демський та ін. досліджували подачу зернового вороху в канал аспірації з живильних пристроїв. За їх даними зерно, що подається в канал має початкову швидкість, що характеризується величиною і напрямом.

1.3. Висновки по розділу 1

При проведенні аналізу було виявлено, що підвищення ефективності роботи системи післярешітної пневмосепарації двохаспіраційної зерноочисної машини є актуальним напрямом удосконалення машин для післязбиральної обробки зернових та зернобобових культур.

Здійснивши огляд зерноочисних машин та робіт з пневмосепарації нами було отримано наступні висновки:

- застосування сучасних універсальних повітряно-решітних сепараторів дозволяє знизити кількість машин у зерноочищенні та отримати як товарне та і насіннєве зерно;

- розвиток післярешітного повітряного очищення зводиться до вдосконалення подачі оброблюваного вороху до зони пневмосепарації.

РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ АСПІРАЦІЇ ЗЕРНОВОЇ МАШИНИ

2.1. Математична модель процесу очищення зернового матеріалу

Математичний опис процесу взаємодії повітряного потоку із зерною сумішшю базується на законах класичної механіки з великою кількістю припущень. Такий підхід вимагає великої кількості чисельних розрахунків та часу, що найчастіше призводить до неточних результатів.

Приймаючи відомості теорії з пневмосепарації у вихідному повітряному потоці [10, 14], для математичного моделювання вивели систему диференціальних рівнянь 2.1, що описують траєкторію польоту частки зернового вороху в зоні пневмосепарації.

$$\begin{cases} \ddot{x} = -k\dot{x}\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \\ \ddot{y} = -k\dot{y}\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} - g + kV^2 \end{cases} \quad (2.1)$$

де x і y – переміщення частинок по вісям координат, м; k – коефіцієнт парусності частинки, m^{-1} ; V – швидкість зернівки у повітряному потоці, м/с.

Залежно від початкової швидкості траєкторії руху частинок в аспіраційному каналі може бути двох типів. Перший тип руху – є звичайна траєкторія руху тіла у полі сили тяжіння. Другий – рух із відображенням від дальньої стінки каналу.

З метою розв'язання рівняння залежності $y(t)$ вирішується завдання, з якого розраховується тривалість польоту T при $y(t) = y_n$, де y_n – вертикальна координата нижньої частини аспіраційного каналу. Далі дане значення підставляється для знаходження рівняння залежності $x(T)$. Коли ж $x(T)$ при розрахунку становить більше значення горизонтальної точки задньої частини каналу x_k , вирішується рівняння $x(t) = x_k$, з якого визначається тривалість польоту T_1 до задньої стінки каналу.

Траєкторія руху зернівки показана на рис. 2.1.

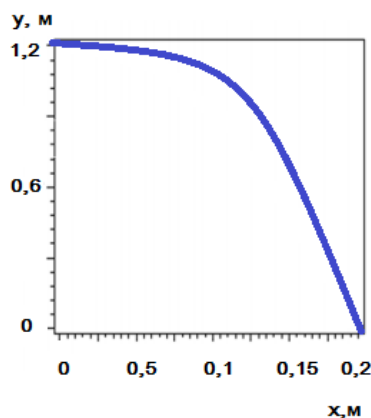


Рисунок 2.1. – Траєкторія руху частинки у повітряному каналі

«Моделюючи пневмосепарацію зернового матеріалу у вихідному повітряному потоці було взято за основу процес подачі оброблюваного матеріалу на похилу коливальну площину». [10]

Розглянемо рух зерна на сепаруючому решеті, що описується рівнянням $z = r \sin \varphi t$, розміщеному під кутом α до горизонту (рис. 2.2).

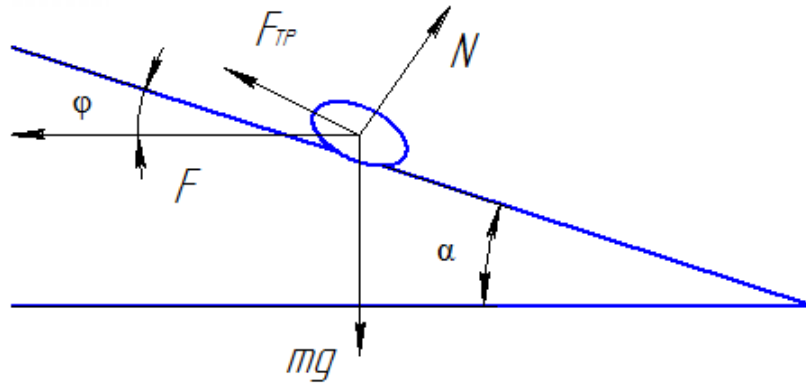


Рисунок 2.2 Схема сил, що діють на частинку при роботі решета

«Сили, які діють на частину при роботі – це вага частинки mg ; інерція F ; нормальна реакція N ; сила тертя $F_{тр}$ ». [10]

Для спрощення розрахунків кут напрямку коливань φ прирівнюємо до кута нахилу решета α .

«Запишемо теорему про зміну кількості руху частки зернового вороха в проекції на вісь» [10], що збігається з напрямком його руху:

$$\frac{d(mv)}{dt} = mgsina \pm f(mgcosa + mr\varphi^2 \sin\varphi t \cdot sina). \quad (2.2)$$

Знак сили тертя залежить від напрямку відносної швидкості руху зернівки.

«У процесі руху на сепарувальній поверхні решета вага зернового вороху змінюється за законом» [10]:

$$m = B_0 e^{-\vartheta x}, \quad (2.3)$$

«де B_0 – вихідна вага вороху,

ϑ – коефіцієнт втрати маси на решеті (аналог коефіцієнта сепарації), $1/m$, x – координата за напрямом руху». [10]

Тоді

$$\frac{dm}{dt} = m_0 e^{-\mu x} \cdot \frac{dx}{dt} = m_0 e^{-\mu x} \cdot v. \quad (2.4)$$

Особливістю даного завдання є зміна величини нормальної реакції та напрямку сили тертя в залежності від знаку відносної швидкості частинок зернового матеріалу. У зв'язку з цим, дане завдання необхідно вирішувати покроковим способом.

