

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра процесів, машин і обладнання в агроінженерії

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ІВКОВ ВОЛОДИМИР ОЛЕГОВИЧ

УДК 631.362.633

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів
сепараторів для очищення насіння зернових культур**
(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)

Житомир – 2021

АНОТАЦІЯ

Івков В.О. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів сепараторів для очищення насіння зернових культур. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

Робота присвячена проблемі удосконалення конструктивно-технологічних параметрів машин для ефективного очищення зернового насіння сепарування зернової суміші та інших сипучих матеріалів на вібросепараторі. Технологічний процес сепарації відбувається на похилій робочій поверхні з рифлями при її гармонічних коливаннях, направлених перпендикулярно рифлям і ножем для поділу зернового потоку.

Ключові слова: вібросепаратор, робочі органи, зерно, ефективність.

ABSTRACT

Ivkov V. Substantiation of Constructive-Technological Parameters of Separators for Grain Crops Seeds Cleaning. Qualifying work for a master's degree in specialty 208 - Agroengineering. - Polissia National University, Zhytomyr, 2021.

The work is devoted to the problem of improving the design and technological parameters of machines for efficient cleaning of grain seeds, separation of grain mixture and other bulk materials on the vibrating separator. The technological process of separation takes place on an inclined working surface with corrugations during its harmonic oscillations directed perpendicular to the corrugations and a knife for separating the grain flow.

Key words: vibrating separator, working bodies, grain, efficiency.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ ДОМІШОК ІЗ ЗЕРНОВОЇ СУМІШІ	6
1.1. Очищення і сортування зерна	6
1.2. Аналіз процесу і технічних засобів для очищення зерна від домішок	7
1.2.1. Вібраційний сепаратор ЛАД	9
1.2.2. Пневматичний сортувальний стіл	10
1.2.3. Сепаратор універсальний СВУ-60	11
1.2.4. Вібропневмосепаратори	13
Висновки по розділу 1	16
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНА	17
2.1. Модель руху зернової суміші на поверхні рифлів	17
2.2. Аналітичне дослідження руху частинок зернового потоку	25
Висновки по розділу 2	27
РОЗДІЛ 3. УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ МАШИНИ ДЛЯ СЕПАРУВАННЯ ЗЕРНА	28
3.1. Опис експериментальної установки	28
3.2. Визначення ефективності та інтенсивності сепарації	31
3.2.1. Вплив питомого навантаження на робочий орган	31
3.2.2. Вплив частоти коливань робочого органу	32
3.2.3. Вплив кута нахилу робочої поверхні α	33
3.2.4. Залежність масової частки нижнього шару	34
Висновки по розділу 3	35
ВИСНОВКИ	36
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	37

ВСТУП

У даний час технологічний рівень машин і обладнання галузей агропромислового комплексу дуже низький. Вимогам світового стандарту відповідають тільки 35...40% всього обладнання, із якої третя частина імпортного обладнання. Потреба в основних видах машин і обладнання у перероблювальних галузях АПК не перевищує 75...85%.

Одним із основних шляхів підвищення продуктивності підприємства з переробки та зберігання зерна є удосконалення технології та засобів механізації, розробка енергоефективного обладнання з обробки і переробки зерна [1].

Ефективність сепарування зерна не тільки впливає на якість продукції і степінь використання сировини, але і визначає навантаження та ефективність роботи наступного технологічного обладнання, а відповідно і техніко-економічні показники всього підприємства [2].

Підвищення ефективності процесу очищення зерна на переробних підприємствах стало можливе завдяки науковим роботам, що проводились Олексієнко В.О., Петриченко С.В., Вершков О.О. (Таврійський державний агротехнологічний університет) [3], Деревянко Д.А. (Поліський національний університет) [4, 5], Дацишином О. В. [6]; за ред. – Вінниця: Нова книга, 2008. – 488 с/], Тищенко Л.М., Півнем М.В. (ХНСТУ ім. П. Василенко) [7, 8] Єрмаком В.П. (Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя [9] та ін. Дані науковці внесли не тільки великий вклад у формування наукових основ процесів сепарування, але й запропонували ряд конструктивних рішень, які використовуються і даний час. Але як показує практика, проблеми очищення зерна існують.

Тому вищезазначене дозволяє зробити наступні висновки, що підтверджують актуальність роботи:

- якість насінневого матеріалу залежить від відсутності в ньому сторонніх домішок;

- зерно з підвищеною забрудненістю знижує якість муки, що використовується для виготовлення харчових продуктів та веде до зростання собівартості;

- вирішення проблеми зі зменшення домішок в зерні можливе шляхом удосконалення процесів сепарування та техніки.

Відповідно до викладеного, у кваліфікаційній роботі сформульовано **мету дослідження**: підвищення якості очищення зерна від легких домішок за рахунок удосконалення процесу сепарування.

Об'єкт дослідження: технологія сепарації зерна і процес роботи сепарувальної машини на похилій робочій поверхні з рифлями.

Предмет дослідження: закономірності процесу сепарації зерна, параметри і режими роботи робочого органу вібросепаратора.

Методи дослідження: використані методи, що враховують специфіку об'єкта вивчення: системи підхід; проектний підхід, визначаючий доцільність дослідження; методи математичного моделювання і статистики; метод класичної механіки; метод планування багатофакторного експерименту і обробки отриманих результатів.

Публікації. За результатами досліджень опубліковано тези у Збірнику матеріалів науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «Студентські читання – 2021» та збірнику матеріалів V міжнародної науково-практичної конференції «Біоенергетичні системи».

Обсяг та структура роботи. Робота складається із вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на 38 сторінках машинописного тексту, містить 18 рисунків, списку використаних джерел з 16 найменувань.

РОЗДІЛ 1.

СУЧАСНИЙ СТАН ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ ДОМІШОК ІЗ ЗЕРНОВОЇ СУМІШІ

1.1. Очищення і сортування зерна

Зерновий ворох, що надходить від комбайнів і молотарок, складається із зерна збираємої культури і домішок. Домішки поділяються на зернові та бур'яні. До зернових домішок відноситься бите, поїджене зерно основної культури (залишки менше половини зернівки), зерно пророщене та зерна інших культур. До бур'янів – насіння рослин, органічні домішки (полова, частини стебел), а також шкідливі домішки (гірчак, вязель, головня та ін.). У зернах можуть бути також металеві домішки, які попадають в нього при збиранні і перевезенні. Якщо зерен основної збираємої культури складає менше 85, тоді такий зерновий продукт називають «сумішню». Кількість домішок, що містяться в зерновій масі, виражені у % до маси навіски, називається засмідченістю.

Основною задачею є виділення із вороха всіх домішок, а також виділення пошкодженого зерна основних культур для підвищення чистоти зернової сировини.

Попереднє очищення використовують для свіжозібраного зерна вологістю до 35%. При попередньому очищенні знижується вміст найбільш великих домішок (з 15...20 до 3%), видалається частина вологи, збільшується сипучість, полегшуються наступні процеси (особливо сушіння) та підвищується стійкість зерна до самозігріванню при тривалому зберіганні.

Первине очищення проводять для зерна вологістю не більше 22 % або попередньо оброблене і вимушене зерно вологістю не більше 18%. При даному способі виділяють великі домішки, легкі та дрібні, подріблене зерно. Вихідних зерновий розділяють на три фракції: очищене зерно, фуражні відходи і домішки.

Продовольче і фуражне зерно піддається в основному попередньому і первинному очищенню, а насінєве – додатково вторинному очищенню.

При сортуванні зерна проходить механічний розподіл очищеного від домішок зерна на фракції, що поділяються на хлібопекарні або посівні якості, з метою отримання високоякісного продовольчого і насінєвого матеріалу.

Зерно сортують по розмірам (товщина, ширина і довжина), масі, аеродинамічним властивостям та ін.

Продовольче зерно з метою підвищення його якості також піддається сортуванню. В багатьох зерноочисних машинах очищення і сортування зерна відбувається одночасно.

1.2. Аналіз процесу і технічних засобів для очищення зерна від домішок

До зерноочисним машинам висуваються наступні вимоги:

- при заданій продуктивності, забрудненість і допустима кількість відходів за один пропуск машина повинна давати очищене насіння, що відповідає вимогам до посівного або продовольчого зерну;
- робочі органи і механізми не повинні пошкоджувати очищене і сортувальне зерно;
- машина повинна бути універсальна, тобто пристосована для очищення і сортування насіння різних культур;
- машина повинна бути зручна в експлуатації, легко регулюватись, бути безпечною в роботі та забезпечувати норми санітарії.

Велика кількість обладнання, що використовується на елеваторах і переробних заводах, створена на основі багаторічної праці науковців, що досліджували процеси і обладнання, яке використовується в переробній галузі. Нині зерноочисні машини і апарати, що побудовані на принципі вібрації, займають домінуюче положення на підприємствах з переробки сільськогосподарської продукції та є досить простими в експлуатації. В більшості випадків дане обладнання можна об'єднати в єдиний комплекс

окремих пристроїв, що використовуються для процесу сепарації, та вони є найбільш розповсюдженими.

В основі даного процесу, лежить робота ситових сепараторів, які умовно можна розділити на дві групи: самосортувальні і просіювальні. При самосортуванні важкі домішки опускаються на поверхню сита в результаті відносного руху зернової суміші по поверхні сита. На другому етапі частинки, розмір яких менший отворів у ситі, продовжують відносний рух в нижньому шарі. У випадку, коли в зерновій суміші концентрація проходових фракцій висока, тоді самосортування не викликає суттєвого впливу на результат процесу сепарування і вирішальну роль набуває просіювання.

При невисокій концентрації прохідного матеріалу в зерновій суміші і товщині шару в декілька разів більший розмір зернівки, через сито проходять важкі частинки, які попадають на нього в результаті самосортування.

На ефективність процесу сепарування впливає багато факторів, такі як: ймовірний характер властивостей елементарних частинок зернової суміші, взаємодія їх між собою і робочою поверхнею сепаратора, а також вплив випадкових факторів на процес в цілому.

Взаємодія частинок зернової суміші одна з одною і ситом описується у вигляді математичних моделей при врахуванні основних законів механіки, таких як: модель у вигляді точки та матеріальної частинки з наведеними параметрами, модель руху частинок по віброуючій поверхні, модель суцільного середовища та ін.

Ефективність процесу сепарування залежить від технічних властивостей компонентів зернової суміші, вологості, відношення компонентів різної крупності, питомого навантаження на сито (товщина шару), матеріалу і якості виготовлення сит та ін.

Розробка високоефективних сепарувальних машин у більшості випадків залежить від обгрунтованого вибору форми (геометрії) робочих органів. Конструктивні схеми вібраційних сепараторів, що здійснюють розподіл за геометричними ознаками, базуються головним чином на використанні сит.

Також вимоги ставляться до привода вібраційних сепараторів, що впливають із специфіки технологічних процесів: наявність різко вираженого екстремума ефективності від кінематичних параметрів і його дрейфа, складу і властивостей вихідної сировини.

