

Розділ 6. НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ СЕПАРУВАННЯ ПРОДУКТІВ ЛУЩЕННЯ ЗЕРНА ВІВСА ВІБРОУДАРНИМ МЕТОДОМ

Найважливішою стратегічною проблемою, яка стоїть перед харчовими та переробними виробництвами, є своєчасне забезпечення фізіологічних потреб населення високоякісними, безпечними продуктами харчування. Успішна реалізація цього завдання можлива лише за умов цілковитої реконструкції цих виробництв, що заснована на досягненнях сучасної науки та техніки, створення принципово нових безвідходних та маловідходних ресурсозберезувальних технологій, які забезпечують зниження втрат сировини під час зберігання та переробки.

Вівсяна крупа – давній і поширений серед населення продукт харчування. Особлива цінність вівсяної крупи полягає в її високій поживності, легкій засвоюваності й добрих смакових якостях.

У зв'язку з розробкою і реалізацією Продовольчої програми України Кабінет Міністрів України неодноразово підкреслював незадовільний стан вирощування вівса. Відповідно були прийняті й заходи щодо підвищення виробництва та закупівлі вівса. Стосовно цієї культури підвищена закупівельна ціна й введена надбавка в розмірі 50 % закупівельних цін за продаж її державі (Авдеев А.В., 2002).

Ухвалені Кабінетом Міністрів України заходи дозволяють очікувати найближчим часом істотного збільшення виробництва вівса. Тому перед елеваторною й борошномельно-круп'яною промисловістю стоять завдання розробки нового, модернізації існуючого технологічного обладнання та впровадження новітніх ресурсозберезувальних технологій виробництва вівсяної крупи.

В Україні зі зерна вівса виробляють неподрібнену, плющену (вищого, першого та другого ґатунків) крупу, пластівці та толокно. Продукція виготов-

ляється з пропареного і непропараеного зерна і має відповідати вимогам державного стандарту (ДСТУ 7698:2015. Крупи вівсяні).

Сучасний технологічний процес виробництва вівсяної крупи не відрізняється високим ступенем досконалості, оскільки не забезпечується високий ступінь чистоти готової крупи. Неподрібнена крупа, доброякісне ядро в технології виробництва вівсяної крупи, є найціннішим продуктом. При цьому доброякісне ядро, яке можна було б охарактеризувати як крупу вищого гатунку, не завжди відповідає вимогам стандарту.

Нині найбільш досконалою вважають технологію виробництва вівсяної крупи, розроблену Всесоюзним науково-дослідним інститутом зерна і продуктів його переробки і засновану на використанні круповідокремлюючих машин різних типів на всіх операціях контролю крупи. Дана технологія дозволяє підвищити продуктивність технологічного обладнання і вихід крупи, але якість її залишається на попередньому рівні.

Отже, впровадження технологій, спрямованих на підвищення якості вівсяної крупи, без зниження продуктивності будь-якої ланки технологічного процесу, належить сьогодні до актуальних завдань, які потребують сучасної та обґрунтованої реалізації. Такі заходи дозволять збільшити обсяги виробництва крупи, розширити її асортимент, поліпшити якість й підвищити живильну цінність круп'яних виробів.

6.1. Загальні поняття та аналіз технічних засобів для віброударної сепарації зерна

Недосконалість технологічних процесів серійних зерноочисних машин викликає необхідність використання на технологічних лініях для післязбиральної обробки спеціальних зерноочисних машин для доочищення зернових сумішей. Це призводить до підвищення собівартості зернової сировини, знижує продуктивність, не завжди забезпечує отримання зерна й насіння з високими показниками якості. Тому пошук нових ознак розділення та високоефективних

робочих органів зерноочисних машин для очищення й сортування зерна є актуальною задачею.

Для інтенсифікації різноманітних процесів механічні коливання застосовують часто. Серед них: сепарування, перемішування, різання, розпушення та інші. В галузі сепарування сумішей вібрація використовується досить поширено. Умовно машини для виконання вібраційного сепарування за принципом дії поділяють на саме вібраційної та віброударної дії. Відмінність між ними полягає в тому, що в першому випадку розподіл матеріалу відбувається в основному за рахунок різниці коефіцієнтів тертя, а в другому – різниці коефіцієнтів відновлення при ударі.

Аналізом літературних наукових джерел встановлено, що в Україні абсолютний пріоритет в дослідженнях вібраційної дії на ворох насіння належить Харківській науковій школі (ХНТУСГ ім. Петра Василенка). Передусім це роботи П.М. Заїки, Л.М. Тищенко, В.П. Ольшанського, Ю.О. Манчинського, Н.В. Бакума. Широко відомі також фундаментальні праці П.М. Василенка, Г.Е. Листопада, И.И. Блехмана.

6.1.1. Поняття та класифікація методів сепарування зернових сумішей

Сепарування – одну з найважливіших технологічних операцій на підприємствах зберігання і переробки зерна – використовують для видалення зі зерна домішок у зерноочисних відділеннях млинів, на крупозаводах та при підготовці комбікормової сировини; в розмельних відділеннях при сортуванні продуктів подрібнення, збагачення проміжних продуктів подрібнення зерна, в луцильному відділенні крупозаводів при розділенні зерна на фракції, при сортуванні продуктів луцення, шліфування, дроблення; на комбікормових заводах при сортуванні компонентів комбікормів; в усіх технологіях під час контрольних операцій. Операція сепарування впливає на ефективність проведення практично всіх технологічних операцій, а також на якість готової продукції, рівень використання сировини, на ефективність проведення технології в цілому.

Сепарування, або розділення вихідної суміші сипучого матеріалу на більш однорідні фракції, супроводжується в процесі виготовлення борошна, крупи та комбікормів. Призначення та задачі сепарування досліджували в своїх роботах (В.П. Ольшанський, С.И. Кучеренок, В.В. Бурлака, 2009), які дійшли висновку, що:

1) очищення зерна та іншої сировини від домішок, небажаних у готовій продукції, оскільки вони знижують її якість. У деяких випадках домішки мопогіршують умови зберігання, транспортування зерна, а також його переробки. Крупні мінеральні та металомагнітні домішки можуть стати причиною аварій, запалень та вибухів на переробних підприємствах;

2) сортування вихідної зернової суміші на фракції за крупністю для переробки в продукти різного призначення. Наприклад, видалення дрібного зерна для використання в комбікормовій технології, а крупного – для виробництва високоякісного борошна;

3) поділ зерна на фракції для певної переробки в продукцію однакового призначення, але з метою оптимізації подальших операцій. Наприклад, операція попереднього сортування зерна гречки на фракції для оптимізації процесу лущення та круповідокремлення;

4) видалення кінцевих продуктів технології, наприклад борошна чи крупи в технологічному процесі борошномельного чи круп'яного заводу;

5) видалення проміжних продуктів технології (напівпродуктів) з метою їх подальшої окремої переробки;

6) збагачення проміжних продуктів по крупності – крупок та дунстів у технології борошна та поділу ядра й зерна в технології крупи;

7) контрольне сепарування кінцевих продуктів з метою вловлювання випадкових домішок, надання однорідності кінцевому продукту, а також видалення якісного зерна з відходів.