На рисунку 2.3 представлена залежність швидкості від часу за початкової швидкості руху $v(0)=0,2$ м/с. Як видно з даного графіка, через тривалість менше 1 секунди, швидкість стабілізується в діапазоні 0,35–0,4 м/с.

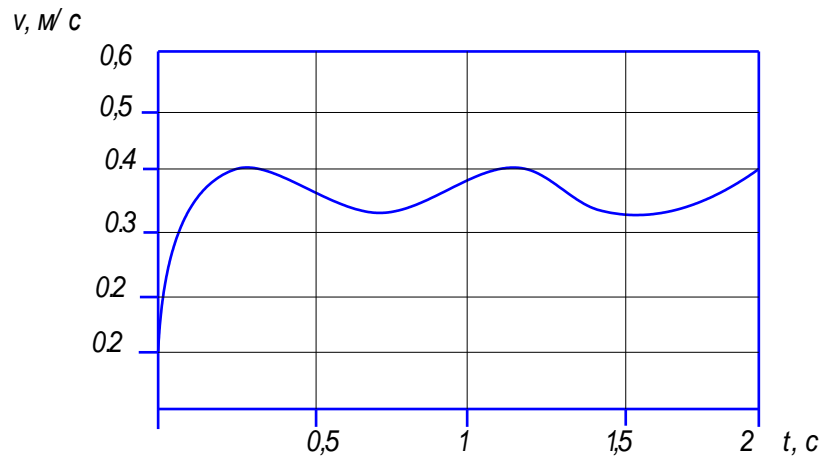


Рисунок 2.3. Залежність швидкості руху від часу

Визначивши швидкість руху зерна на коливальному решеті в залежності від часу. Внаслідок чисельного розв'язання системи диференціальних рівнянь 2.1 польоту частинки з урахуванням опору повітря вихідного потоку, одержали траєкторію руху частинок зі знайденими змінами швидкостей 0,35–0,4 м/с (рис. 2.4).

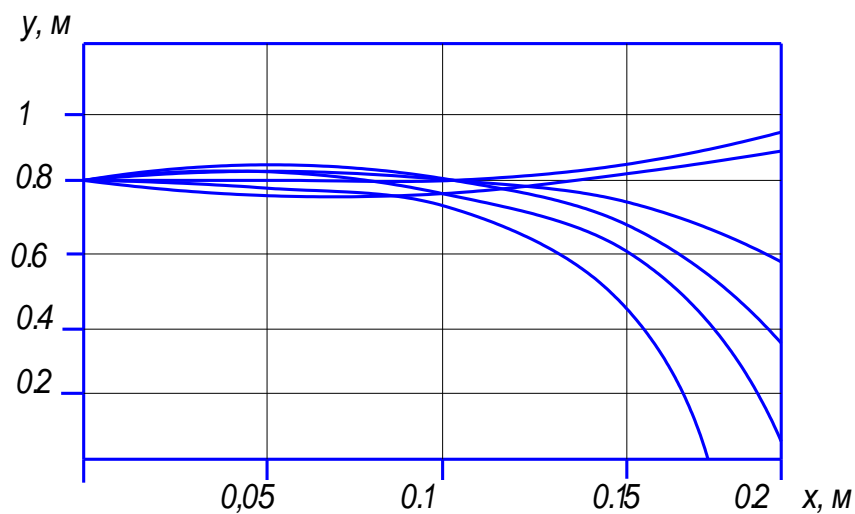


Рисунок 2.4. Траєкторія руху частинок

На рисунку 2.4 показана траєкторія руху частинок із знайденим розкидом швидкостей 0,35–0,4 м/с при швидкості вихідного потоку повітря 1 м/с. З розрахунків видно, що частинки, які мають коефіцієнт парусності більший 0,8 виносяться у верхню частину аспіраційного каналу.

У зоні завантаження маса надходить в канал концентрованим потоком, який перешкоджатиме роботі вихідного повітряного потоку.

З вищевикладеного можна отримати висновок, що на траєкторію польоту частинки зернового матеріалу впливають наступні параметри:

парусність, початкова швидкість та кут введення оброблюваний матеріал у зону сепарації та швидкість вихідного повітряного потоку. Швидкість вихідного повітряного потоку обмежена якістю оброблюваного матеріалу та величиною втрат цілих зерен у фураж.

2.2 Обґрунтування форми отворів решіт зернового сепаратора

Для обґрунтування форми отворів решіт визначимо ймовірність просіювання частинок в отвори різної форми.

Ефективність поділу залежить від розміру отворів решіт, довжини частинок та інших параметрів. Відомо, що одним решетом можна виділити частину довгих та коротких домішок [5, 7, 10].

Розмір отворів решіт повинен бути підібраний таким чином, щоб основне зерно могло пройти в нього, а частинки довгої домішки залишилися на решеті. Для цього необхідно, щоб відношення діаметра отворів решета (d) до довжини частинок довгої домішки (l) було менше 0,5:

$$\lambda = \frac{d}{l} < 0.5, \quad (2.5)$$

Для збільшення повноти поділу багато авторів використовують надрешітні поверхні, які обмежують пропускну здатність решіт. Тому важливо розглянути питання про використання решіт з «великими» отворами, що мають велику пропускну здатність, для виділення довгих і коротких домішок.

Відомий метод М.М. Літошньова [7, 9, 10], за яким ймовірність проходження частинок крізь заданий отвір визначається як відношення площі отвору, у зоні якого частка може пройти в нього до площі всього отвору.

Ямпіловим С.С. [7, 9, 10], було визначено ймовірність просіювання частинок різної довжини у випадку коли $\frac{l}{2} \leq d$ і частинка в процесі руху по решетах зберігає визначений напрямок (рис. 2.5).