1.2.1. Вібраційний сепаратор ЛАД

Вібраційний сепаратор ЛАД використовується для очищення зерна на сільськогосподарських підприємствах, комбикормових заводах, млинах та елеваторах. Конструктивна схема вібросепаратора ЛАД показана на рис. 1.1.

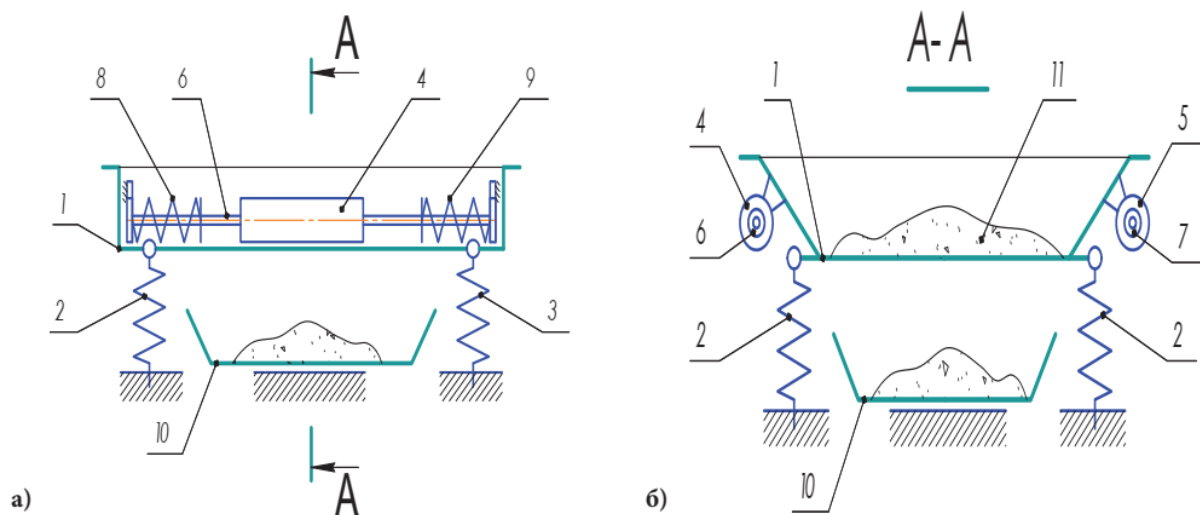


Рис. 1.1. Конструкція вібросепаратора ЛАД в приводі:

а) вид сепаратора збоку; б) вид А.

Дека і встановлена на шарнірних підвісках 2 і 3, попарно. В свою чергу пружні підвіски розміщені жорстко на основі. Статор ЛАД складається із двох частин 4 і 5, розміщених з різних сторін деки і паралельно один до одного. Частини статора ЛАД розміщені на частинах 6 і 7 вторичного елемента (рис.1.1б), які своїми кінцями жорстко закріплені на деці 1. На кінцях частин вторичного елемента, розміщені пружні елементи 8 і 9. Обмотки частин статора ЛАД з'єднані один з одним. Під декою 1 на основі встановлюється приймальний бункер 10 для просіяного матеріалу 11 [10].

До переваг сепаратора можна віднести простоту конструкції, як привода, так і в'язого пристрою, високу надійність і довговічність.

Основними недоліками вібросепараторів є мала амплітуда коливання ситових поверхонь, що призводять до низького вилучення легких домішок за один прохід, і як наслідок, невисока продуктивність.

1.2.2. Пневматичний сортувальний стіл

Принцип роботи пневматичного сортувального столу полягає в тому, що зерна, які надходять на похилу поверхню 1 (рис. 1.2.) з сітчастим дном (декою), піддаються повздовжнім коливанням і продуваються повітрям. На поверхні деки напрямлюючі рифи 2 висотою від 2 до 20 мм. Дека нахилена в повздовжньому напрямку під кутом від 10° , а в поперечному – на кут до 5° .

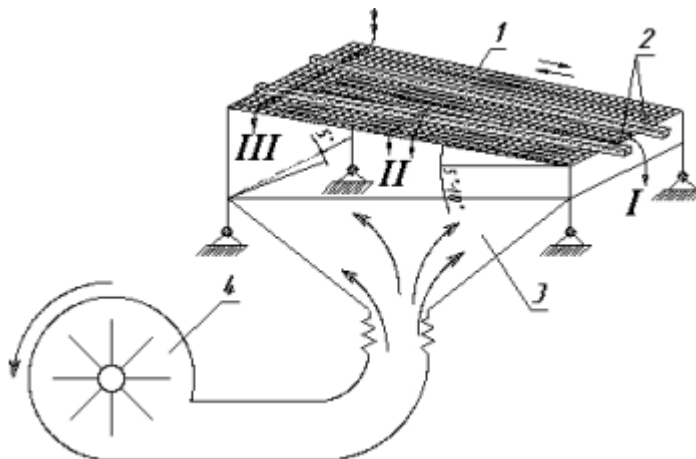


Рис.1.2. Схема роботи пневматичного сортувального столу: 1 – дека; 2 – рифи; 3 – повітряна камера; 4 – вентилятор.

В коливальний рух дека приводиться від ексцентрикового валу, швидкість обертання якого можна регулювати варіатором. Під декою розміщена повітряна камера 3, в яку вентилятором 4 нагнітається повітря.

Зерна, призначене для очищення і сортування, подається живильним пристроєм у верхній кут деки. Під дією коливань і повітряного потоку, який через отвори діаметром 0,5-0,6 мм в сітчастому дні надходить із повітряної камери, зерна розшаровується, так як кожна частинка обдувається повітряним потоком і вся маса знаходиться в стані «кипіння». При цьому зерна з найбільшою густиною опускаються крізь шар на дно деки у вихід I.

Зерна і домішки зі середньою густиною (легкі та домішки бур'янів) піднімаються вгору (вспливають) і рухаються поверх рифів у вихід II, а зерна і домішки з малою густиною (легке насіння) проходить до виходу III.[11-13.]

1.2.3. Сепаратор універсальний СВУ-60

Сепаратор призначений для очищення і сортування зернових, колосових, зернобобових, технічних і маслянистих культур і насіння трав, що використовуються, як для посіву так і на продовольчі цілі.

Сепаратор призначений для роботи в складі технологічного обладнання зерно і самоочисних агрегатів та комплексів продуктивністю 20, 30 і 80 т/год, а також у складських приміщеннях в складі спеціальних ліній.

Сепаратор СВУ-60 складається із рами, двох аспіраційних систем, чотирьох з'єднувальних попарно решітних станів, головного ексцентрикового пристрою, повітряної колонки, живильного пристрою і електропривода (рис. 1.3).

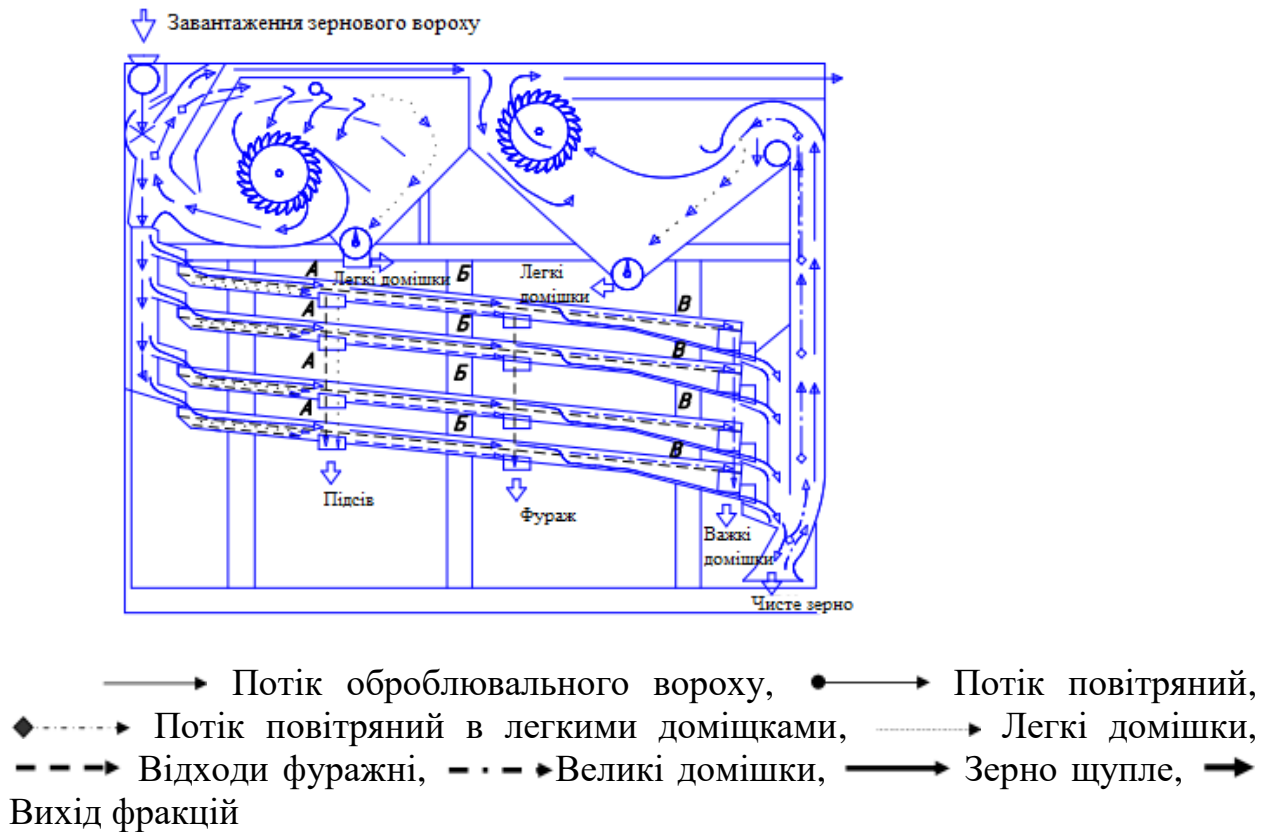


Рис. 1.3. Технологічна схема

Зерновий ворох направляється в живильний пристрій, який рівномірно розподіляє зерновий матеріал по ширині приймальної камери сепаратора. Бітер живильного пристрою викидає зерновий ворох у повітряний канал камери 1-ї аспіраційної системи, де вхідний потік повітря виносить легкі домішки (солону, легкі колоски, головки бур'янів та ін.) у відстійну камеру. В камері відбувається їх осадження, а приймаюче в робочому циклі повітря направляється у вентилятор для повторного використання у робочому циклію. Швидкість повітряного потоку регулюється заслінкою. Надлишок запиленого повітря (біля 15%) направляється у камеру 2-ї аспіраційної системи.

Очищений від легких домішок зерновий ворох подається на решітне очищення. Легкі домішки шнеком виводяться із відстійної камери у вертикальну.

Пройшовши часткове очищення в камері 1-ї системи аспірації зерновий ворох розділяється на дві частини і надходить у розподільчий пристрій, де в свою чергу кожна із частин також поділяється на дві рівні частини і подається на решето А (рис. 1.3) чотирьох паралельно працюючих решітних станів.