Сепарування сипких сумішей можливо, якщо:

➤ у вихідній суміші є подільні компоненти, які можуть бути виділені в даному сепараторі;

➤ суміш, що знаходиться в сепараторі, постійно розпушують, аби в середині її могли утворюватися порожнечі достатніх розмірів для проходження окремих частин з внутрішніх шарів до периферійного шару, який межує з поверхнею розділення, наприклад зі ситом, трієрною поверхнею тощо.

Фізичні ознаки, по яких частинки суміші суттєво відрізняються, наприклад геометричні розміри, швидкість витання, можна з найвищою ефективністю використовувати в організації процесу сепарування.

На практиці для організації процесу сепарування здебільшого використовують такі фізичні ознаки, за якими розрізняють матеріал, що сепарується (Манчинський Ю.О. та інші 2008):

- максимальний розмір – довжина;
- максимальний розмір найбільшого за площею поперечного перерізу перпендикулярно довжині – ширина;
- мінімальний розмір того самого перерізу – товщина;
- форма;
- щільність;
- пружність;
- тертя об поверхню;
- магнітні властивості;
- колір та електростатичні властивості.

При організації процесу сепарування зазвичай пов'язують в єдине ціле ознаки різниці компонентів, що розділяються, спосіб сепарування та сепаруючі машини – табл. 6.1 (Ольшанський В.П та інші 2009).

Як правило, зернові суміші та суміші продуктів переробки зерна мають частинки, достатньо близькі за щільністю. І це дозволяє стверджувати, що в разі ситового сепарування переважало самосортування за крупністю (сегрегація). Крім щільності та крупності, на ефективність сепарування впливають форма, стан поверхні частинок, товщина шару та граничне навантаження на робочий орган, частота, амплітуда коливань та інші фактори. За попереднього сепарування в технології борошна, крупи та комбікормів має переваги ситове сепару-

вання, але в технології крупи й комбікормів при розділенні продуктів луцення з високою ефективністю використовується сепарування на вібраційних сортувальних столах.

Таблиця 6.1. Класифікація способів сепарування

Ознака різниці частин	Спосіб сепарування	Машина	Характерний спосіб застосування
1	2	3	4
Довжина	Трієрування	Трієри	Очистка зерна від вівсюга, куколю, видалення ядра вівса з риса та продуктів луцення
Ширина	Просіювання на ситах з круглими та квадратними отворами	Ситові зерноочисні сепаратори	Очистка зерна від домішок, поділ зерна на фракції
Товщина	Просіювання на ситах з прямокутними отворами	Ситові зерноочисні сепаратори	Очистка зерна від домішок
Щільність, коефіцієнт тертя	Поділ у псевдорозрізженому стані	Вібропневматичні каменевідбірники, пневмосортувальні столи	Очистка зерна, крупи від мінеральних домішок, поділ зерна та ядра в продуктах луцення
Швидкість обертання	Пневматичне сепарування	Аспіратори, пневмоканали	Очистка зерна від легких домішок, видалення щуплого зерна
Швидкість обертання, щільність, коефіцієнт тертя	Поділ за зниженням щільності ендосперму та оболонки	Ситовійні машини	Сепарування продуктів подрібнення по добротності (збагаченні)
Розміри	Просіювання на горизонтальних ситах	Розсівні млинні та круп'яні	Сортування продуктів подрібнення
Пружність, коефіцієнт тертя, щільність	Віброударне сепарування	Падді-машини, інші круповідокремлювачі	Видалення ядра з продуктів луцення, контроль круповідокремлення
Форма, коефіцієнт тертя, щільність	Вібраційне переміщення по коміркових поверхнях	Комірковий круповідокремлювач	Видалення ядра з продуктів луцення
Щільність	Самосортування на конічних поверхнях	Каменевідокремлювач дисковий	Очистка зерна від мінеральних домішок
Щільність, коефіцієнт тертя, розміри	Просіювання на нерухомих похилих ситах	Самоплинні круповідокремлювачі	Відбір ядра з продуктів луцення
Магнітні властивості	Магнітне сепарування	Магнітні сепаратори	Очистка від металомагнітних домішок

Сепаратором для розділення сипких сумішей прийнято вважати машину, робочими органами якої є сита з різноманітними отворами, чарунчаста поверхня, пневмосепарувальні камери, магніти, електростатичні елементи, вібростоли та інше обладнання. Зазначимо, що кожен із перелічених органів можна розглядати окремо, як самостійно працюючий сортувальний пристрій, у свою чергу розподілений на низку аналогічних мікропристроїв. Відповідно існуючі сепаратори можна умовно розподілити на три групи: елементарні, прості та складні (Ольшанський В.П. та інші 2009).

Прості сепаратори представляють собою поєднання елементарних сепараторів, що розділяють суміш на дві фракції за однією ознакою. До них відносять ситову поверхню з однаковими за розмірами та формою отворами, трієрну поверхню з однаковими за розмірами та формою чарунками, пневмосепарувальний канал прямокутного та кільцевого перетину, одноразової дії, магнітний сепаратор одноразової дії, деку пневматичного сортувального столу та інше.

Складні сепаратори – декілька простих сепараторів, об'єднаних в одній машині (пристрій, установка). У них сепарують суміші на три та більше фракцій за декількома ознаками. Операції розділення суміші за різними ознаками частинок у складному сепараторі можуть здійснюватися послідовно, паралельно чи комбіновано.

6.1.2 Поняття про подільність зернових сумішей

Можливість сепарування зі заданою ефективністю визначають поділом зерна та сумішей за конкретною ознакою, яка забезпечує найбільш повного розділення вихідної суміші на більш однорідні фракції. Для достовірної оцінки подільності суміші значення ознак оцінюють експериментально та представляють у вигляді варіаційних рядів або варіаційних графіків (полігонів розподілення), отриманих після відповідної обробки статистичних варіаційних рядів.

Кількість разових вимірів повинна бути достатньо великою, щоб забезпечити достовірність отриманої інформації. При представленні експериментальних даних у вигляді статистичних рядів задачу про сепарування вирішують

аналітично; представляючи дані у вигляді полігонів розподілу або гістограм, задачу розв'язують графічно.

Під час вибору способу розділення даної суміші необхідно правильно використовувати геометричні ознаки та фізичні властивості компонентів суміші, в першу чергу ті, які забезпечують найбільш повне розділення суміші на фракції зі заданими показниками якості. Тому більш важливого значення набуває вивчення зміни різноманітних ознак шляхом масових визначень величин: довжини, ширини, товщини, щільності, коефіцієнтів тертя, парусності, форми і та ін.