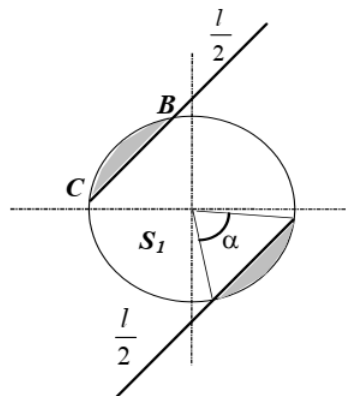


Рисунок 2.5. Схема розміщення частинки довжиною відносно отворів решіт

За відомою залежністю [6] було визначено ймовірність просіювання частинок різної довжини в отвори круглої форми коли частинка зберігає напрямку руху:

$$P = \frac{\frac{\pi d^2}{4} - \frac{d^2}{4} \left(\frac{\pi}{90} \arcsin \frac{l}{2d} - \frac{l}{2d^2} \sqrt{4d^2 - l^2} \right)}{\frac{\pi d^2}{4}} = 1 - \frac{1}{90} \arcsin \frac{l}{2d} + \frac{l}{\pi d} \sqrt{1 - \left(\frac{l}{2d} \right)^2}. \quad (2.6)$$

За формулою (2.6) було визначено ймовірність проходження частинок довжиною від 3 до 11 мм, відповідно довжині частинок короткої домішки, пшениці та довгої домішки, через отвори діаметром 5,0; 6,5; 7,0; 8,0; 9 мм. Результати наведено на рис. 2.6.

Аналіз результатів показує, що зі збільшенням довжини частинок зменшується ймовірність проходження їх через отвір.

Зі збільшенням діаметра отворів решіт відмінність ймовірностей просіювання частинок різної довжини через один і той же отвір зменшується. Так, при діаметрі отворів 5,0 мм відмінність ймовірностей просіювання частинок довжиною 6,64 та 10,94 мм, відповідних середній довжині частинок пшениці та довгої домішки, становить $0,856 - 0 = 0,856$, а при діаметрі отворів 6,5 мм: $0,949 - 0,656 = 0,293$.

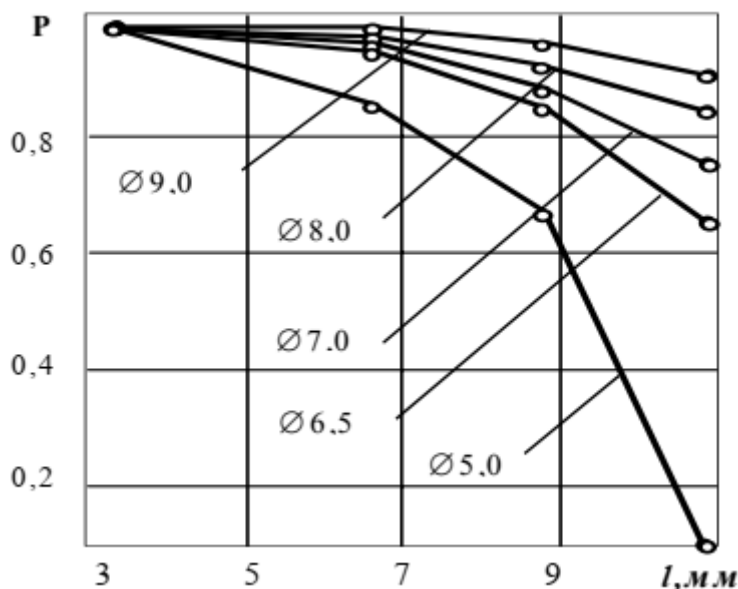


Рисунок 2.6. Вплив довжини частинки на можливість проходження його крізь круглий отвір у разі коли частинка зберігає певний напрям

При діаметрі отворів 9,0 мм відмінність ймовірностей просіювання даних частинок становить: $0,974 - 0,893 = 0,084$.

Таким чином, ймовірність проходження часток різної довжини у «великі» отвори круглої форми різна.

Однак, не всі частинки зернового матеріалу переміщуються по решету, зберігаючи один і той самий напрям. Були визначені [6] ймовірності проходження частки в круглий отвір, якщо він може змінювати напрям у

площині решета випадковим чином, тобто може зайняти будь-яке з можливих положень, що визначається розташуванням його центру тяжіння та напрямком його поздовжньої всі рис. 2.7. В даному випадку, ймовірність частинок пройти в отвори решета визначаються за формулою:

$$P = \frac{4\pi\left(\frac{1}{4}\sqrt{4d^2-l^2}\right)^2}{\pi d^2} = 1 - \frac{1}{4}\left(\frac{l}{d}\right)^2, \quad (2.7)$$

Були визначені за формулою (2.7) ймовірності проходження частинок довжиною від 3 до 11 мм через отвори діаметром 5,0; 6,5; 8 мм. Результати обчислень подано на рис. 2.7. Аналіз результатів показує, що різниця ймовірностей проходження частинок різної довжини в «великі» отвори круглої форми із зменшенням діаметра отворів збільшується.

Відмінність ймовірності проходу в отвори решета частинок різної довжини свідчать про відмінність інтенсивності просіювання таких частинок через решето, оскільки інтенсивність просіювання визначається як відношення ймовірності просіювання протягом малого проміжку часу до величини цього проміжку при прагненні до нуля.

2.3. Висновки по розділу 2.

Таким чином, на підставі проведеного теоретичного дослідження можна зробити висновок, що частинки зернового матеріалу, що відрізняються довжиною, мають різну ймовірність просіювання через решето з круглими отворами.

Рівномірність розподілу зернового матеріалу у системі післярешітної аспірації можна збільшити за рахунок подачі частинок із різними швидкостями.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ УСТАНОВКИ ПОВІТРЯНО-РЕШІТНОЇ ЗЕРНООЧИСНОЇ МАШИНИ

3.1. Опис конструкції установки

Для проведення досліджень було запропоновано установку, яка має пневмосистему з обслуговуванням післярешітної та дорешітної аспірації одним повітряним потоком.

Повітряно-решітний сепаратор (рис. 3.1) має приймальний бункер 1 з клапаном 2 у нижній частині та живильником 3 у верхній частині, решітний блок 4 і аспіраційну систему, яка включає відцентровий вентилятор 5, два пневмосепаруючі канали: канал 6 дорешітної аспірації та канал 7 післярешітної аспірації, дві осадкові камери 8 та 9 зі шнеками 10 для виведення осаджених фракцій.