Решета А (підвісні) виділяють із зернового вороху дрібні домішки, бур'ян, які направляються у бункер відходів. Зійшовши з решіт А зерновий ворох надходить на решета Б (сортувальні), де із вороха виділяється дрібне і щупле зерно, яке використовується на продовольчі потреби. На наступних решетах В (колосові) здійснюється очищення зернового вороху від великих домішок, а чисте зерно направляється у повітряну колонку (пневмоколонку).

Щупле і травмоване зерно, а також легкі домішки, виносяться у відстійну камеру, осаджуються, а запилене повітря вентилятором виводиться за межі машини в аспіраційну систему технологічної лінії. Очищений матеріал виводиться у приймальник (бункер). Регулювання швидкості повітряного потоку здійснюється заслінкою [14].

Переваги конструкції сепаратор СВУ-60:

-розвинута решітна система, що складається із чотирьох паралельно працюючих решітних станів площею 17,5 м², сепаратор СВУ-60 дозволяє отримати високу якість очищення;

- для очищення решіт використовують шари із спеціальних сортів гуми, що не потребують додаткового налаштування при тривалій роботі сепаратора;

- оригінальна конструкція зон очищення дозволяє виключити забиття решіт при роботі сепаратора (так звані мертві зони).

Недоліки сепаратора є: невисока ефективність розділення зернового потоку на фракції; низький показник вилучення легких фракцій (домішок, сміття); висока енергоємність процесу сепарування.

1.2.4. Віброневмосепаратори

Процес віброневматичного сепарування протікає на шорсткій робочій поверхні, що здійснює коливання в аерованому потоці зернової суміші. Цей процес є дуже складний через безліч зв'язків рухомих частинок зернової суміші, які взаємодіють одна з одною, повітряним потоком і поверхнею.

Напрямок коливання робочих поверхонь завжди перпендикулярно напрямку рифлів. Це пояснюється тим, що важкі фракції зернової суміші, опускаються на його поверхню і переміщуються між рифлями. Легкі домішки розміщуються над рифлями і рухаються під нахилом.

Для фракційного розділення рухомого зернового потоку при закінченні робочої поверхні встановлюються дільники різних типів. На рис. 1.4. схематично наведено вібросепаратор з трьома типами дільників: ножові, решітні та шахтні.

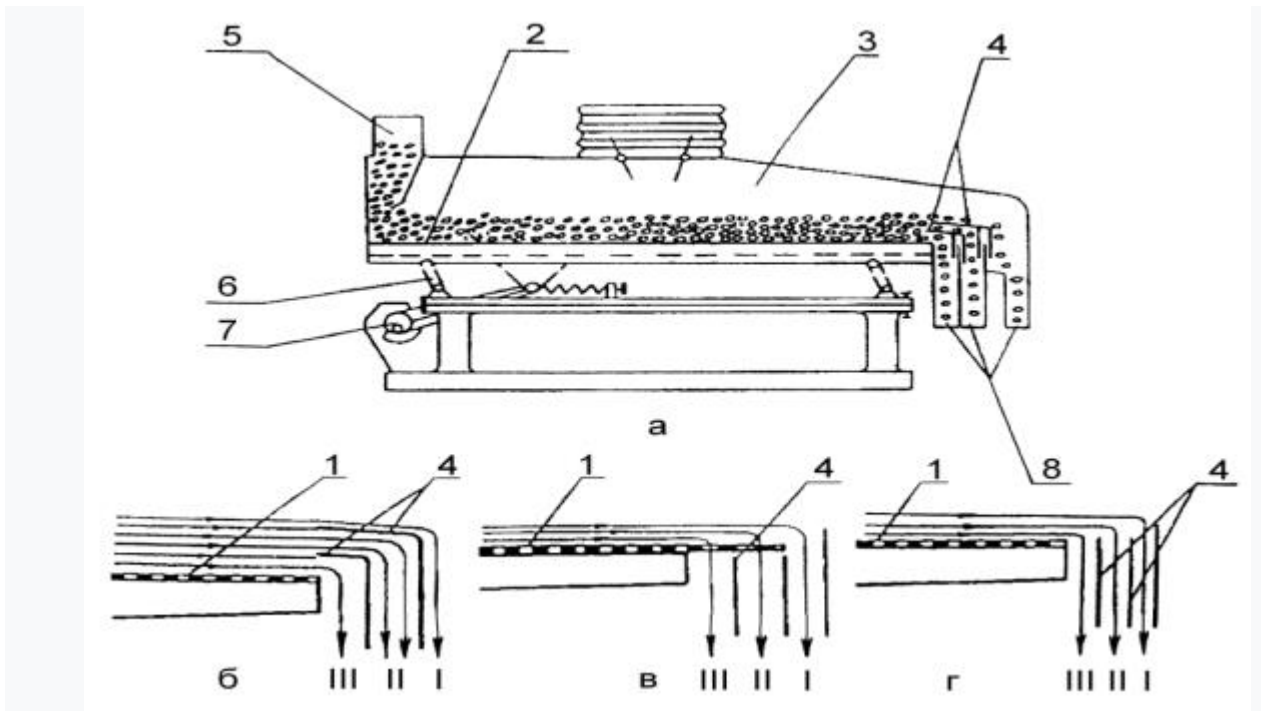


Рисунок 1.4. Віброневмосепаратор і варіанти ділильників зернового потоку: а – віброневмосепаратор; б – ножовий ділильник; в – решітний; г – шахтний; 1 – розвтажувальний кінець робочого органу; 2 – робочий орган; 3 – повітрязабірна камера; 4 – ділильник перезрідженого шару; - приймальний пристрій; 6 – рухома опора; 7 – привід; 8 – канали відведення продуктів розділення.

Перший тип ділильників, що використовуються при розподілі рухомого зернового потоку на дві фракції. У випадку встановлення додаткових ножів суттєво погіршується якість процесу сепарації із-за порушення структури шарів у місцях розміщення ділильників.

Другий тип (решітний) ділильника забезпечує більш рівномірний розподіл шайв зернової суміші. Решітний ділильник забезпечує поділ на фракції на 10-15% більше, ніж перший. Але через зміщення шарів при русі по решету у них не висока якість сепарування.

Третій тип (шахтний) рахується найбільш ефективним, він забезпечує розділення зернової суміші на три фракції у відповідності із заданими вимогами.

Загальну класифікацію віброневмосепараторів (рис. 1.5) можна представити за наступними признаками:

- типу повітряної частини – з нагнітальною і вакуумною пневмосистемою;
- формі робочого органу (деки) – прямокутна, трапецієподібної та деки, що має форму тіла обертання.

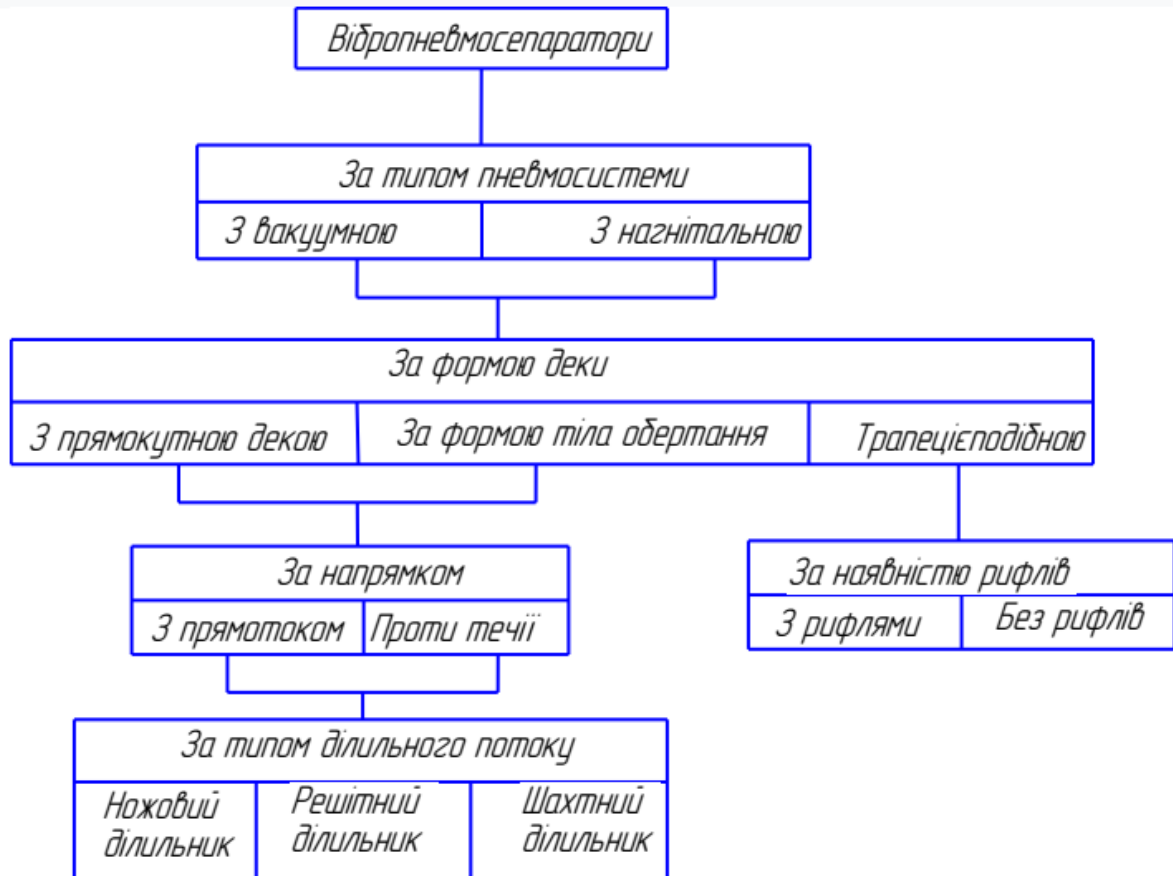


Рисунок 1.5. Класифікація вібропневмосепараторів.

Найбільшого розповсюдження в переробці сільськогосподарської продукції знайшли вібропневмосепаратори з трапецієподібними робочими органами.

Процес сепарування в даному пристрої складається з двох взаємододаткових фаз: самосортування (розшарування) зернової маси і роздільний рух компонентів зернової маси до різних точках робочої поверхні.

Робочі органи пневмосортувальних столів можуть виконуватись із різних елементів в залежності від їх функціонального призначення і потрібної продуктивності. Зазвичай ці сита, пробивні решета і просівально-втяжні решета з жалюзними виступами.

Висновки по розділу 1

У даному розділі із проведеного аналізу конструктивних рішень, що використовуються при створенні зернових сепараторів, дозволяють зробити деякі висновки. Зерноочисне обладнання, яке використовується на переробних сільськогосподарських підприємствах має ряд недоліків:

- у зв'язку з нерівномірним розподілом по всьому об'єму зернової маси видалення легких домішок стає проблематично;

- для досягнення необхідних результатів необхідно використовувати велику кількість зерноочисного обладнання, а процес зерноочищення стає багаторазовим і періодичним.