Результати такого вивчення дозволять вибрати для розділення даної суміші ті з ознак, за якими найбільш різко відрізняються ті компоненти, що нас цікавлять, тобто визначити подільність суміші.

Варіаційні криві двокомпонентної суміші, що складається з основного зерна та дрібних домішок, показані на рис. 6.1.

Заштрихований майданчик між кривою 2 та віссю абсцис відповідає дрібним домішкам, а майданчик між кривою 1 та віссю абсцис – основному зерну. Загальний інтервал Δ_0 відповідає інтервалу всієї суміші, в якому варіює ознака x , що вивчається для обох компонентів.

Частина площі, яка обмежена кривою 1, перекривається заштрихованим майданчиком на ділянці з інтервалом, рівним Δ (рис. 6.1,а). Відповідно ця частина суміші не може бути розділена за даною ознакою (Бурков А.И., 2002).

Останню частину суміші можна розділити на два прийоми:

– частина основного зерна в чистому вигляді, що відповідає майданчику справа від прямої $b - b$, теоретично може бути виділена за робочою ознакою $D + \Delta$;

– частина дрібних домішок у чистому вигляді, що відповідає майданчику зліва від вертикальної прямої $a - a$, виділяють за значенням ознаки D .

Таку суміш тільки частково можна розділити на компоненти в чистому вигляді, тобто її подільність неповна. Отримана суміш має назву – важкороздільна.

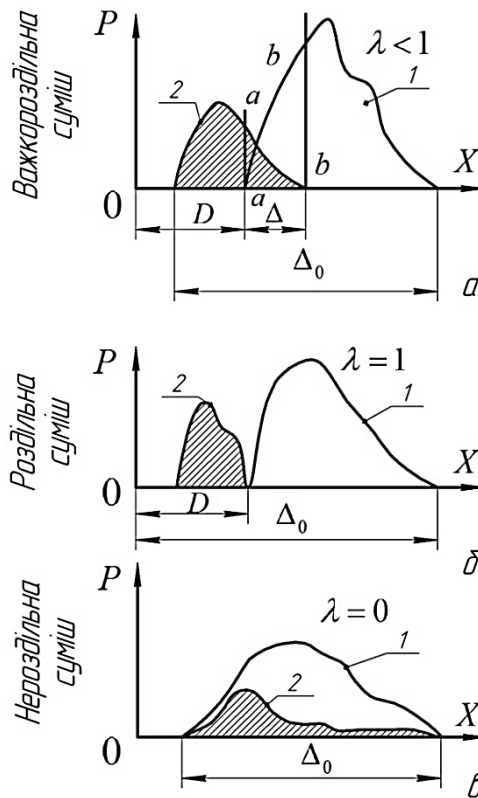


Рис. 6.1. Критерій подільності двокомпонентної суміші:

a – важкороздільна суміш; b – роздільна суміш; $в$ – нероздільна суміш

Інтервал варіювання ознаки, а саме крайнє значення абсцис – дають тільки якісне, але не кількісне уявлення про важкість розділення.

Якісним критерієм подільності суміші домовимося називати відношення інтервалів теоретично можливого розділення компонентів до загального інтервалу суміші.

У нашому випадку подільність двокомпонентної суміші буде характеризуватися таким відношенням (Бурков А.И., Андреев В.Л., 2002).

$$\lambda = \frac{\Delta_0 - \Delta}{\Delta_0} = \frac{1 - \Delta}{\Delta_0}, \quad (6.1)$$

де Δ – інтервал перекриття компонентів;

Δ_0 – інтервал суміші.

При сепаруванні зустрічаються такі характерні випадки двокомпонентної вихідної суміші (Бурков А.Н., 2002):

$\Delta < \Delta_0$, тоді $\lambda < 1$ – суміш важкороздільна (рис. 6.1,а);

$\Delta = 0$, тоді $\lambda = 1$ – суміш роздільна (рис. 6.1,б);

$\Delta = \Delta_0$, тоді $\lambda = 0$ – суміш нероздільні (рис. 6.1,в).

На практиці переважають суміші важкороздільні за однією ознакою, тому для їх сепарування використовують декілька ознак, причому операції розділення можуть перебігати послідовно чи паралельно.

Використовувати послідовно дві ознаки x та y для сепарування двокомпонентної суміші можна, користуючись кореляційною таблицею, а три ознаки x , y , z – просторовими кореляційними решітками.

6.1.3 Технологічний ефект сепарування зернових сумішей

Для аналізу та оцінки технологічного процесу сепарування сипких сумішей, до яких відносять також зернові суміші, існують методи, які дозволяють отримувати найбільш об'єктивні показники ефекту розділення вихідної суміші на компоненти, що її утворюють.

Вихідна суміш – сипка суміш, що надходить в сепаратор для розділення на утворюючі її компоненти.

Фракція – суміш, отримана в результаті сепарування та складається з компонентів, що входять до складу вихідної суміші, але і в інших співвідношеннях.

Чистота фракції – відносний вміст основного компонента в даній фракції чи на виході.

Вихід фракції – відношення кількості матеріалу фракції до кількості вихідної суміші.

Ступінь видалення компонента – відношення кількості компонента на виході або у фракції до кількості того ж компонента у вихідній суміші.

Загальна закономірність процесу розділення базується на тому, що, незалежно від принципу роботи простого сепаратора, вихідна суміш у результаті

сепарування розділяється на дві частини (нові суміші), які якісно відрізняються від вихідної суміші (Бурков А.И., 2002; Воронов І.Г. та ін., 1953).

Нові суміші (фракції) за своїм складом відрізняються високою однорідністю за тими ознаками, що були покладені в основу розділення суміші. Так, у результаті пневмосепарування отримують дві фракції, що відрізняються за аеродинамічними властивостями частинок, при просіюванні – за крупністю та інше.

Отже, можна зробити висновок: чим однорідніші отримані фракції за даною ознакою частинок, тим точніше здійснена операція, тобто вище коефіцієнт розділення.

Якість процесу сепарування або ефект розділення оцінюють повнотою виділення кожного з компонентів у чистому вигляді.

Вище було розглянуто операцію очищення при сепаруванні двокомпонентної суміші (Блехман И.И., Джанелидзе Г.Е., 1964) – рис. 6.1,*а*. При цьому до складу вихідної суміші входять два різноманітних за якістю компоненти: один з них «кращий», а інший – «гірший» (домішки), тобто суміші були неоднорідними. До такої суміші належить пшениця зі смітною домішкою.

Завдання операції очищення передбачало відокремлення від суміші гіршого компонента (домішок) з метою збагачення кращого компонента за найменших втрат останнього у відходи.