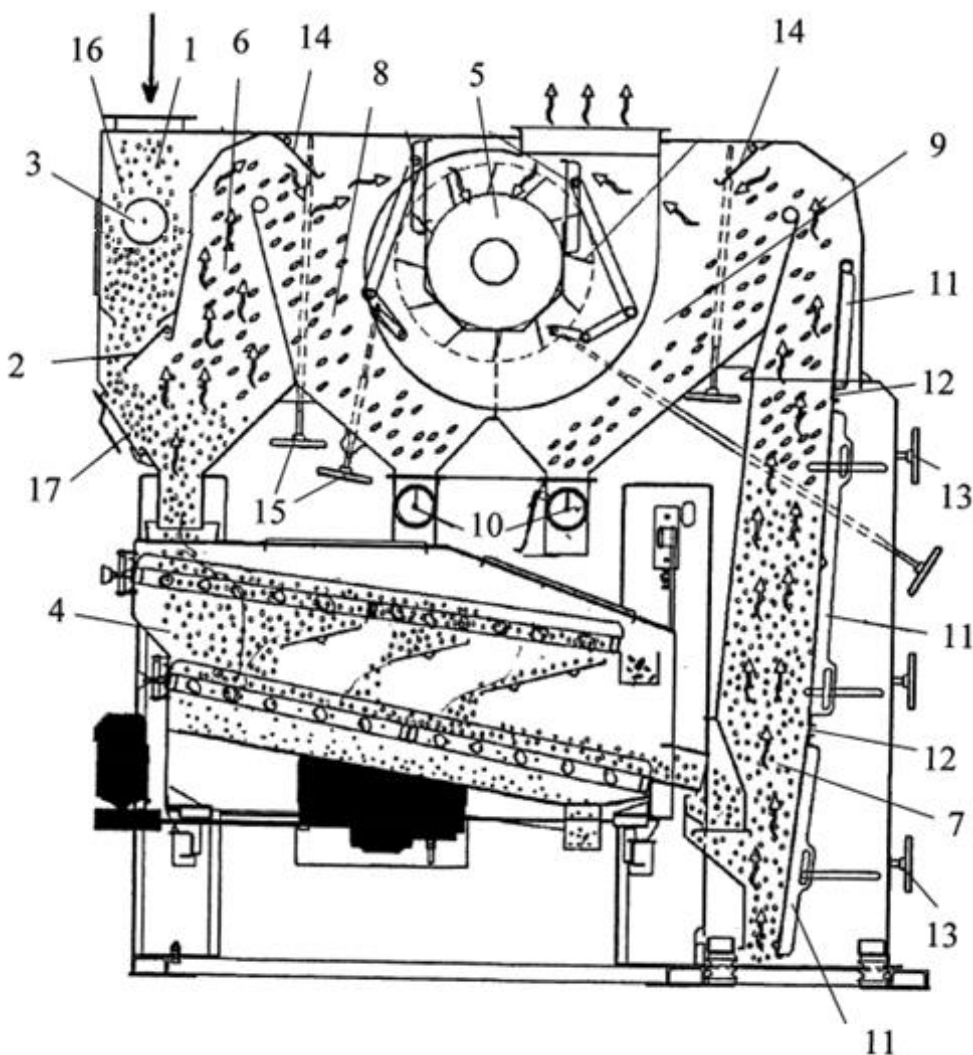


Рисунок 3.1. Повітряно-решітний сепаратор: 1 – приймальний бункер; 2 – клапан; 3 – живильник; 4 – решітний блок; 5 – відцентровий вентилятор; 6 – канал дорешітної аспірації; 7 – канал післярешітної аспірації; 8, 9 – осадкові

камери; 10 – шнек; 11 – секція; 12 – гнучке з'єднання; 13 – механізм; 14 – заслінки; 15 – важелі; 16 – щілинні отвори; 17 – магнітний вловлювач.

Камери 8 і 9 розділені між собою стінкою та корпусом вентилятора 5, виконаного з вікнами для забору повітря з осадових камер та повітровідвідним каналом.

Зовнішня стінка каналу 7 післярешітної аспірації виконана розрізною по висоті, що складається з секцій 11, герметично з'єднаних між собою гнучкими з'єднання 12, і оснащена незалежними механізмами 13 для регулювання положення секцій. Для можливості візуального контролю процесу сепарації секції 11 виконані з прозорого матеріалу.

Для додаткового регулювання повітряних потоків у каналах 6 та 7 аспірації, а також для надання спрямованості потоку на вході камер 8 і 9 розміщуються заслінки 14. Важелі 15, що регулюють ступінь відкриття заслінок 14 і вікон вентилятора 5 виведені у внутрішні порожнини корпусу сепаратора для зручності налаштування.

Перед початком роботи встановлюють технологічно необхідні швидкості повітряних потоків в аспіраційних каналах 6 і 7 з урахуванням виду оброблюваної культури. Необхідні швидкості повітряних потоків встановлюють величиною відкриття вікон вентилятора 5. Потім, використовуючи механізми 13 для регулювання положення секцій 11, для досягнення найбільш оптимальних швидкостей повітряних потоків на різних ділянках 7 каналу післярешітної аспірації.

Робота повітряно-решітного сепаратора здійснюється в такий спосіб. Зернова суміш, що підлягає обробці, подається в завантажувальний бункер 1, де вона потрапляє на живильник 3. Два основні потоки зернової суміші сходять по похилих розподільчих поверхнях пластини. Частина зернової суміші проходить крізь щілинні отвори 16, виконані у центральній частині пластини, у зоні ребра. В результаті завантажуваний матеріал рівномірно розподіляється по площі бункера 1.

З нижньої частини бункера 1 зернова суміш через клапан 2 подається до каналу 6 дорешітної аспірації, при цьому попутно очищається від металевих домішок магнітним уловлювачем 17, встановленим на вході в канал 6.

У каналі 6 дорешітної аспірації із зернової суміші повітряним потоком забирається частина легких домішок (полова та пил), які виносяться в осадову камеру 8. Завдяки тому, що канал 6 дорешітної аспірації виконаний зі звуженням прохідного перерізу в напрямку осадової камери 8 забезпечується підвищення швидкості повітряного потоку на кінцевій ділянці

каналу, що гарантує винесення виділених домішок в осадову камеру. При цьому заслінка 14, розташована на вході в осадову камеру 8, відхиляє повітряний потік до днища камери, покращуючи осадження домішок. З камери 8 виділені домішки видаляються шнеком 10.