Одним із шляхів усунення вищезазначених недоліків є розроблення і впровадження на підприємствах нового компактного обладнання і пристосувань, що дозволяють підвищити інтенсивність самосортування зернової суміші на робочих органах, використовуючи принцип вібраційної сепарації.

Для досягнення задач у кваліфікаційній роботі необхідно поставити наступні цілі.

- визначити напрямок інтенсифікації процесу сепарування;
- визначити показники, що характеризують якість проведення сепарування;
- розробити теоретичні положення підфарного руху зернової маси при вібраційному впливі, направленому пердикулярно рифлям робочого органу;
- розробити нові робочі органи, що підвищать показники ефективності видалення легких домішок із зернової маси.

РОЗДІЛ 2.

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНА

2.1. Модель руху зернової суміші на поверхні рифлів

Для теоретичного опису вібраційного переміщення зернової суміші на поверхні рифлів у вигляді прямолінійних пластин, будемо рахувати верхній шар матеріальної точки вагою $m_{\text{вер}}$, який пов'язаний силами сухого тертя з нижнім шаром, що здійснює коливання разом з робочим органом. Відповідно, при дослідженні руху верхнього шару зернового вороху будемо розглядати рух матеріальної точки по нахиленій поверхні, що здійснює горизонтальні гармонійні рухи у напрямку перпендикулярному лінії найбільшого нахилу. При дослідженні руху нижнього шару розглянемо елемент об'єму між суміжними рифлями, враховуючи його матеріальну точку, яка рухається між суміжними рифлями без утворення зазорів і без ударів об бокові поверхні рифлей. При цьому внаслідок коливань робочого органу матеріальна частинка має поперемінно силовий контакт з боковою поверхнею то однієї рифлі, то іншої.

Рух матеріальної частинки розглянемо як суму переносного разом з робочою поверхнею і відносно поверхні в системі координат, жорстко зв'язаний з робочим органом. Вісі системи координат розміщені наступним чином: вісь x направлена вздовж рифлів; вісь y – перпендикулярно лінії найбільшого нахилу поверхні); вісь z – перпендикулярно площині робочої поверхні (рис. 2.1).

Робоча поверхня здійснює горизонтальні гармонійні коливання за законом

$$\begin{cases} y = A \sin \omega t \\ \dot{y} = A \omega \cos \omega t \\ \ddot{y} = -A \omega^2 \sin \omega t \end{cases}, \quad (2.1)$$

де A і ω – амплітуда і частота коливань робочої поверхні.

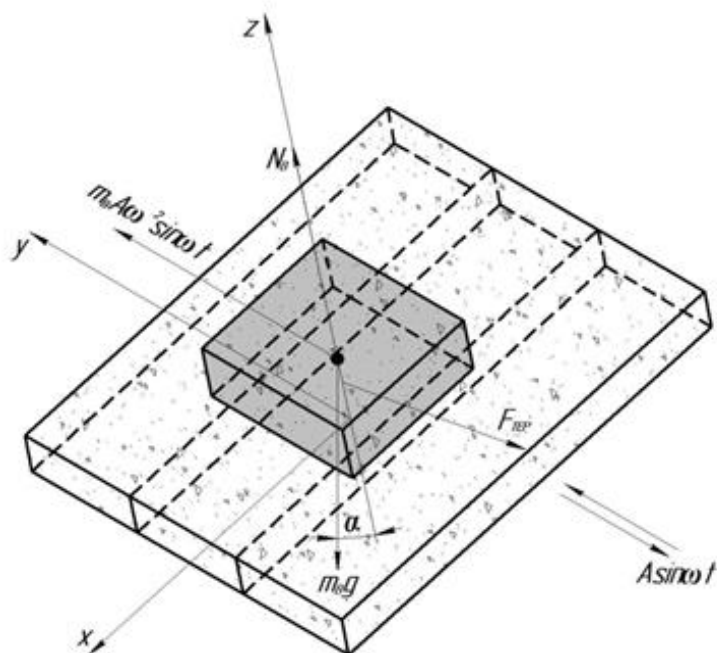


Рис. 2.1. Схема сил, що діють на частинку у відносному русі

На рис. 2.1 представлена схема моделі – матеріальної частинки вагою $m_{\text{вер}}$ і показані наступні діючі на неї сили:

$P_{\text{вер.рух}} = m_{\text{шар}}A\omega^2 \sin\omega t$ – сила інерції руху;

$F = m_{\text{шар}}g$ – сила тяжіння частинки;

$N_{\text{вер}}$ – нормальна реакція вижнього шару;

$F_{\text{тер}}$ – сила тертя об нижній шар, що здійснює коливання разом з робочою поверхнею.

Сила тертя $F_{\text{тер}}$ направлена напроти відносної швидкості верхнього шару відносно нижнього. Проекція моделі на площину робочої поверхні, як зображено на рис. 2.2., сила тертя $F_{\text{тер}}$ утворює з вісю y кут ε .

На матеріальну точку в площині паралельній площині робочої поверхні діють дві сили взаємно перпендикулярні сили, які можуть викликати рух частинок відносно поверхні. Перша сила – сила інерції руху, рівна $m_{\text{шар}}A\omega^2 \sin\omega t$. Інша сила – сила скочування, рівна $m_{\text{шар}}g \sin\alpha$ проекції сили тяжіння частинки на лінію найбільшого схилу. Таким чином, матеріальна частинка, знаходиться на похилій площині в тому випадку, коли сума

переносної сили інерції і скочування, буде більше сили тертя $F_{\text{тер}}$. Умови руху матеріальної частинки відносно робочої поверхні мають вид:

$$\sqrt{(m_{\text{шар}}A\omega^2 \sin\omega t)^2 + (m_{\text{шар}}g \sin\alpha)^2} \geq F_{\text{тер}}, \quad (2.2)$$

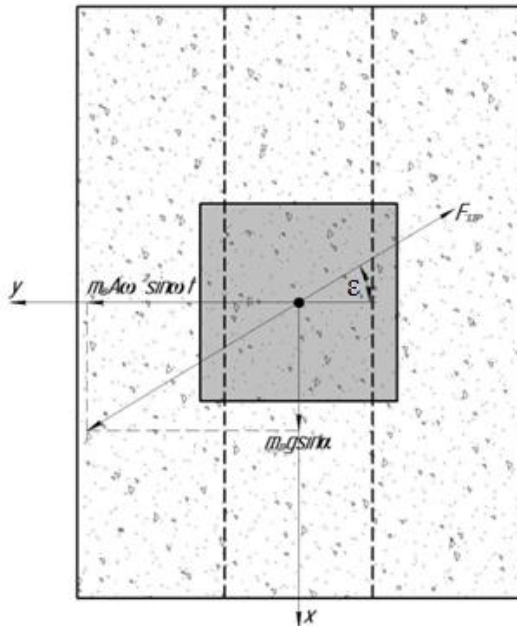


Рисунок 2.2. До визначення напрямку сили тертя $F_{\text{тер}}$

Знак рівності у виразі (2.2) відповідає умові відносного руху частинки. Але потрібно зауважити, що матеріальна частинка може здійснювати рух відносно поверхні в напрямку, що співпадає з напрямком рівнодіючої сили, яка

Сумою переносної сили інерції і скочувальної сили. Диференціальне рівняння відносно руху частинки в проекції на вісі координат для випадку ковзання частинки в напрямку вісі y мають вигляд:

$$m_{\text{шар}}x = m_{\text{шар}}g \sin\alpha - F_{\text{тер}} \sin\epsilon; \quad (2.3)$$

$$m_{\text{шар}}y = m_{\text{шар}}A\omega^2 \sin\omega t - F_{\text{тер}} \cos\epsilon; \quad (2.4)$$

$$m_{\text{шар}}z = -m_{\text{шар}}g \cos\alpha + N_{\text{вер}}; \quad (2.5)$$

В розглянутому вирадку рух частинки вздовж вісі x можливе тільки в позитивному напрямку. Знак проекції сили тертя $F_{\text{тер}}$ на вісь x не залежить від напрямку ковзання частинки вздовж вісі y . При ковзанні частинки вздовж вісі y має місце симетрії рухомих сил і сил опору руху частинки.

Так як рух частинки відбувається без підкидання, тоді $z = const$ і $\ddot{z} = 0$, з рівняння (2.5) отримаємо вираз сили нормального руху:

$$N_{\text{вер}} = m_{\text{шар}} g \cos a. \quad (2.6)$$

Відповідно

$$F_{\text{тер}} = N_{\text{вер}} \theta_{\text{оп}} = m_{\text{шар}} g \theta_{\text{оп}} \cos a, \quad (2.7)$$

де $\theta_{\text{оп}}$ – коефіцієнт опору здвигу верхнього шару відносно нижнього.

Тоді мінімальне значення сили $P_{\text{тер}}$ інерції переносного руху, при якому частинка може озпочинати відносний рух має вигляд:

$$P_{\text{тер}} = m_{\text{шар}} g \sqrt{(\theta_{\text{оп}} \cos a)^2 - \sin^2 a}. \quad (2.8)$$

Максимальне значення кута ε може бути визначено за формулою:

$$\varepsilon_{\text{max}} = \arctg \frac{\sin a}{\sqrt{(\theta_{\text{оп}} \cos a)^2 - \sin^2 a}}. \quad (2.9)$$

Максимальне значення кута ε може бути також визначено за формулою:

$$\varepsilon_{\text{max}} = \arccos \frac{\sqrt{(\theta_{\text{оп}} \cos a)^2 - \sin^2 a}}{\theta_{\text{оп}} \cos a}, \quad (2.10)$$

або

$$\varepsilon_{\text{max}} = \arcsin \frac{\sin a}{\theta_{\text{оп}} \cos a}. \quad (2.11)$$

Мінімальне значення кута ε приймаємо при масимальному значенні сили інерції $m_{\text{шар}} A \omega^2 \sin \omega t$ руху. Як зазначено вище, сила інерції приймає максимальне значення при $\sin \omega t = 1$, яке рівне $m_{\text{шар}} A \omega^2$. Мінімальне значення кута ε визначаємо за формулою:

$$\varepsilon_{\text{min}} = \arctg \frac{g \sin a}{A \omega^2}, \quad (2.12)$$

Аналіз формул для визначення максимального і мінімального значення кута ε дозволить зробити наступні висновки. Максимальне значення кута ε не залежить від кінематичних параметрів (амплітуда і частота) коливань робочої поверхні, а залежить від кута a нахилу поверхні до горизонту і від коефіцієнта $\theta_{\text{оп}}$ тертя ковзання верхнього шару відносно нижнього. Мінімальне значення кута ε залежить від амплітуди і частоти (кінематичних параметрів) коливань робочої поверхні і від кута a її нахилу.

Відмітим деякі особливості вібраційного переміщення матеріальної точки. Рух частинки відносно робочої поверхні відбувається в результаті спільної дії двох взаємно перпендикулярних сил: сили інерції переносного руху і скочувальної сили. При цьому частинка здійснює рух відносно поверхні в тому випадку, якщо сума вказаних сил перевищує силу тертя, тобто при виконанні нерівності (2.2).