У процесі сепарування важливе місце займає операція сортування однорідного продукту на класи (сорти) за певними ознаками. Найчастіше продукт сортують на класи за крупністю.

Практично не отримують фракцій з чистотою, що дорівнює одиниці. Критерієм ефекту сепарування слугує показник *E*.

Для виявлення фізичної сутності цього показника розглянемо результати сортування суміші на дві фракції – рис. 6.2 (Бурков А.И., 2002).

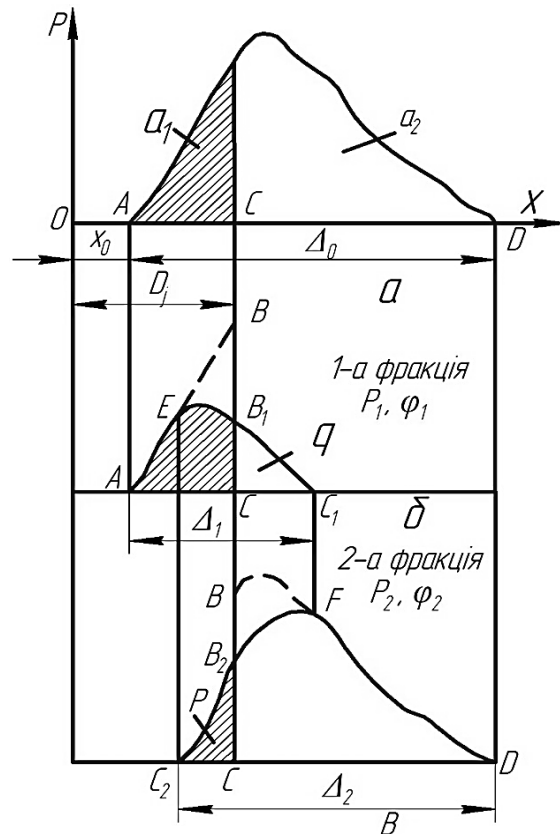


Рис. 6.2. Характеристика розділення суміші на дві фракції:

a – вихідна суміш; b – перша фракція; $в$ – друга фракція

Припустимо, що площа, обмежена ABD та віссю x , представляє в масштабі кількість вихідної суміші $Q = 1$, що надходить до простого сепаратора за одиницю часу (рис. 6.2, a). Указану суміш потрібно розділити за ознакою x на два компоненти: a_1 (площина ABC) та a_2 (площина BCD). При цьому для розділення суміші прийнятий робочий параметр D_i , що пролягає (пряма BC) між компонентами.

У результаті сепарування отримано дві фракції: перша фракція (рис. 6.1, b) у кількості P_1 (площина AEB_1C_1); друга фракція (рис. 6.2, $в$) – у кількості P_2 (площина C_2B_2FD).

У загальному випадку (як результат недоскональності сепарування) кожна з отриманих фракцій складається з частинок (зернівок) обох компонентів. Перша фракція містить деяку частину q (площина $B_1C_1C =$ площині BFB_2) частин, що належать компоненту a_2 , а інша фракція – p (площина $C_2B_2C =$ площині EBB_1) частинок, що належать компоненту a_1 (Бурков А.И., 2002).

Чистота першої фракції дорівнюватиме:

$$\varphi_{11} = \frac{P_1 - q}{P} = \frac{1 - q}{P}; \quad (6.2)$$

чистота другої фракції:

$$\varphi_{22} = \frac{P_2 - p}{P_2} = \frac{1 - p}{P_2}. \quad (6.3)$$

Відповідно ступінь видалення першого компонента в першу фракцію становитиме

$$\eta_{11} = \frac{\varphi_{11} \cdot W_1}{a_1}; \quad (6.4)$$

другого компонента в другу фракцію:

$$\eta_{22} = \frac{\varphi_{22} \cdot W_2}{a_2}, \quad (6.5)$$

де $W_1 = \frac{P_1}{Q}$ – вихід першої фракції;

$W_2 = \frac{P_2}{Q}$ – вихід другої фракції.

Наведені результати підтверджують, що величина показників видалення (6.4) та (6.5) завжди менше одиниці.

Ефект сепарування залежить від геометричних характеристик елементів суміші та фізико-механічних властивостей (наприклад, вологість зерна); від конструкції сепаратора та режиму його роботи; від вимог, що висуваються до продукту сепарування, допустимого вмісту домішок у готовому продукті й т.н.. Ці вимоги регламентуються відповідними державними стандартами, продик-

товані результатами розділення, забезпечуючими сепараторами, та обумовлені подільністю вихідної суміші.

Можна вважати, що за ідеальної роботи простого сепаратора, тобто оптимального режиму, вихідна суміш буде розділена на дві фракції, чистота яких характеризується максимальними показниками a_{11} та a_{22} . Величини їх кількісно визначають подільність даної вихідної суміші в даному сепараторі. Якщо сепаратор працює на оптимальному режимі, то величини показників φ_{11} та φ_{22} (чистота фракцій) завжди будуть менші за вказану. Оскільки $\varphi_{11} > a_1$, вміст першого компонента в першій фракції (її чистота) збільшиться на $\varphi_{11} - a_1$ порівняно з умістом цього компонента у вихідній суміші.

Гранично можлива відносна кількість першого компонента в першій фракції більше кількості у вихідній суміші на $a_{11} - a_1$. Як наслідок, ступінь збагачення першої фракції буде рівний відношенню фактичного приросту в ній концентрації першого компонента до гранично можливої, тобто $\frac{\varphi_{11} - a_1}{a_{11} - a_1}$.

Відповідно ступінь збагачення другої фракції становитиме: $\frac{\varphi_{22} - a_2}{a_{22} - a_2}$.

Загальний ефект сепарування визначимо як середньозрівноважений ступінь збагачення обох фракцій:

$$E_2 = W_1 \cdot \frac{\varphi_{11} - a_1}{a_{11} - a_1} + W_2 \cdot \frac{\varphi_{22} - a_2}{a_{22} - a_2}. \quad (6.6)$$

В окремому випадку, коли вихідна суміш може бути розділена в даному сепараторі на складові її компоненти в чистому виді, тобто коли показники подільності суміші $a_{11} = a_{22} = 1$, формула (6.6) набуває такого вигляду:

$$E_2 = \frac{(\varphi_{11} - a_1) \cdot (a_1 - \varphi_{12})}{a_1(1 - a_1) \cdot (\varphi_{11} - \varphi_{12})}, \quad (6.7)$$

де φ_{12} – вміст першого компонента в другій фракції.