З каналу 6 аспірації очищена від частини легких домішок зернова маса проходить через блок 4 решіт, де відбувається виділення великих і дрібних важких домішок.

Сходова фракція з нижньої решітки направляється в канал 7 на другий етап пневмосепарації.

На вході каналу 7 встановлено досить вузький поперечний переріз, що забезпечує високу швидкість повітряного потоку в зоні надходження зернової суміші у канал. Повітряний потік піднімає зернову масу на велику висоту. В результаті утворюється «киплячий» стовп зернової маси заввишки до 1-1,5 м. Усередині такого «киплячого шару» відбувається інтенсивний поділ зерна та важковіддільних домішок.

У середній частині поперечний переріз каналу 7 розширюється, що сприяє деякому зниженню швидкості повітряного потоку. Тут важче зерно втрачає швидкість і не піднімається вище, а легкі домішки піднімаються у верхню частину каналу 7.

У верхній частині поперечний канал 7 знову звужується, завдяки чому збільшується швидкість повітряного потоку, що гарантує винесення виділених домішок в осадову камеру 9.

Сепаратор може бути застосований для очищення зерна та насіння найрізноманітніших сільськогосподарських рослин, включаючи легкі культури (різні трави та дрібнонасінні культури), всі злакові (пшениця, овес, жито і т.д.), а також важкі зернобобові культури (горох, квасоля, соя та ін.).

Для визначення впливу ступінчастої поверхні на траєкторію сходу зернової маси в пневмоканалі було виготовлено кілька варіантів скатних лотків (рис. 3.2).

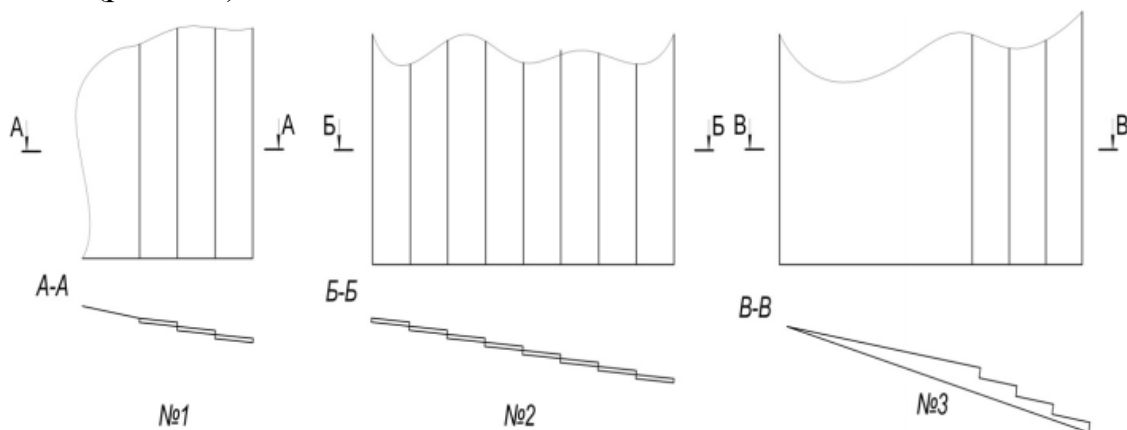


Рисунок 3.2 – Схеми змінних скатних поверхонь лотка, що випробовується.

При виготовленні зразка під номером 1 на останніх восьми сантиметрах лотка були зроблені ступені накладенням металевих пластин один на одного послідовно з перекриттям 2-3 мм (пластини шириною 25 мм і товщиною 2 мм). В результаті вийшла ступінчаста поверхня з однаковим нахилом ступенів до площини руху зернового матеріалу за решіткою.

Виготовлення другого зразка відбувалося так само, як і зразка № 1. Відрізнялося тільки те, що пластини, що утворюють східчасту поверхню, були розташовані по всій довжині подаючого лотка.

Зразок подаючого лотка № 3 (рис. 3.2) має 3 ступені на вході пневмосепаруючого каналу. Відрізняється даний зразок від попередніх двох тим, що сходи були виконані паралельно площині решіт з цільного листа жерсті за допомогою пресування. Сходи мають ту ж ширину, що і пластини на попередніх зразках, а висота сходів становила 5-6 мм.

Ширина живильних лотків дорівнює ширині пневмоканалу і становить 0,3 метри.

3.2. Методика визначення параметрів зернового вороху в пневмоканалі зерноочисної машини

Дослідження зернового вороху з визначення фізико-механічних властивостей проводили відповідно до загальноприйнятих методик.

Вміст компонентів кожної фракції у зерновому вороху визначали у відсотках за формулою:

$$n_i = \frac{b_i}{b} \times 100, \% \quad (3.1)$$

де n_i – відсотковий вміст i -ї фракції, %;

b_i – вага i -ї фракції, кг;

b – вага загальної навіски, кг.

Швидкість повітря при проведенні досліду збільшували з певним збільшенням динамічного напору.

Середню швидкість повітряного потоку визначали за наступною формулою:

$$v = 4\sqrt{P}, \text{ м/с.} \quad (3.2)$$

де P – середнє значення динамічного опору, кгс/м².

Повну вагу зернового вороху визначали за формулою:

$$m = m_{oc} + m_{п} + m_{лд} + m_{ф} + m_{д} + m_{в} + m_{оф}, \quad (3.3)$$

де m_{oc} – вага вороху, виділеного в осадову камеру каналу до решітного очищення, кг;

$m_{п}$ – вага вороху, виділеного в осадовій камері каналу після решітного очищення, кг;

$m_{лд}$ – вага легких домішок, що виділеного в збірник, кг;

$m_{ф}$ – вага фуражних фракцій вороху, виділених всіма сортувальними решетами, кг;

$m_{д}$ – вага дрібних домішок, виділених підвісними решетами, кг;

$m_{в}$ – вага великих домішок, виділених колосовими решетами, кг;

$m_{оф}$ – вага основної фракції вороху, кг.