Напрямок руху частинки співпадає з напрямом сили, що є геометричною сумою переносної сили інерції і скочувальної сили. Таким чином, частинка здійснює рух відносно поверхні в напрямку, що утворює кут ε з вісю y .

Відповідно початок і закінчення руху частинки відносно поверхні вздовж осей x і y півпадають по часу і фазовому куті. Як встановлено вище, частинка може здійснювати рух вздовж вісі y як в позитивному, так і в негативному напрямку. При цьому частинка може здійснювати рух вздовж вісі y в двох режимах. Або в режимі двостороннього ковзання без пауз, або в режимі двохстороннього ковзання з двома паузами. Вздовж вісі x частинка може здійснювати рух тільки в позитивному напрямку. Існування такого руху вздовж вісі x може бути доведено наступним чином. Як видно із рівняння (2.3) вздовж вісі x на частинку діють дві сили: скочувальна сила $m_{\text{шар}}g\sin\alpha$ – проекція сили тяжіння на вісь; сила $F_{\text{тер}}\sin\varepsilon$, що представляє собою проекцію сили тертя на вісь. Із двох сил, що діють на частинку вздовж вісі x , роль рухомої сили може виконувати тільки скочування сила $m_{\text{шар}}g\sin\alpha$. Так як напрямок руху частинки співпадає з напрямом рухомої сили, то це означає, що частинка може здійснюватись рух у двох режимах: або в режимі одностороннього ковзання без пауз, або в режимі одностороннього ковзання з двома паузами. Слід відмітити, що якісні характеристики режимів відносного руху частинки представлені, як прийнято в основні робіт з теорії вібраційного переміщення, за один період коливань робочої поверхні.

Наведемо ще один доказ того, що рух частинок вздовж вісей x і y починається одночасно.

Із рівняння (2.3) слідує, що частинка ковзає в позитивному напрямку вісі x , якщо виконується нерівність:

$$m_{\text{шар}} g \sin \alpha > F_{\text{тер}} \sin \varepsilon. \quad (2.13)$$

Після підстановки виразу сили тертя $F_{\text{тер}}$ із рівня (2.7) в нерівність (2.13) і перетворень отримаємо:

$$\sin \alpha > \theta_{\text{оп}} \cdot \cos \alpha \cdot \sin \varepsilon. \quad (2.14)$$

Замітимо, що нерівність (2.13), є умовою відносного руху частинки вздовж вісі x , може бути отримано також із наступного рівняння:

$$\ddot{x} = g \cdot (\sin \alpha - \theta_{\text{оп}} \cos \alpha \cdot \sin \varepsilon), \quad (2.15)$$

Як відмічено вище, кут ε , який утворює сила тертя $F_{\text{тер}}$ з вісю y , є величиною перемінною, що залежить від сили інерції $m_{\text{шар}} A \omega^2 \sin \vartheta$ переносного руху. Максимальне значення кут ε прийме у початок відносного руху частинки. Після підстановки максимального кута ε_{max} у формулу (2.12) в нерівність (2.13) останє перетворюється у тотожність. Це означає, що початок руху частинок в позитивному напрямку вісі y і в позитивному напрямку вісі x співпадають за часом і фазовому куту. Таким чином, наданий доказ ще раз підтверджується правильність отримання висновків про те, що частинка одночасно починає і закінчує рух вздовж вісей x і y .

Для визначення залежності швидкості частинки вздовж вісі x про інтегруємо рівняння (2.15) в межах від τ_1 до поточного значення фазового кута $\tau < 2\pi < \tau_1$ і від $\dot{x} = 0$ до поточного значення швидкості $\dot{x} > 0$

$$\dot{x}(\tau) = \frac{g}{\omega} \cdot (\sin \alpha - \theta_{\text{оп}} \cos \alpha \cdot \sin \varepsilon) \cdot (\tau - \tau_1). \quad (2.16)$$

Для визначення залежності переміщення частинки вздовж вісі x при її ковзанні у від'ємному напрямку вісі y про інтегруємо рівняння (2.16) в межах до τ_1 від поточного значення фазового кута $\tau < \tau_1$ і від $x = 0$ до поточного значення переміщення $x > 0$.

$$x(\tau) = \frac{g}{\omega^2} \cdot [-(\sin a - \theta_{\text{оп}} \cos a \cdot \sin \varepsilon) \cdot \tau_1 \cdot (\tau - \tau_1) + (\sin a - \theta_{\text{оп}} \cos a \cdot \sin \varepsilon) \cdot \frac{\tau^2 - \tau_1^2}{2}]. \quad (2.17)$$

Для визначення повних переміщень частинки вздовж вісі x при її ковзанні в позитивному і від'ємному напрямку вісі y поставимо в рівняння (2.17) відповідно $\tau = \tau_2$ і $\tau = \tau_{2-}$. Отримаємо: повне переміщення частинки вздовж вісі x на інтервалі її ковзання в позитивному напрямку вісі y

$$x_{1'} = \frac{g}{\omega^2} \cdot [-(\sin a - \theta_{\text{оп}} \cos a \cdot \sin \varepsilon) \cdot \tau_{2'} \cdot (\tau_{2'} - \tau_{1'}) + (\sin a - \theta_{\text{оп}} \cos a \cdot \sin \varepsilon) \cdot \frac{\tau_{2'}^2 - \tau_{1'}^2}{2}], \quad (2.18)$$

повне переміщення частинки вздовж вісі x на інтервал її ковзання у від'ємному напрямку вісі y

$$x_{1''} = \frac{g}{\omega^2} \cdot [-(\sin a - \theta_{\text{оп}} \cos a \cdot \sin \varepsilon) \cdot \tau_{2''} \cdot (\tau_{2''} - \tau_{1''}) + (\sin a - \theta_{\text{оп}} \cos a \cdot \sin \varepsilon) \cdot \frac{\tau_{2''}^2 - \tau_{1''}^2}{2}], \quad (2.19)$$

Швидкість частинки вздовж вісі x визначається за формулою:

$$V_{\text{сер}} = \frac{(x_{1'} - x_{1''}) \cdot \omega}{2\pi}. \quad (2.20)$$

При побудові траєкторії частинки шару відносно робочої поверхні вираховуємо її координати x і y при однакових поточних значеннях фази кута τ , що знаходяться в інтервалі значень, відповідних інтервалам відносно руху частинок. Координату x знаходимо з рівняння (2.17). При цьому поточні значення фазового кута змінюються в інтервалі $\tau_{1'}$ до $\tau_{2''}$.

Повне переміщення частинки y' в позитивному і y'' в від'ємному напрямках вісі y отримаємо відповідно із наступного рівняння:

$$y' = A[(\cos \tau_{1'} + z\tau_{1'}) \cdot (\tau_{2'} - \tau_{1'}) - (\sin \tau_{2'} - \sin \tau_{1'}) - z \cdot \frac{\tau_{2'}^2 - \tau_{1'}^2}{2}]. \quad (2.21)$$

і

$$y'' = A[(\cos \tau_{1''} + z\tau_{1''}) \cdot (\tau_{2''} - \tau_{1''}) - (\sin \tau_{2''} - \sin \tau_{1''}) - z \cdot \frac{\tau_{2''}^2 - \tau_{1''}^2}{2}].$$

(2.22)

Рівняння (2.21) відповідає ковзанню частинки в позитивному напрямку вісі y , а рівняння (2.22) ковзання частинки в від'ємному напрямку вісі y .

З [15, 16], що при вивченні руху частинки відносно коливальних поверхонь можна рахувати, що початкова швидкість частинки рівна нулю. Далі можливі два типи руху: 1 – миттєво починається ковзання частинки в позитивному напрямку вісі x ; 2 – відносний спокій (тривала зупинка). Тому, весь інтервал часу (фазового кута) протягом якого розглядається відносний рух частинки, можна розбити на наступні два підінтервали: перший, в будь-який момент часу частинка, що має початкову швидкість рівну нулю, миттєво починає ковзати в позитивний напрямок вісі x ; другий підінтервал, в будь-який момент часу частинка, що має швидкість, рівну нулю, продовжує залишатись у стані відносного спокою. Перший із перерахованих вище підінтервалів позначимо l_+ , другий підінтервал - l_0 . Слід відмітити, що частинка, що має швидкість рівну нулю на підінтервалі l_0 , продовжує залишатись в стані відносного спокою до миттєвого переходу в підінтервал l_+ .

Розбиття на часові вісі (фазового кута $\tau = \omega t$) на під інтервали показано на рис. 2.3. Абсциси точок перетину прямих з синусоїдою визначають межі границі зазначених вище інтервалів.

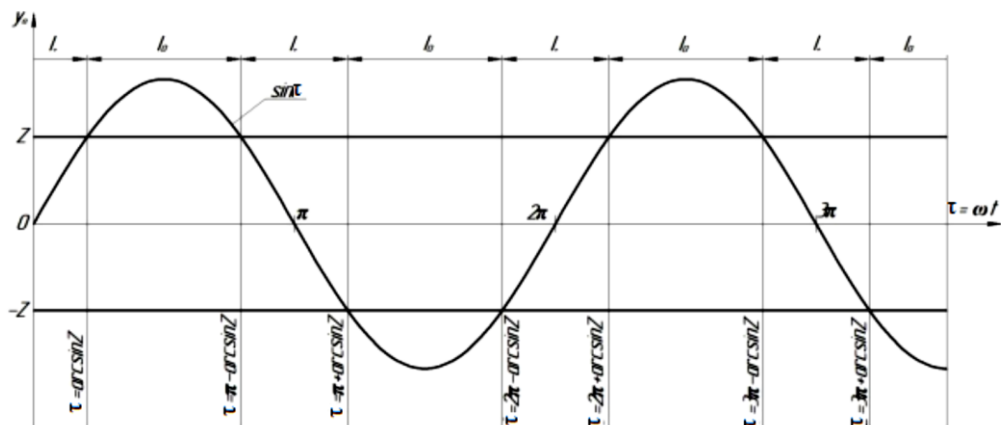


Рисунок 2.3. Розбиття часової вісі на підінтервали

Підінтервал l_+ володіє наступними властивостями: частинка, що здійснює ковзання в положенні направленому вісі x , не може зупинитись в будь-який момент часу, який належить цьому інтервалу.

Підінтервал l_0 володіє наступними властивостями: на під інтервалі частинка або здійснює рух відносно поверхні, або можлива її зупинка. Якщо

на підінтервалі l_0 можлива зупинка частинки, то це означає, що частинка здійснює рух відносно поверхні в режимі паузи. При цьому тривалість паузи рівна інтервалу часу з моменту зупинки частинки до межі закінчення підінтервалу l_0 і початку наступного за ним підінтервалу l_+ . Вочевидь, що якщо на підінтервалі l_0 частинка не зупиняється, то це означає, що частинка здійснює рух відносно робочої поверхні в режимі ковзання без пауз, тобто здійснює рух в режимі неперервного ковзання. Відмітимо, що на підінтервалі l_+ частинка рухається відносно поверхні прискорено, а на підінтервалі l_0 – уповільнено.