Формулу (6.7) можна запропонувати в такому вигляді:

$$E_2 = \varphi_{11} + \varphi_{22} - 1. \quad (6.8)$$

Поширюючи висновок (6.6) на складні суміші, загальний технологічний ефект сепарування n – компонентної суміші на n фракцій можна запропонувати у вигляді:

$$E_n = \sum_{i=1}^n W_i \frac{\varphi_{ii} - a_i}{a_{ii} - a_i}, \quad (6.9)$$

де a_{ii} – чистота i -ої фракції за ідеального сепарування, або показник подільності вихідної суміші;

a_i – вміст i -го компонента у вихідній суміші;

φ_{ii} – чистота i -ої фракції;

W_i – вихід i -ої фракції.

В окремому випадку, коли показники подільності суміші $a_{ii} = 1$, формула (6.9) набуває вигляду:

$$E_n = \sum_{i=1}^n W_i \frac{\varphi_{i1} - a_1}{1 - a_1}. \quad (6.10)$$

6.1.4. Аналіз конструкцій віброфрикційних сепараторів

Процес розділення компонентів насіннєвих сумішей на фрикційній неперфорованій поверхні полягає в тому, що насіння округле, більш пружне і менш шорсткувате переміщується вниз по фрикційній робочій поверхні, а плоске, менш пружне та більш шорсткувате рухається нагору (Гольцяпин В.Я., 2000).

Робочі органи цих сепараторів виконують або поступальний, або просторовий рух, проте останні поширення не отримали через складність конструкції.

Робочі поверхні віброфрикційних сепараторів можуть бути плоскими, східчастими, криволінійними. Схема віброфрикційного сепаратора з циліндричним робочим органом містить циліндр 3, облицьований фрикційним матеріалом і встановлений на вісь 2, що спирається на пружні підвіски 1 (рис. 6.3). На осі робочого органа жорстко закріплений віброзбудник 4, що надає руху осі 2, а отже, і циліндру 3. Привід віброзбудника здійснюється від електродвигуна через гнучкий вал.

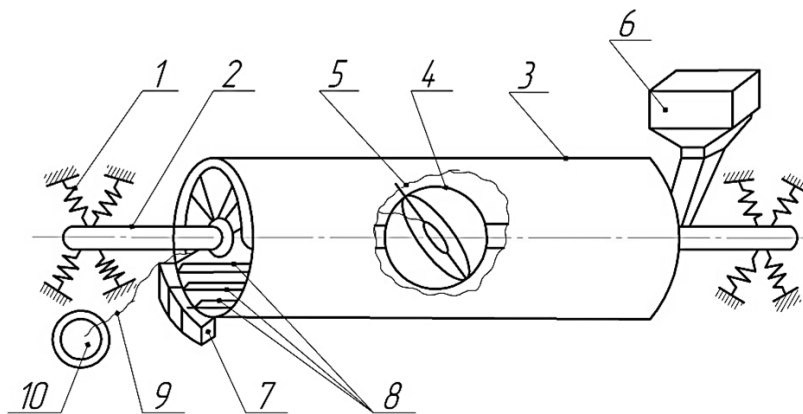


Рис. 6.3. Принципова схема сепаратора з циліндричною робочою поверхнею:

1 – пружна підвіска; 2 – вісь; 3 – циліндр; 4 – віброзбудник; 5 – дебаланс;
 6 – живильний пристрій; 7 – приймальники продуктів розділення; 8 – дільники;
 9 – гнучкий вал; 10 – електродвигун

Технологічний процес сепаратора розпочинається зі живильного пристрою 6, коли вихідна суміш насіння надходить у циліндр 3. Під дією вібрації компоненти суміші переміщуються уздовж циліндра; піднявшись по його поверхні до тих утворюючих, дотичні до яких у площинах, перпендикулярні вісі циліндра, дорівнюють граничним кутам підйому.

Компоненти суміші, що мають різні фізико-механічні властивості, рухаються уздовж цих утворюючих на різній відстані від нижньої утворюючої циліндра, розділяються дільниками і надходять в різні приймальники продуктів 7.

Частково ці недоліки усунуті в сепараторі, що включає пакет увігнутих фрикційних дек, виконаних зі скосом у напрямку вібрації (Гальтяпин В.Я., 2000). Деки встановлюють одна під одною, що дозволяє підвищити продуктивність сепарації. Однак невисока якість сепарації і завищена споживана потужність є основними недоліками цього сепаратора. Для усунення цих недоліків запропонований віброфрикційний сепаратор, що включає деки, виконані зі скосом у напрямку вібрації, приймальники продуктів розділення, розміщені під більшою стороною пакета і завантажувальне пристосування, встановлене в його прямому куті.

Сепаратор складається з фрикційних увігнутих неперфорованих дек, виконаних зі скосом у напрямку вібрації і набраних у пакет 2, встановлений на рамі за допомогою пружної підвіски (рис. 6.4). Для приводу пакета поверхонь у коливальний рух призначений вібробудник, вали якого одержують коливальний рух від електродвигуна через клинопасову передачу, проміжну передачу і пружну муфту. Регулювання поперечного кута нахилу здійснюється механізмом. Подача вихідного матеріалу на деки, що сепарують, здійснюється за допомогою завантажувального пристосування. Розділені фракції надходять у приймальники продуктів розділення.

Сепаратор розпочинає свою роботу, коли вихідна суміш із завантажувального пристосування надходить на кожну робочу поверхню. Під дією коливань, залежно від фізико-механічних властивостей, компоненти суміші переміщуються з різними траєкторіями і надходять у приймальники продуктів розділення у час досягнення ними граничного кута підйому, що підвищує якість сепарації. Виконання деки 1 зі скосом на плані трикутника дозволяє збільшити довжину розвантажувальної крайньої деки (за тих самих розмірів сторін деки). У результаті цього кількість приймальників продуктів розділення і кількість фракцій уздовж розвантажувальної крайки можна збільшити. Це також підвищує якість сепарації.

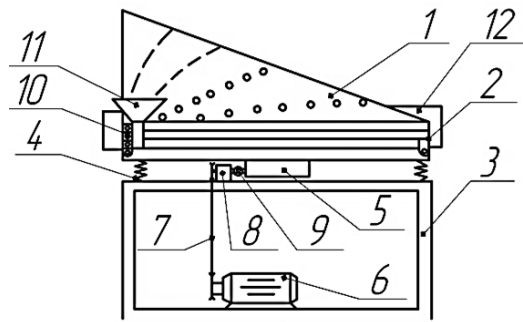


Рис. 6.4. Конструктивна схема віброфрикційного сепаратора:

1 – робочі поверхні; 2 – пакет робочих поверхонь; 3 – рама; 4 – пружна підвіска; 5 – віброзбудник; 6 – електродвигун; 7 – клинопасова передача; 8 – проміжна передача; 9 – муфта; 10 – механізм встановлення кута нахилу пакету робочих поверхонь; 11 – завантажувальне пристосування; 12 – приймальники продуктів розділення

Більш простими за конструкцією є сепаратори з плоским похилим робочим органом, що робить прямолінійні спрямовані коливання, під гострим кутом з напрямком зростання підйому робочої поверхні.