Втрати зерна з основної фракції $B_o, \%$ винесеного в осадові камери першої та другої аспірації визначали за формулою:

$$B_o = \frac{m_{oc}m_{пз}}{m_{н}\varphi} \cdot 100, \quad (3.4)$$

де m_{oc} – вага вороху, що виділилось в осадову камеру, кг;

$m_{пз}$ – вага повноцінного зерна в наважці, кг;

$m_{н}$ – вага наважки, кг;

φ – частка повноцінного зерна у вихідному воросі.

Швидкість повітря в пневмоканалах (м/с) визначали як середнє значення за отриманими даними за наступною формулою:

$$v_{п} = \frac{v_i}{n}, \quad (3.5)$$

де v_i – швидкість повітряного потоку, вимірюного в i -й точці каналу, м/с;

n – кількість точок замірів швидкості.

Для визначення втрат повітря пневмосистемою установки (м³/с), враховуючи швидкість повітря в каналі другої аспірації, користувалися формулою:

$$v_{в} = v_{п} \times b \times c_{п}, \quad (3.6)$$

де $v_{п}$ – швидкість повітряного потоку в каналі після решітного очищення, м/с;

b – глибина каналу після решітного очищення, м;

$c_{п}$ – ширина пневмосистеми, м.

Вимірювання швидкості здійснювали за допомогою трубки Піто. При кожному вимірі записували середню швидкість за 30 секунд. Вимірювання проводили в 3-х площинах, які розташовувалися від нижньої частини пневмоканалу на відстані 100, 300 та 600 мм.

Опір каналу післярешітної аспірації визначали при різному питомому зерновому навантаженні. Замірювання опору проводили у площині з

відривом 600 мм від нижнього краю пневмоканалу, тому що там поле швидкостей повітряного потоку є найбільш рівномірним.

Вимірювання здійснювали лише після того, як пневмоканал заповнювався повністю оброблюваним матеріалом. Враховували середній опір пневмоканалу за 90 сек.

Для визначення розподілу зернового вороху по глибині пневмоканалу запускали установку та відкривали подачу зернового вороху. Після того, як матеріал проходив по системах зерноочисної установки і повністю заповнював канал післярешітного очищення, на виході з каналу короткочасно вводився пробовідбірник. Далі по черзі зважували вміст кожної фракції та записували дані.

3.3. Розподіл зернового вороху у вертикальному каналі пневмосистеми

Рівномірність розподілу зернової маси у вертикальному пневмосепаруючому каналу відіграє важливу роль у процесі пневмосепарації.

Характер розподілу зернового вороху у пневмоканалі при описаних умов відображено на діаграмах (рис. 3.3, 3.4).

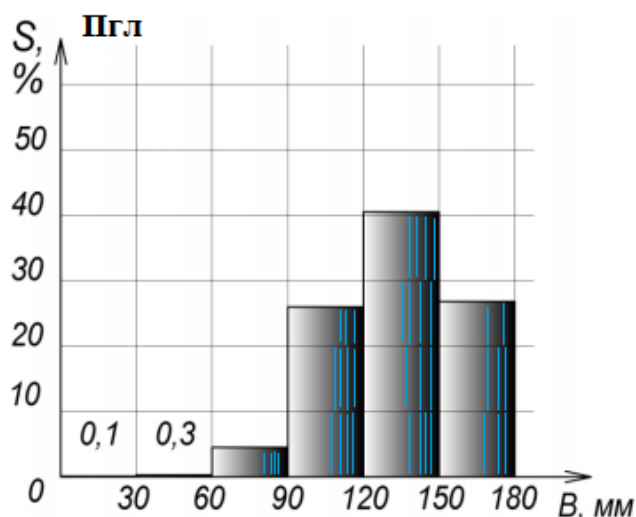


Рисунок 3.3 – Розподіл зернового вороху по глибині пневмосепаруючого каналу без повітряного потоку, при сході з гладкою похилої поверхні

На діаграмі (рис. 3.3) позначеної буквою «Пгл» відображено розподіл зернового вороху по глибині пневмосепаруючого каналу в результаті сходу з гладкої похилої поверхні. З діаграми видно, що маса розподіляється каналом не рівномірно. Найбільша концентрація зернового вороху спостерігається на видалення 120-150 мм від точки введення матеріалу і становить близько 40%

від маси, що подається в канал. На відстані від 0 до 60 мм концентрація матеріалу близька до 0%. Це говорить про те, що при подачі матеріалу в пневмоканал з гладкої поверхні всі частинки, що сходять з живильного лотка, мають приблизно одну і ту ж траєкторію польоту.

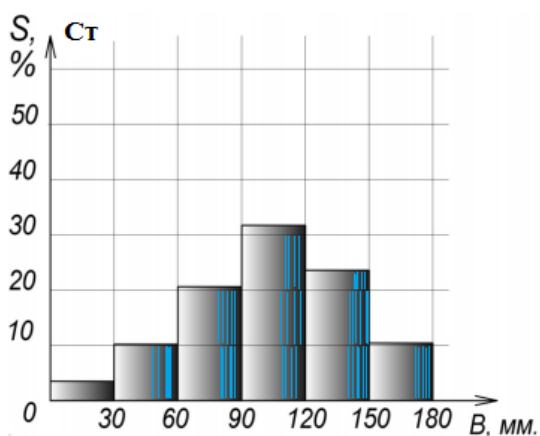


Рисунок 3.4 – Розподіл зернового вороху по глибині пневмосепаруючого каналу без повітряного потоку, при сході з похилої поверхні, яка має виступи висотою 3мм

На діаграмі (рис. 3.4) позначеної буквою «Ст» відображено розподіл зернового вороху по глибині пневмосепаруючого каналу при подачі живильним лотком. З діаграми можна відзначити, що пік концентрації матеріалу знаходиться практично посередині каналу, а сам розподіл має більш пологий характер у порівнянні з розподілом вороху при подачі з гладкої поверхні. Також із діаграми видно, що в зоні концентрація матеріалу, що знаходиться безпосередньо під точкою введення матеріалу (від 0 до 60 мм), більш висока в порівнянні з роботою контрольного зразка і становить близько 15%.