2.2. Аналітичне дослідження руху частинок зернового потоку

В якості змінних величин були вибрані: частота коливань робочого органу, кут його нахилу до горизонту, амплітуда коливань, значення коефіцієнта опору.

Дослідження зміни частинок по осям x і y , побудування їх траєкторії представляє не тільки теоретичне, але й практичне значення, оскільки дозволяє визначити технічну продуктивність робочого органу.

На рис. 2.4-2.7 наведені траєкторії шару для різних значень змінних параметрів, побудованих по осям координат x і y .

Для оцінки впливу окремих параметрів будемо розглядати переміщення частинок по осям x і y за повний цикл коливання робочого органу.

На рис. 2.4 зображено вплив коефіцієнта пору частинки f від 0,5 до 0,3. При даному зменшенні коефіцієнта опору амплітуда коливань частинки збільшиться в 1,25 разів, що пояснюється збільшенням сили опору і зростанням рушійної сили.

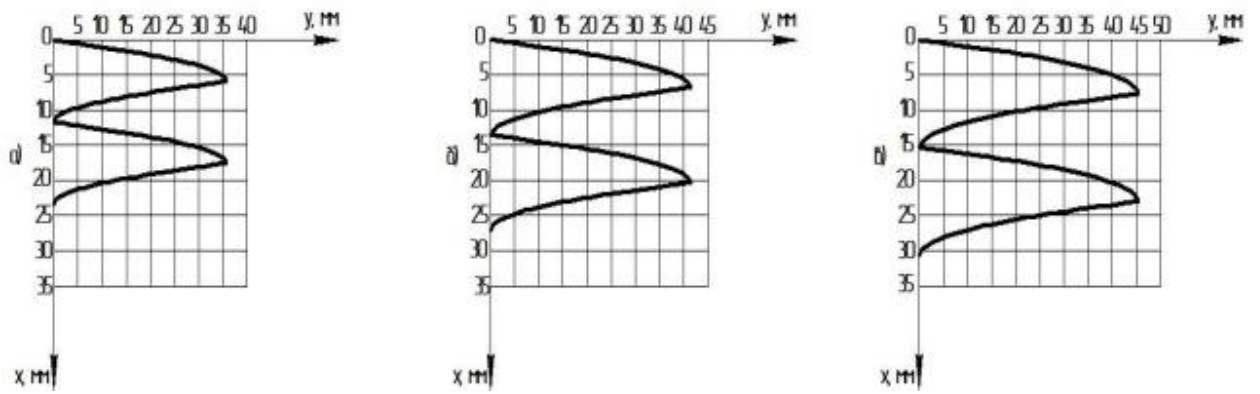


Рисунок 2.4. Траекторія частинки шару для різних значень коефіцієнта опору f , при $A=0,03$ м; $n=300$ кол/хв.: а) - $f = 0,5$; б) - $f = 0,4$; в) - $f = 0,3$.

На рис. 2.5 показано вплив частоти коливань робочої поверхні n при зміні від 350 кол/хв. до 250 кол/хв. При зменшенні n в 1,5 рази амплітуда зменшилась в 1,07 рази, а переміщення по вісі x зросло в 1,9 рази.

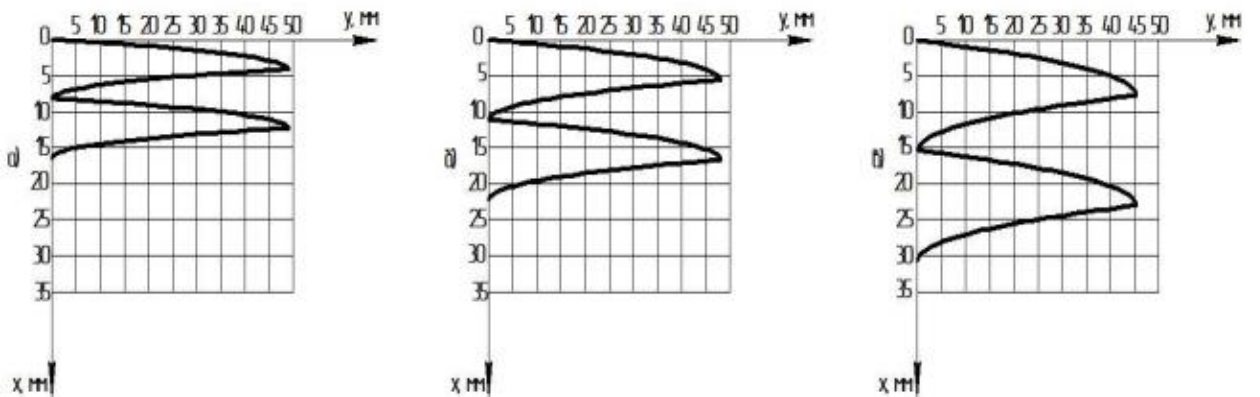


Рис. 2.5. Траекторія частинки шару для різних частот коливань робочої поверхні, при $A=0,03$ м; $f = 0,4$: а) - $n = 350$ кол/хв; б) - $n = 300$ кол/хв; в) - $n = 250$ кол/хв.

Вплив кута нахилу α робочої поверхні при зменшенні від 5° до 3° показано на рис. 2.6. При такій зміні α амплітуда частинки практично є змінюється, в той час як переміщення по вісі x зменшилось в 2,0 рази, що пояснюється меншенням рухомої сили.

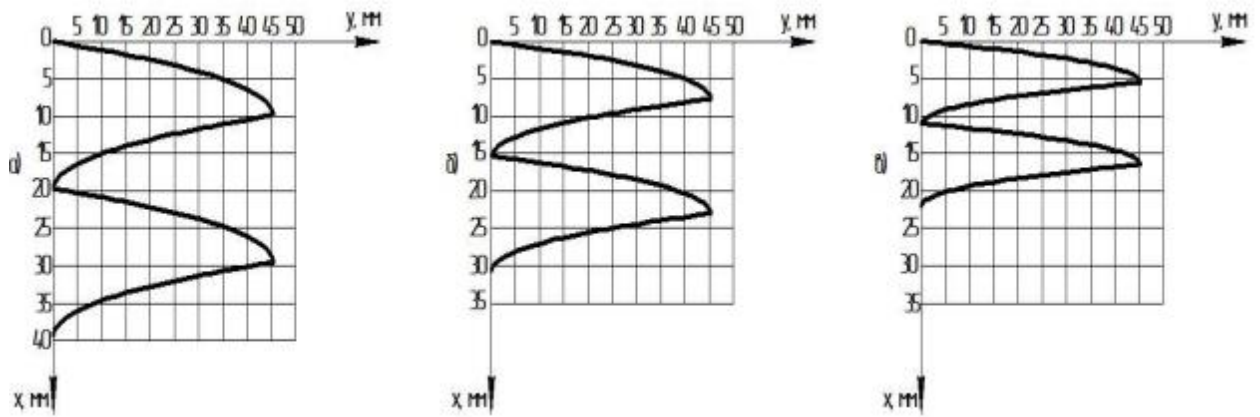
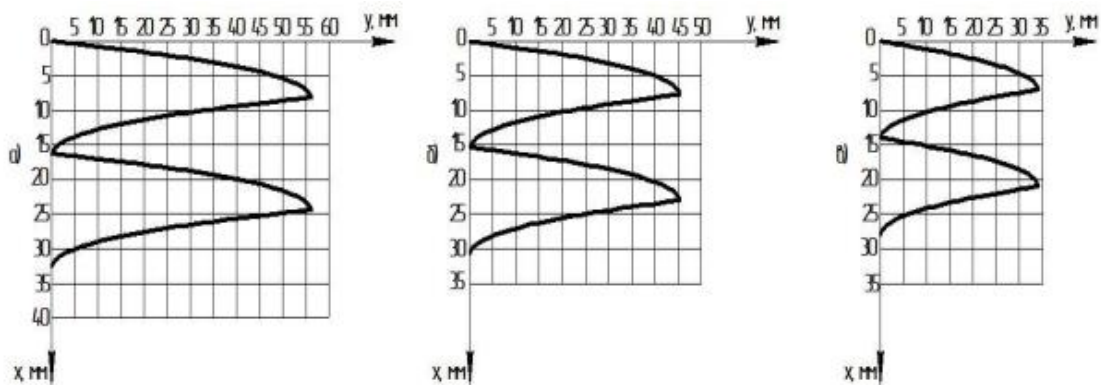


Рис. 2.6.Траекторія частинки шару для різних кутів α нахилу робочої поверхні до горизонталі, при $A=0,03$ м; $f = 0,4$: а)- $\alpha = 5^\circ$; б) $\alpha = 4^\circ$; в) $\alpha = 3^\circ$.

На рис. 2.7. зображено вплив амплітуди коливань A робочої поверхні при зміні значень A від $0,035$ м до $0,025$ м. При зменшенні показники амплітуди в $1,5$ рази переміщення частинки по вісі y зменшилось в $1,6$ рази, а переміщення по вісі x в $1,25$ рази.



2.7. Траекторія частинки шару для різних значень амплітуди коливань робочої поверхні, при $n=300$ кол/хв. $f = 0,4$: а) – $A = 0,035$ м.; б) $A = 0,03$ м.; в)- $A = 0,025$ м.

Висновок по розділу 2

У даному розділі розроблена динамічна модель руху сипучого зернового потоку на поверхні з рифлями прямокутної форми, розміщеними пердикулярно напрямку коливань.

Проведений аналіз траекторії частинки зернового потоку дозволив визначити вплив таких змінних параметрів, як частота і амплітуда коливань робочої поверхні, кут нахилу поверхні до горизонту і коефіцієнт опору

РОЗДІЛ 3.

УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ МАШИНИ ДЛЯ СЕПАРУВАННЯ ЗЕРНА

3.1. Опис експериментальної установки

Експериментальна установка для сепарування зернової суміші складається із робочого органу, привода робочого органу, живильника і ємності для окремого збору продуктів зернового потоку. Живильник подає у верхню частину вихідний продукт та дозволяє рівномірно розподілити суміш з заданим питомим навантаженням, визначаючи товщину продукту на робочому органі. Привід забезпечує горизонтальні гармонійні коливання робочого органу перпендикулярно лінії найбільшого нахилу поверхні й рифлів. Привід робочого органу вмикає електродвигун, варіатор і ексцентриковий механізм. Оскільки торцева 2 і бокова стінки (рис.3.1.) мають висоту більшу висоти рифлів 4, то на поверхні утворюється шар суміші товщиною, що перевищує висоту рифлів.