При сепаруванні зернової суміші, переважно з пружними властивостями її компонентів, на віброуючій похилій поверхні, технологічний процес може бути інтенсифікований за допомогою встановлення під поверхню, що сепарує, еквідистантно її розташованої та жорстко з нею зв'язаної, відбивної поверхні (рис. 6.5).

Підвищити якість розділення насінневого матеріалу можна за рахунок запобігання скупчування важковідокремлюваних часток у зоні живильників.

Віброфрикційний сепаратор складається з фрикційної поверхні, над якою змонтовані живильники і очисники. У поздовжнього обріза поверхні встановлений додатковий приймальник. Живильнику надається рух за допомогою ланок і ковзанок.

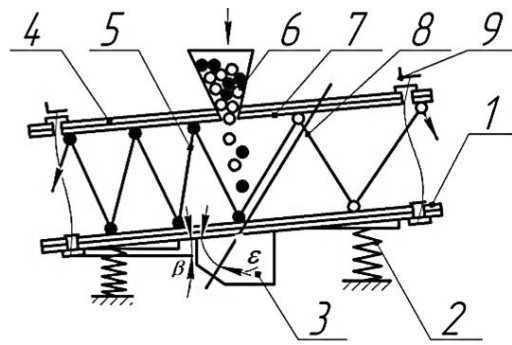


Рис. 6.5. Схема сепаратора з відбивною робочою поверхнею:

- 1 – робоча поверхня; 2 – пружина; 3 – вібробудник; 4 – відбивна поверхня;
 5 – траєкторія руху округлого, гладкого насіння; 6 – живильний пристрій;
 7 – фрикційний матеріал; 8 – траєкторія руху плоского, шорсткуватого насіння
 та домішок; 9 – гвинтовий регулювальний пристрій

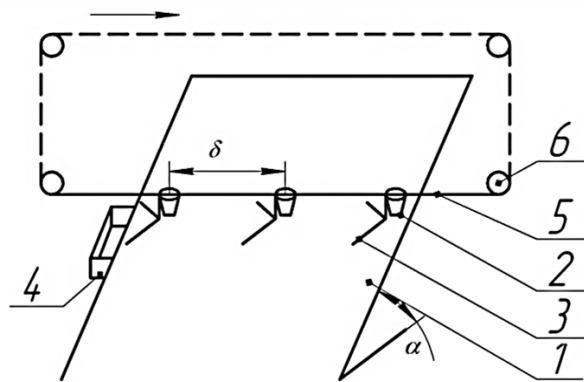


Рис. 6.6. Віброфрикційний сепаратор для важковідокремлюваних сумішей:

- 1 – фрикційна поверхня; 2 – живильник; 3 – очисник; 4 – додатковий приймаль-
 ник; 5 – ланки; 6 – ковзанки

Для виключення можливості захоплення в протилежні фракції насіння, а також для запобігання скупчуванню насіння, швидкість якого невелика, в області живильника необхідно очищати робочу поверхню від цього насіння. Такі випадки можливі, якщо живильник рухається по поверхні (при цьому можливий будь-який напрямок, крім збіжних з поздовжнім обрізом), а за ним через визначений проміжок часу по поверхні рухається очисник, що забирає з поверхні усе

насіння, що знаходиться в зоні захоплення, і зсипає його в додатковий приймальник. При цьому можливий коловий рух живильників і очисників над поверхнею. За допомогою сполучних ланок 5 і ковзаник 6, обертальний рух від ковзаник може бути переданий від електродвигуна, що надає руху вібростолу.

Одним з основних недоліків розглянутих сепараторів є розділення насінневого матеріалу лише на дві фракції. Підвищення продуктивності і якості розділення отримують у разі використання сепараторів з поздовжньо-поперечним кутом нахилу робочого органа до горизонту. Конструктивна відмінність цих сепараторів від згаданих полягає в наявності двох механізмів регулювання положення робочої поверхні (деки) у поздовжньому і поперечному напрямках (рис. 6.7).

Така конструктивна зміна викликає істотні зміни в процесі розділення зернових сумішей. У сепараторах з подвійним кутом нахилу робочої поверхні насіння, що має відмінність фізико-механічних властивостей, переміщується по деці за різними траєкторіями, унаслідок чого знижуються кількість зіткнень і взаємне захоплення насіння в різнойменні фракції. Це дозволяє підвищити продуктивність і якість сепарації.

Сепаратор містить фрикційну поверхню, закріплену на вібростолі 2, що встановлений на пружинах, закріплених на корпусі 4. До вібростолу жорстко кріпиться вібростол. Поздовжній і поперечний кути нахилу робочої поверхні до горизонту регулюються механізмами. Вібростол 5 приводиться в рух від електродвигуна 8 через клинопасову передачу 9, варіатор 10, проміжну передачу і пружну муфту. Для збору продуктів розділення служать приймальники. подача насінневої суміші здійснюється з живильного пристрою.

Технологічний процес сепаратора здійснюється таким чином (рис. 6.7). Вихідна насіннева суміш з живильного пристрою 13 подається на робочу поверхню 1. За рахунок спрямованих коливань і подвійного нахилу поверхні 1 відбувається переміщення компонентів суміші по різних траєкторіях, залежно від їх фізико-механічних властивостей. При цьому у верхні приймальники продуктів розділення по траєкторіях 15 переміщуються більш шорсткувате, плоске і

менш пружне насіння та домішки. Найбільш округле, гладке і пружне насіння надходить по траєкторіях 16 у нижні приймальники. Насіння, що має проміжні значення цих властивостей, надходить у проміжні приймальники по траєкторіях 17. Насіннєвий матеріал, що надійшов у проміжні приймальники, за необхідності направляють на повторну обробку, оскільки тут утримуються компоненти суміші різнойменних фракцій.

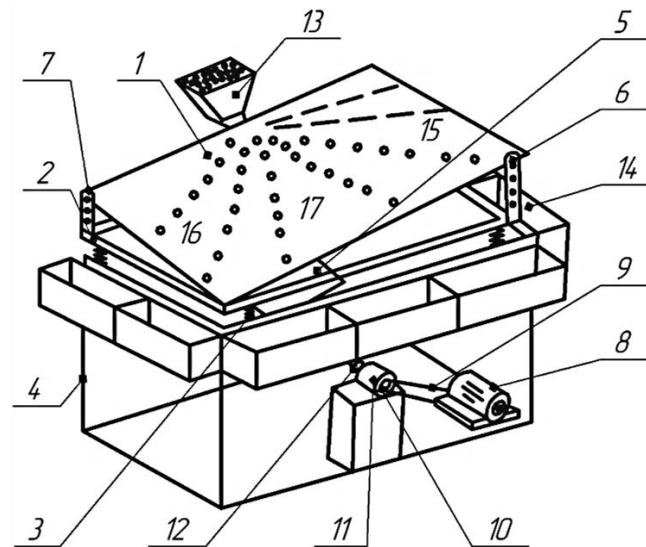


Рис. 6.7. Принципова схема сепаратора з поздовжньо-поперечним кутом нахилу робочого органа до горизонту:

1 – фрикційна поверхня; 2 – вібростіл; 3 – пружини; 4 – корпус; 5 – віброзбудник; 6, 7 – механізм регулювання поздовжнього і поперечного кутів нахилу; 8 – електродвигун; 9 – клинопасова передача; 10 – варіатор; 11 – проміжна передача; 12 – муфта; 13 – живильний пристрій; 14 – приймальники продуктів розділення.