Проведений дослід порівняння роботи розробленого та контрольного живильників без включення вентилятора підтвердив ефективність ступінчастої поверхні, оскільки вона забезпечила більш рівномірний розподіл зернового вороха по глибині каналу післярешітного повітряного очищення.

Результати дослідження рівномірності завантаження пневмоканалу по глибині без впливу вихідного повітряного потоку наведено у таблиці 3.1.

Поверхня	B, мм				
	0-30	30-60	60-90	90-150	150-180
	S, %				
Гладка	0.11	0.32	5.3	27.6	27.8
Ступінчаста	4.7	12.4	21.3	33.4	13.6

Виходячи з наведених даних, можна стверджувати, що застосування ступінчастого живильника не впливає на розподіл окремих компонентів по

глибині пневмоканалу, а лише підвищує рівномірність розподілу маси загалом по глибині пневмоканалу.

3.4. Вплив подачі зернового вороху на опір пневмосистеми

Опір аспіраційної системи є одним із основних факторів, що впливають на енерговитрати при післязбиральній обробці зернового вороху. Під час роботи повітряно-решітної зерноочисної машини матеріал, що обробляється в пневмосистемах дорешітного та післярешітного очищення, створює додатковий опір.

При максимальному поданні опір аспіраційної системи зерноочисної машини зростає практично вдвічі. Через опір у пневмоканалах знижується швидкість повітряного потоку. Щоб запобігти погіршенню якості пневмосепарації, необхідно підтримувати швидкість повітряного потоку в пневмоканалах за рахунок частотного регулювання вентилятора, а це, у свою чергу, підвищує енерговитрати на обробку зернового вороху.

Для проведення дослідження було використано гладку поверхню та розроблена поверхня, яка має на кінці три виступи висотою 3 мм з кроком 20 мм. Отримані залежності відображені графічно рис. 3.5. З графіка випливає, що опір зернового вороху незмінно зростає зі збільшенням завантаження пневмосепаруючого каналу. Важливо, що при зерновому навантаженні понад 0,15 кг/(дм·с) опір вороху, що надходить у пневмоканал післярешітної аспірації по ступінчастій скатній поверхні живильника, стає кілька нижче, ніж при подачі зерна живильним лотком з гладкої похилої поверхні.

Зі збільшенням подачі матеріалу ця різниця зростає.

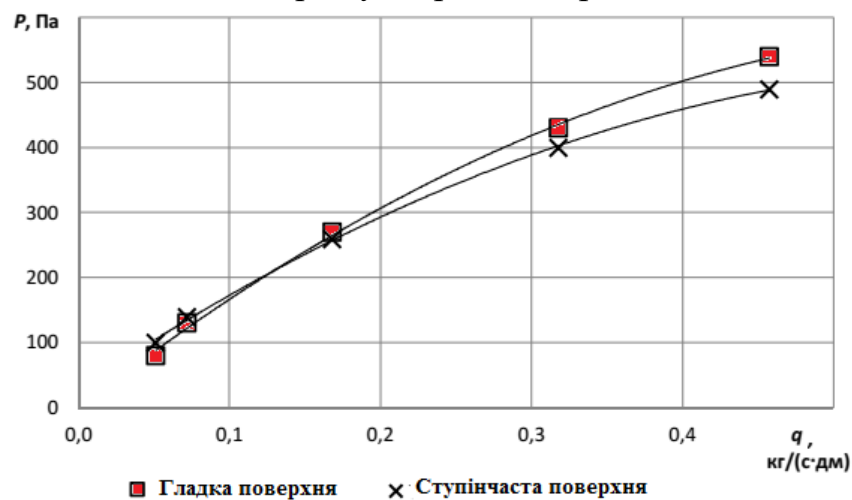


Рисунок 3.5 – Залежність опору зернового вороху у пневмоканалі від величини зернового навантаження

При малій подачі аеродинамічний опір каналу з досліджувальним живильником має незначне перевищення опору контрольного зразка. Можливо, при малій кількості вороху він менше гальмує повітряний потік у своєму компактному стані, ніж у розосередженому.

3.5. Методика визначення інтенсивності просіювання компонентів зернової суміші

Для дослідів був приготовлений зерновий матеріал, довгі домішки в якому складала 14%.

В якості довгої домішки використовували насіння вівса. Велике насіння вівса було видалено решетою $\varnothing 6,25$. Як основне зерно використовували пшеницю, очищену від великих домішок решетою $\varnothing 4,0$, а від дрібних домішок – решето $\varnothing 3,0$.

Інтенсивність просіювання компонентів зернового матеріалу через решето μ визначили так [6]: за даними розподілу компонентів (%) за секціями пробовідбірника будували варіаційні криві розподілу компонента за довжиною решета; визначали на якій відстані від початку решета просівається близько 50% даного компонента і кількість P (%) компонента, що не просівається; за таблицею 3.1. (інтеграл ймовірності x^2) знаходили відповідне йому значення і визначали x для даної кількості решіт n . Досліди проводились на 2 решетах, встановлених один під одним з отворами діаметром 6,5 мм показали, що на 3-х дм від початку решіт просіювалось 53% довгої домішки.

Таблиця 3.2. Інтенсивність просіювання компонентів зернового матеріалу через решета з круглими отворами, дм^{-1} .

Інтенсивність просіювання компонентів	Діаметр отворів, мм					
	4	4,5	5	5,5	6	6,5
μ_k (коротка домішка)	1,120 0,796 0,636	1,480 0,956 0,782	3,376 2,602 2,106	4,042 3,082 2,882	5,488 3,972 3,214	6,945 4,406 3,813
μ_d (дрібна домішка)	0,772 0,422 0,314	1,365 0,625 0,435	4,166 2,405 2,152	4,875 3,315 3,872	7,062 4,382 3,955	8,862 4,852 3,872
μ_o (основне зерно)	0,076 0,056 0,033	0,342 0,216 0,185	1,507 1,056 0,878	2,046 1,616 1,234	3,156 2,364 1,957	4,166 2,882 2,116
μ_{dd} (довга домішка)	0,062 0,091 0,063	0,094 0,157 0,113	0,510 0,455 0,378	0,730 0,650 0,458	1,157 0,942 0,873	1,582 1,292 1,114

* перше число – при подачі в один елементарний шар; друге число - при подачі в два елементарних шари; третє – при подачі в три елементарні шари.