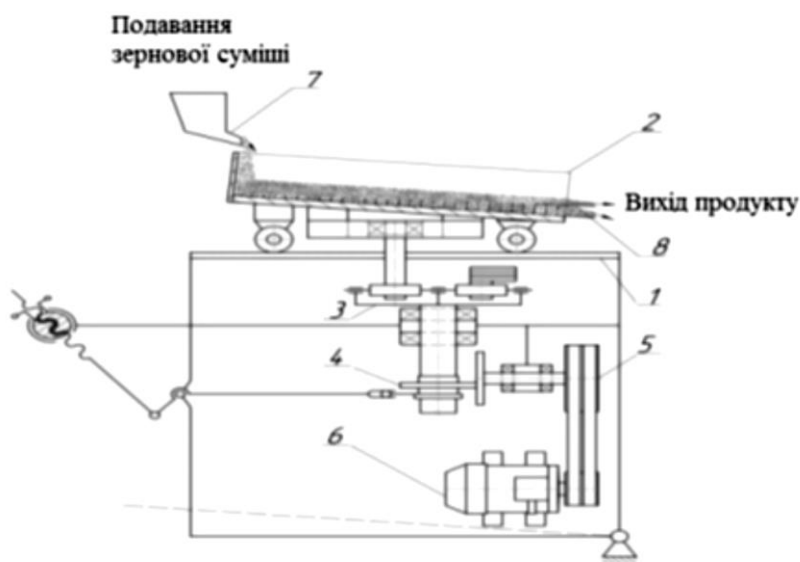


Рисунок 3.1. Схема експериментальної установки: 1 – основа; 2 – канал з закріпленою робочою поверхнею; 3 – ексцентрик; 4 – варіатор; 5 – пасова передача; 6 – електродвигун; 7 – вібраційний живильник; 8 – ніж.

При коливанні робочої поверхні дія рифлів 4 на шар суміші забезпечується її самосортуванням.

Робочий орган (рис. 3.2.) представляє собою сталю опорну поверхню, нахилену до горизонту під незначним кутом, щоб в спокої поверхня була самогальмуюча і було мимовільне ковзання зернової суміші.

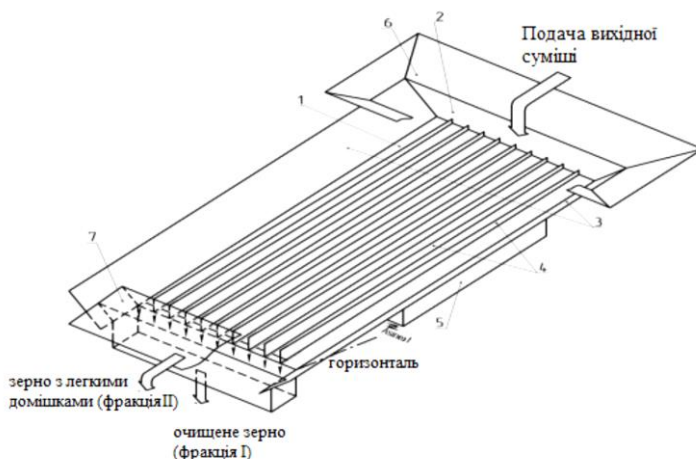


Рис. 3.2. Схема робочого органа: 1 – робочий орган; 2 – стінка; 3 – бокові стінки; 4 – рифлі; 5 – привід; 6 – живильник; 7 – ніж.

Робочий орган 1 обмежений 2, двома боковими стінками 3 і опорною поверхнею, з виконанням на ній вздовж лінії найбільшого ската рифлями 4 виконаними у вигляді трапеції з висотою від 5 мм до 20 мм і кроком 10 мм, між якими відбувається ковзаннями нижнього шару оброблювальної зернової суміші. Встановлений ніж 7 розрізає зерновий потік на дві частини (фракції).

Зворотньо-поступові коливання поверхні забезпечували обертання ексцентрика 3. Спосіб фіксації ексцентрика на вісі за допомогою гвинта дозволяє задавати амплітуду A коливань. Ексцентрик приводиться в рух електродвигуном 6 через клинопасову передачу 5. Можливість змінювати частоту коливань за допомогою варіатора 4.

В нижній сходовій частині робочого органа встановлений ніж – розсікач зернового потоку 7, дозволяє розділити потік на верхній шар, в якому концентруються практично всі легкі домішки, і нижній шар, який формуються із чистого зерна.

Частоту коливань опорної поверхні змінювали за допомогою варіатора. Значення частоти коливань при цьому фіксували цифровим фототахометром з точністю до 0,1 кол/хв.

Амплітуду коливань A робочої поверхні визначали за допомогою лінійки з ціною поділки 1 мм.

Досліджували вплив на процес сепарування наступних кінематичних і установчих параметрів: частота коливань робочої поверхні, кут нахилу, питоме зернове навантаження на робочий орган пристрою.

Частоту коливань робочої поверхні органа змінювали від 150 до 450 коливань за хвилину, кут нахилу робочої поверхні від $2,5^\circ$ до 6° , питоме навантаження опорної поверхні від 0 до 0,6 кг/см \cdot хв.

Продуктивність установки визначали, замірюючи масу переробленої зернової суміші в одиницю часу; питоме навантаження на одиницю ширини опорної поверхні за одиницю часу вираховували за вимірною продуктивністю та відомої ширини опорної поверхні.

Вихід і якість фракції визначали за допомогою зняттям кількісно-якісних балансів. Вагу фракцій і легких домішок в кожній фракції визначали їх зважуванням.

Експерименти проводили при встановленому русі зернового потоку п'ятикратно. Обробку результатів здійснювали наступним чином:

- відсотковий вміст легких домішок (забрудненість):

$$\chi_{\text{ниж}} = \frac{m_{\text{лег.дом.ниж}}}{m_{\text{ниж}}} \times 100\%, \quad \chi_{\text{вер}} = \frac{m_{\text{лег.дом.вер}}}{m_{\text{вер}}} \times 100\%. \quad (3.1)$$

де $m_{\text{ниж}}$ і $m_{\text{вер}}$ – вага зразків нижнього і верхнього шарів (г);

$m_{\text{лег.дом.ниж}}$ і $m_{\text{лег.дом.вер}}$ – вага легких домішок в зразках (г) перемішуючих за одиницю часу;

- ефективність сепарування (відсотковий вміст легких домішок, виділених із нижнього шару

$$E = \left(1 - \frac{\chi_{\text{ниж}}}{0,1}\right) \times 100\%; \quad (3.2)$$

- інтенсивність вилучення легких домішок із нижнього шару

$$I_{\text{л.д}} = \frac{E}{t}, \quad \%/с, \quad (3.3)$$

де t – тривалість вилучення легких домішок із зразка;

- масова частка нижнього шару:

$$\varphi_{\text{ниж}} = \frac{m_{\text{ниж}}}{m_{\text{ниж}} + m_{\text{вер}}} \cdot 100\%. \quad (3.4)$$

3.2. Визначення ефективності та інтенсивності сепарації

3.2.1. Вплив питомого навантаження на робочий орган

Питоме навантаження на робочий орган визначає продуктивність сепаратора, що є одним із основних технічних характеристик машин. При постійній ширині робочого органа питоме навантаження визначає товщину шару зернової суміші на опорній поверхні. Зростання товщини шару призводить до збільшення опору переміщення легких домішок із нижнього шару до верхнього, не дивлячись на те, що при вібраційній дії збільшується порізність шарів сипучих матеріалів.

В даному випадку слід відмітити, що вібраціне переміщення опорної поверхні направлено паралельно цій поверхні, що не надає ущільнюючої дії на потік суміші зерна і легких домішок.

На рис. 3.3. наведені залежності степеня забруднення легких домішок нижнього (графік 1) і верхнього (графік 2) шарів суміші, ефективності вилучення домішок із нижнього шару (графік 3) та інтенсивності вилучення домішок (графік 4) від питомого навантаження при частоті коливань робочого органу 240 кол/хв, амплітуді 30 мм, куті нахилу робочого органу 4° .

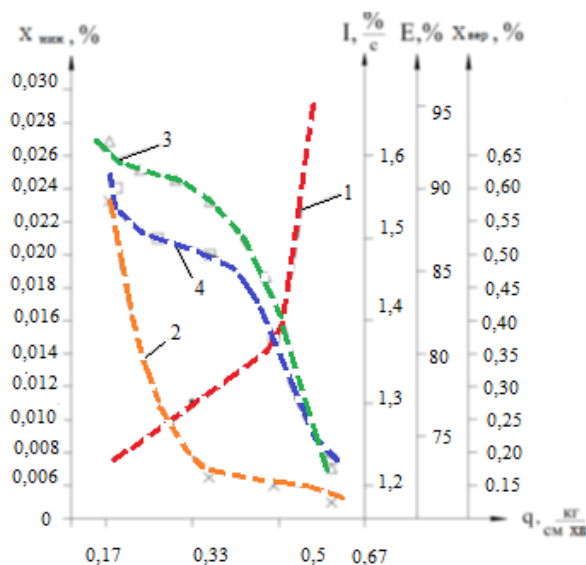


Рис. 3.3. Залежності $\chi_{\text{ниж}}$ – (1); $\chi_{\text{вер}}$ – (2); E – (3); $I_{\text{л,д}}$ – (4) від питомого навантаження на робочий орган

Аналіз приведених результатів показав, що в дослідному діапазоні зміна питомого навантаження відбувається зниження степені забрудненості нижнього шару і зростання того ж показника верхнього шару. Пряма пропорційність відсутня. Так при питомому навантаженні, рівному 0,6 кг/см хв. було виділено із нижнього шару 75% від з того, що були у нижньому шарі лешких домішок, а при нижньому 0,17 кг/см.хв. – 93%. При цьому інтенсивність виділення легких домішок змінювалась з 1,25%/с при 0,6 кг/см хв. до 1,58%/с при 0,149 кг/смхв. приблизно в 1,3 рази.

Таким чином, у всіх дослідженнях діапазону зміни підтвержено висока ефективність процесу вилучення легких домішок.

3.2.2. Вплив частоти коливань робочого органу

На рис. 3.4 наведені залежності для нижнього шару: забрудненість легкими домішками (графік 1), ефективність сепарування (графік 2) та інтенсивність виділення домішок (графік 3) від частоти коливань робочого органу при питомому навантаженні 0,185 кг/см.хв., куті нахилу робочого органу 3°, висоті рифлів 10 мм.

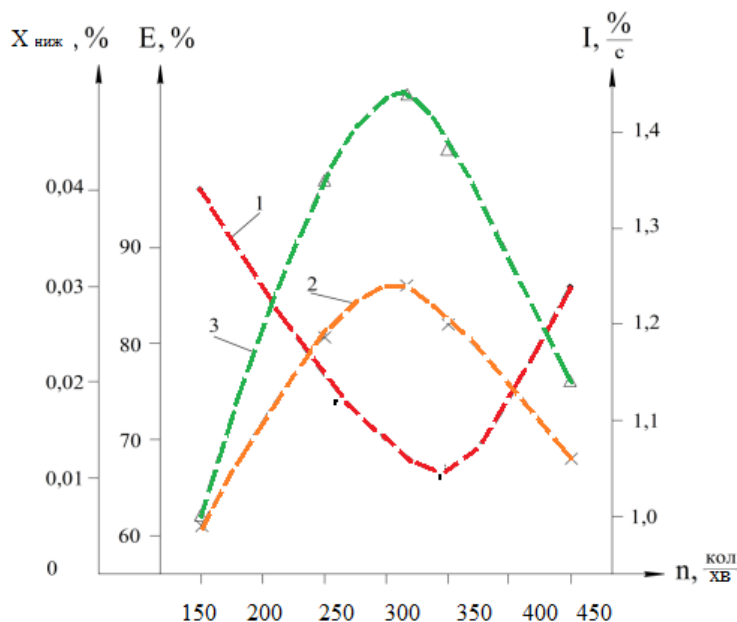


Рисунок 3.4. Залежність $X_{\text{ниж}}$ – (1); E – (2); $I_{\text{л.д}}$ – (3) від частти коливань робочого органу

З рис. 3.4., можемо побачити, що крива забрудненості має чіткий мінімум в діапазоні частот 300...350 кол/хв, це пояснюється тим, що однією із складових рухомої сили для частинок зернового шару є сила інерції, пропорційна квадрату частоти коливань. Збільшення частоти коливань призводить до різкого зростання рухомої сили і швидкості частинок. При цьому зростає вплив бокових стінок робочого органу і спостерігається виникнення перемішування сипучої суміші, зниження ефективності руху та вилучення легких домішок із нижнього шару. З графіку видно, що при збільшенні частоти коливань від 250 до 350 кол/хв ефективність та інтенсивність збільшується, при подальшому збільшенні частоти коливань призводить до зменшення параметрів E і I .