6.2. Теоретичне обґрунтування поділу продуктів лущення зерна вівса за сукупністю фізико-механічних властивостей

Сепарування зернопродуктів та інших сипких сумішей майже завжди виконується в умовах стисненого руху частинок, геометричні та фізико-механічні

властивості яких варіюють за випадковими законами, а взаємодія частинок в операціях, що виконуються, носить також випадковий характер. Важливо і те, що характеристики зернового складу (диференціальні та сумарні показники) та показники якості операцій сепарування (наприклад, видалення, засміченість, відходи), що застосовуються в технології переробки сипучих матеріалів по суті та навіть по формі відображають випадковий характер розподілу компонентів суміші та реалізованих процесів сепарування.

Ці особливості розглянутих процесів виключають їх можливість детермінованого (динамічного) описання і є причиною повної відсутності методів розрахунку показників якості сепарування, заснованих на будь-яких динамічних моделях процесу.

Спроби описання процесів сепарування на основі обговорення руху ізольованої частинки хоча і давали в окремих випадках корисні дані про можливий характер руху частинки суміші на робочому органі (наприклад, траєкторії частинок, їх швидкості, моменту відриву), але, певна річ, не могли привести до розрахунку показників технологічної ефективності процесу за конструктивними, механічними та завантажувальними характеристиками обладнання. А саме з указаних причин під час опису операцій сепарування виявилось природним і доцільним використовувати уявлення та апарат теорії випадкових процесів.

Основні положення статистичної теорії сепарування та додатки до розрахунку ефективності процесу вібросепарування були викладені в 1960 році. В останній період основи цієї теорії були розвинені, удосконалені методи розрахунку, що витікають із неї, розширені межі використання (Гортинський В.В. та ін., 1980).

Нижче викладаються результати опису та розрахунку ефективності процесу сепарування, головним чином для застосування до операцій сортування на сепаруючих пристроях з відбивними стінками.

Реалізація вказаних питань пов'язане з використанням наступного загального підходу до опису кінетики різних процесів та операцій переробки дисперсних матеріалів.

6.2.1. Опис технологічного процесу роботи падді-машини

Робочі органи падді-машини – канали з гладким днищем та зигзагоподібними стінками (рис. 6.8). Зигзагоподібні стінки утворені трикутними призмами з перемичками, що встановлені в певному порядку. Канали мають невеликий нахил у бік основи призми. Дещо вище середини каналу його днище має злом (рис. 6.8,в).

Продукт потрапляє в місце зламу. Канали виконують прямолінійні коливання в горизонтальній площині, перпендикулярній їх поздовжній осі. Внаслідок такого руху продукт, що знаходиться в каналі, по чергово відбивається до правої та лівої стінок. При ударах об стінки виконується самосортування та розшарування суміші. Необрушені зерна, що знаходяться у верхніх шарах, унаслідок ударів переміщуються по каналу догори, виділяючись верхнім сходом. Лущені зерна, що знаходяться внизу суміші, поступово зміщуються вниз і виходять з каналу, утворюючи так званий нижній сход.

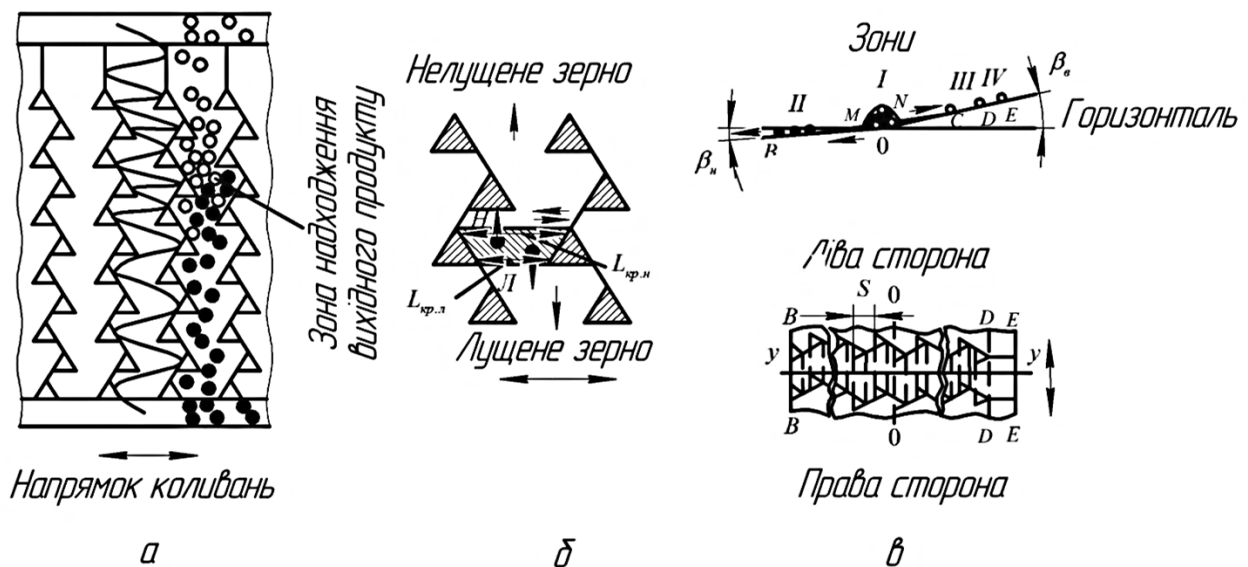


Рис. 6.8. Сортувальний стіл падді-машини:

а – схема розташування каналів; б – схема елемента каналу в плані; в – робочий канал (перетин); I – зона сепарування; II, III, IV – зони виводу фракцій

Незважаючи на широке використання падді-машини для сепарування різноманітних сипких продуктів, й до теперішнього часу, відсутні інженерні методи їх технологічного розрахунку і не існує єдиної точки зору на фізичну сутність процесу, що відбувається в падді-машинах.