За таблицею 3.1., знайшовши відповідне йому значення Р при $n = 10$, визначаємо значення $x=9,4$. Інтенсивність просіювання довгої домішки рівна:

$$\mu = \frac{9,4}{3 \cdot 2} = 1,56 \text{ дм}^{-1}.$$

3.6. Висновки по розділу 3

Визначено раціональні параметри ступінчастої поверхні розроблюваного живильника для зернового вороху: висота ступеня 3 мм, ширина ступеня 20 мм та кут $90 \pm 10^\circ$.

Дрібні та короткі домішки найкраще виділяються на решетах з отворами діаметром 4-5 мм.

Оптимальний розмір отворів для виділення всіх домішок 5 мм.

Інтенсивність просіювання довгої домішки складає $1,56 \text{ дм}^{-1}$.

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі проведений аналіз сучасних повітряних сепараторів та наведені етапи їх розвитку. Теоретично обґрунтовано процес аспірації зернової машини та наведена математична модель даного процесу.

Для проведення досліджень було запропоновано установку, яка має пневмосистему з обслуговуванням післярешітної та дорешітної аспірацій одним повітряним потоком.

Встановлено, що для забезпечення рівномірного розподілу оброблюваного вороха по глибині каналу необхідно подавати з розкидом початкових швидкостей від 0,3 до 0,5 м/с.

Використання розробленого пристрою знижує опір каналу післярешітного повітряного очищення та збільшує рівномірність розподілу зернового вороху по глибині пневмоканалу на 20% і підвищує продуктивність зерноочисної установки на 25% за рівної повноти виділення.

Дрібні та короткі домішки найкраще виділяються на решетах з отворами діаметром 4-5 мм.

Оптимальний розмір отворів для виділення всіх домішок 5 мм.

Інтенсивність просіювання довгої домішки складає $1,56 \text{ дм}^{-1}$.

СПИСОК ВИКРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. <https://propozitsiya.com/ua/pravylnyy-pidhid-do-ochyshchennya-zerna>
2. Грицишин М. Технології збирання зернових і конструкції сучасних зернозбиральних комбайнів / М. Грицишин // Пропозиція. – 2003. – №6. – С. 13- 17.
3. Пат. 100320 Україна, МПК В07В 9/00. Відцентровий розкидний пневмосепаруючий пристрій зерносепаратора / Дерев'янка Д. А., Грабар І. Г., Синявська А. І. ; заявник і патентовласник Житомирський нац. агрокол. ун-т. – № а 2011 07524 ; заявл. 25.11.2011 ; дата публікації 10.12.2012, Бюл. № 23.
4. Швидя В.О. Теоретичне дослідження аеродинамічного процесу сепарації зерна / В.О. Швидя // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь: ТДАТУ, 2010. Вип. 10, Т.5. С. 56 – 63.
5. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв/ За редакцією О.В. Дацишина. Навчальний посібник. Вінниця: Нова книга, 2008. 488 с.
6. Тіщенко Л. М. Про рух по решету віброзріджених зернових мас з внутрішнім в'язко-сухим тертям / Тіщенко Л. М. Ольшанський В. П. Ольшанський С. В. // Вібрації в техніці і технологіях. №1 (81). 2016. С. 145–148.
7. Назаренко І.І. Основи проектування і конструювання машин та обладнання переробних виробництв // І.І. Назаренко, І.М. Берник К.: Аграр Медіа Груп, 2013. 544 с.
8. Грабар І.Г., Дерев'янка Д.А., Герук С.М. Вплив чинників післязбиральної обробки зерна на якість насінневого матеріалу. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: загальнодержав. міжвід. наук.-техн. зб. 2010. Вип. 40, ч. 1, С. 3-5.
9. Дерев'янка Д.А. Поліпшення технології післязбирального дороблення зерна. Техніка і технології АПК. 2011, № 1, С. 34-35.
10. Дерев'янка Д.А., Тарасенко О.П., Оробінський В.І. Вплив травмування на якість насіння зернових культур: монографія . Житомир: Нілан-ЛТД, 2012. 440 с.
11. Богомолів, О. О. (2017). Аналіз конструкцій сепараторів для сепарації важкороздільних зернових сумішей (Analysis of separator designs for separation of difficult-to-separate grain mixtures). Інженерія переробних і харчових виробництв, 1, 47-51.

12.Єремеева О. А., Харченко Є. І., Любич В. В. Технологічні процеси переробки зерна пшениці в борошно: моногр. / Київ, 2021. 160 с.

13. Адамчук В.В. Перспективи розвитку і застосування у сільському господарстві сучасних високотехнологічних засобів./ В.В. Адамчук, В.М. Булгаков, І.В. Гриник// Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробовування пової техніки і технологій для сільського господарства України: Збірник наукових праць УкрНДПВТ ім Леоніда Погорілого. Дослідницьке, 2013.- Вип. 17(31). С.22-23.

14. Сліпченко М. В. Обґрунтування параметрів процесу і розробка пневмосепаруючого пристрою вібровідцентрових зернових сепараторів: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.11 «Машини та засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / Сліпченко Максим Володимирович Х., 2013. 20 с.

15. Швидя В. О. Підвищення ефективності псевмовідцентрового сепаратора та обґрунтування параметрів робочих органів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.05.11 «Машини та засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / Швидя Віктор Олександрович. Глеваха, 2012. 18 с.

16. Прилуцький А.П. До обґрунтування шляхів підвищення інтенсифікації процесу і конструкційної схеми пневмосепаруючої частини вібровідцентрового сепаратора зерна / А. Н. Прилуцький, С. П. Степаненко, Ю. Г. Коваль // Механізація та електрифікація сільського господарства. Міжвід. темат. наук. зб. - Глеваха, 2010. Вип, 94. С. 216-219.