Таким чином, існує визначений діапазок частот робочого, який може бути рекомендований як найбільш доцільний з точки зору ефективності.

3.2.3. Вплив кута нахилу робочої поверхні α

Вплив кута нахилу опорної поверхні робочого органу до горизонту на забрудненість нижнього шару, ефективність та інтенсивність виділення домішок при зміні питомого навантаження зображено на рис. 3.5. При збільшенні кута змінюється забрудненість, зростає ефективність та інтенсивність виділення легких домішок, це пояснюється зміною проекції сили тяжіння частинки нижнього шару на опорну поверхню робочого органу, що призводить до зміни швидкості руху частинки і тривалості перебування частинки в зоні вібраційної дії.

При зміні кута від $3,5^\circ$ до $6,5^\circ$ забрудненість нижнього шару легкими домішками зменшилась приблизно в 1,25 рази, ефективність та інтенсивність процесу збільшилась в 1,02 рази. При питомого навантаженні $0,27$ кг/см \cdot хв зміні кута α від $3,5^\circ$ до 5° практично не вплинуло на якісні показники.

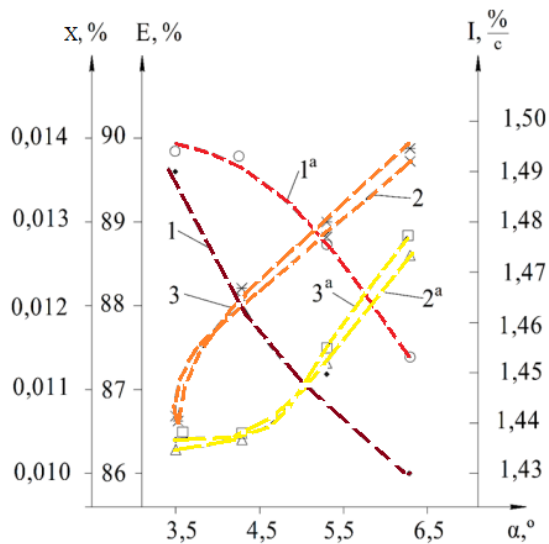


Рисунок 3.5. Залежність X – (1, 1^a); E – (2, 2^a); $I_{л.д}$ – (3, 3^a) від кута нахилу поверхні робочого органу при зміні питомого навантаження; 1, 2, 3 – при 0,2 кг/см·хв; 1^a, 2^a, 3^a – при 0,27 кг/см·хв.

3.2.4. Залежність масової частки нижнього шару

Крім розглянутих залежностей якісних характеристик процесу (E , I) практичний інтерес дослідження впливу тих же змінних параметрів на масову частку нижнього шару в загальному потоці сипучої суміші.

При наявності вібрації за рахунок відносного руху частинок потоку відбувається збільшення прозорості, зменшення густини рухомого потоку. Степінь зміни прозорості потоку залежить від ряду змінних факторів. Зміна стану потоку може характеризуватись величиною масової частки нижнього шару в загальному потоці зернової суміші.

На рис. 3.6 показані залежності масової частки нижнього шару від частоти коливань n , кута нахилу робочої поверхні α і питомого навантаження q .

Залежність від частоти коливань є лінійною з кутом нахилу до вісі абсцис – графік 1. При зазначених параметрах кут нахилу характеризує інтенсивність впливу параметра n , при збільшенні якого від 150 до 350 кол/хв масова частка збільшується в 3 рази, можливо за рахунок зменшення коефіцієнта опору руху частинок нижнього шару. При цьому товщина нижнього шару залишається постійною, а товщина верхнього шару змінюється.

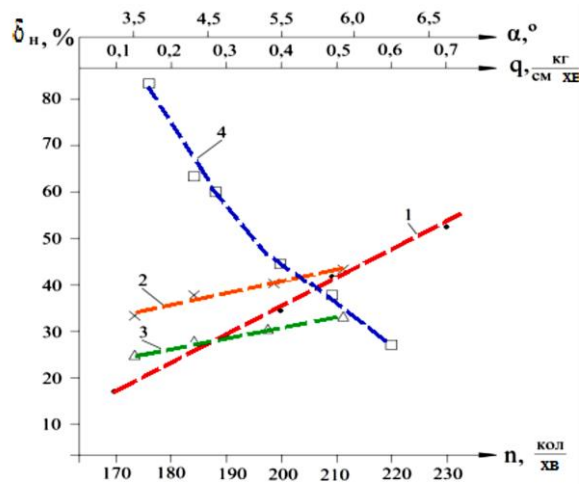


Рисунок 3.6. Залежність масової частки нижнього шару від змінних параметрів.

Другий і третій графіки показує залежність масової частки нижнього шару від кута нахилу α робочої поверхні, на якій знаходиться рифлі, питомого навантаження q на робочий орган, $q = 0,2$ кг/см · хв (графік 2) і $q=0,27$ кг/см · хв (графік 3).

Зі збільшенням кута нахилу поверхні від $3,5^\circ$ до $6,5^\circ$ масова частка зростає з однаковою інтенсивністю приблизно в 1,25 рази. Збільшення питомого навантаження на робочі органи дана залежність зміщується в сторону менших значень масової частки. Зі збільшенням q збільшуються товщина зернового потоку, сила опору руху частинок, зменшується рухома сила, середня швидкість переміщення частинок і масова частка. Так при збільшенні q від 0,15 до 0,6 кг/см*хв, тобто в 4 рази, масова частка зменшується з 83 % до 25 %.

Висновки по розділу 3

Запропонований пристрій, в якому коливання робочого органу направлені перпендикулярно рифлям і лінії найбільшого скочування продукту є високоефективним.

Якісні характеристики процесу виділення легких домішок із нижнього шару – ефективність виділення та інтенсивність залежать від таких параметрів, як питома навантаження зернової суміші на опорну поверхню, кут нахилу робочого органу і частоти коливань робочого органу.

ВИСНОВКИ

У даній роботі проводилось дослідження та теоретично підтверджено можливість реалізації моделі процесу руху шарів зернового матеріалу з максимальною різницею швидкостей для забезпечення стаїльного процесу самосортування.

Представлено динамічну модель процесу руху зернової суміші при прямолінійних гармонічних коливаннях нахиленої поверхні перпендикулярно лінії найбільшого скочування.

Розроблено оригінальну конструкцію робочого органу вібросепаратора та науково обґрунтований спосіб очищення зерна від легких домішок, який полягає в тому, що при вібраційному переміщенні по рифленій поверхні із вихідної зернової суміші виділяються домішки з ефективністю очищення більше 80%, що перевищує ефективність у повітряних сепараторах.

Експериментально визначено, що ефективність процесу сепарування та інтенсивність виділення легких домішок із нижнього шару залежать від таких параметрів, як питоме навантаження зернової суміші на опорну поверхню, кут нахилу робочого органу і частоти коливань робочого органу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сало В.М. Технічне забезпечення підготовки зерна до зберігання: . [Монографія] / В.М. Сало, П.Г. Лузан, Д.В. Богатирьов.- Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф., 2013.- 148 с.
2. Особливості збирання та зберігання врожаю ранніх зернових і технічних культур в умовах 2020 року // науково-практичні рекомендації / Інститут сільського господарства Степу НААН. – Кропивницький, 2020. – 40 с.
3. Олексієнко В.О. та ін. Аналіз методів і засобів очищення та сепарації зерна. Праці ТДАТУ. Вип. 17. Т1. С. 132- 139.
4. Вплив робочих елементів вібросепаратора на травму і якість насіння озимої пшениці та жита / Д. А. Дерев'янку, В. М. Поліщук, О. М. Сукманюк, О. Д. Дерев'янку // Наукові горизонти. - 2020. - № 7 (92). - С. 98–103.
5. Derevjnko, D., Sukmaniuk, E. & Derevjnko, O. (2017). Grain crops injuries and drying modes while seeds preparation. INMATEH – Agricultural Engineering, 53 (3), 89–94.
6. Дацишин О.В. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв/[Дацишин О.В., Ткачук А.І., Гвоздєв О.В. та ін.
7. Тищенко, Л.Н. Моделирование процессов зерновых сепараторов / Л.Н. Тищенко, Д.И. Мазоренко, С.А. Харченко и др. – Харків: Міськдрук, 2010. – 360 с.
8. Пивень М.В. Численное решение задачи о стационарном потоке сыпучей среды на наклонном решете // Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв. Вісник ХДТУСГ. - Харків: ХДТУСГ, 2002. - Вип.9. - С. 40 - 48.
9. Концепція аеродинамічної сепарації насіння сільськогосподарських культур та засоби її реалізації: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.05.11 / В.П. Єрмак ; Терноп. держ. техн. ун-т ім. І.Пулюя. — Т., 2009. — 39 с.

10. Гортинский В.В., Демский А.Б., Борискин М.А. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях. М.: Колос, 1980. 304 с., Веселовский О.Н., Коняев А.Ю., Сарапулов Ф.Н. Линейные асинхронные двигатели. М.: Энергоатомиздат, 1991. 256 с.
11. Тарасенко А.П. Современные машины для послеуборочной обработки зерна. – М: «КолосС», 2008 – 232 с.
12. Халанский В.М., Горбачёв И.В. Сельскохозяйственные машины. М: «Колос», 2004. 624 с.
13. Бушуев Н.М. Семяочистительные машины. Москва– Свердловск: МАШГИЗ, 1962. 238 с/
14. Бурков А.И., Сычугов Н.П. Зерноочистительные машины: Конструкция исследования, расчёт и испытания. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2000. 258 с.
15. Блехман И.И., Гортинский В.В., Птушкина Г.Е. Движение частицы в колеблющейся среде при наличии сопротивления типа сухого трения (к теории вибрационного разделения сыпучих смесей). Известия АН СССР, ОТН, Механика и машиностроение. 1963. № 4. С. 31– 41.
16. Блехман И.И. О поведении твердых тел в вибрирующей сыпучей среде. Обогащение руд. 2012. №4. С. 21 – 24.