На частину продукту, що потрапила до каналу, діють сили інерції, які виникають при ударі частинок об бокові стінки. Сили тяжіння та сили тертя між стінками, дном та частинкою. Сили співудару частинок об бокові стінки направлені орієнтовно перпендикулярно боковим стінкам елементу і намагаються переміщувати частинку вгору, так як одна з складових сил направлена вгору, а інша – паралельно основі. Сила тяжіння викликає рух частинки під уклон, униз (Ольшанський В.П. та ін., 2009).

За певних значень кута нахилу, частоти та амплітуди коливань ці сили врівноважуються і частинка, здійснюватиме гармонічні коливання в певному місці каналу, де відстань між стінками дорівнює $L_{кр}$ (рис. 6,8,б), яка називається критичною координатою. В реальних умовах такий режим руху частинки буде нестійким, і будь-яке збурююче зусилля виведе частинку з цього режиму. Якщо частинка випадково опиниться вище критичної координати, то сила ударів у цій зоні зросте, а частинка буде переміщуватися вгору. Навпаки, якщо частинка опиниться нижче критичної координати, то вона буде переміщуватися вниз. Критична координата визначається не тільки параметрами каналу, установочними і кінематичними параметрами машини, але й ударно-фрикційними властивостями частинки. Чим більш пружні частинки, тим менше величина $L_{кр}$, тобто нижче вона розташована. Якщо більш пружну частинку помістити між критичними координатами, то вона буде переміщуватися вгору, оскільки знаходитиметься вище своєї координати. А менш пружна частинка з'явиться нижче своєї критичної координати і буде переміщуватися вниз (Гортинський В.В., Абрамов А.В., 1972).

Як наслідок, висота трапеції повинна бути декілька менше різниці критичних відстаней. В цьому випадку можлива достатньо висока ефективність відо-

кремлення. Послідовне з'єднання ряду елементів у каналі збільшує ймовірність направленої руху частинок з різноманітними властивостями.

Ефективність відокремлення суміші висока в тому випадку, коли за рахунок самосортування більш пружні частинки (звичайно нелущені зерна) опиняються у верхньому шарі суміші, що і спостерігається в реальних умовах. Фізичні властивості зерен та їх суміші значно відрізняються. Дослідження ударно-фрикційних властивостей окремих обрушених та необрушених зерен показало, що в середньому вони відрізняються, але варіаційні криві цих властивостей значно перекривають одна одну, значно ускладнюючи процес відокремлення.

6.2.2. Математичне моделювання процесу сепарування сипких матеріалів

Найбільш глибокі дослідження процесу в падді-машинах проведені ВНИИЗ та Московським державним університетом харчової промисловості (Гортинський В.В., Абрамов Е.В., 1972; Гортинський В.В. та ін., 1980). У результаті розроблені теоретичні передпосилання, виявлені основні фактори та параметри, а також ударно-фрикційні властивості різних зернових сумішей, що впливають на ефективність процесу. Саме це дозволило підготувати рекомендації з оптимізації режимів машин, необхідні в експлуатації, та пропозиції з удосконалення деяких елементів їх конструкції.

Робочий канал падді-машини в цих дослідженнях розглядається як сукупність робочих елементів трапецоїдної форми, які звернені довгою основою донизу (рис. 6.8, *а, б*) та утворюється відбивними стінками, які розташовані під кутом $\alpha = \text{const}$ до поздовжньої осі каналу, та плоским днищем, ломаним в зоні прийому продукту таким чином, що в нижній частині каналу днище має кут нахилу до горизонту β_n , а у верхній частині – β_e . У сучасних конструкціях машин $\beta_e > \beta_n$. (Гортинський В.В., Абрамов А.В., 1972).

Вхідна суміш потрапляє зверху в центральну частину каналу та утворює в зоні *I* (*АОС*) сипке тіло, яке формується під дією коливань каналу. Внаслідок віброударної дії суміш самосортується: частинки малих розмірів та великої

щільності занурюються вниз, а частинки великих розмірів та малої щільності випливають наверх. Приблизна лінія відокремлення компонентів суміші позначена MN .

За встановленого процесу частинки більшої щільності, лушені зерна направляються в нижню частину каналу та виводяться як нижній сход, а частинки меншої щільності (нелушені зерна) рухаються догори та виводяться верхнім сходом. Виділимо один робочий елемент. Розглянемо в ньому режим регулярного періодичного руху матеріальної частинки масою m , при якому вона послідовно б'ється об ліву та праву стінки в тих самих симетрично розташованих точках (рис. 6.9). Ударна взаємодія частинки зі стінками покладено пружним, що враховується, згідно з гіпотезою Ньютона, коефіцієнтом відновлення R нормальною складовою швидкості:

$$R = \frac{v_2^n}{v_1^n}, \quad (6.11)$$

де v_1^n та v_2^n – нормальна складова відносної швидкості частини до та після удару, відповідно.

Зміну дотичної, яка відповідає швидкості при ударі, враховуємо коефіцієнтом миттєвого тертя λ (Гортинский В.В. та ін., 1980).

$$1 - \lambda = \frac{v_2^\tau}{v_1^\tau}, \quad (6.12)$$

де v_1^τ та v_2^τ – дотичні складові відносної швидкості частинки до та після удару, відповідно.

Час зіткнення приймаємо безмежно малим, а умови удару об праву та ліву стінки симетричними. Індокси « l » та « n » – застосуємо відповідно для лівої та правої стінок, « 1 » та « 2 » – до та після зіткнення частинки зі стінкою.

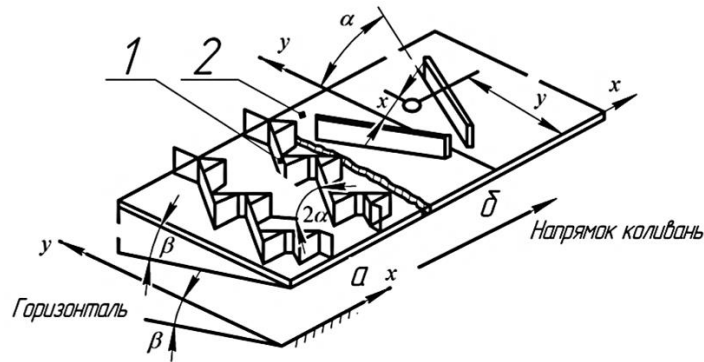


Рис. 6.9. Переміщення частинки в робочому каналі падді-машини:

a – принципний устрій каналу; *б* – схема сил, що діють на частинку; *1* – відбивна стінка; *2* – днище каналу

Виразимо переносний рух (рух столу) гармонічними коливаннями, запишемо диференціальне рівняння відносного руху частинки в інтервалі часу між двома послідовними зіткненнями:

$$m\ddot{x} = mA\omega^2 \sin \omega t - F_x; \quad (6.13)$$

$$m\ddot{y} = -mg \sin \beta - F_y, \quad (6.14)$$

де x, y – координати частинки у відносній (рухомій) системі, жорстко зв'язаної зі столом;

A – амплітуда коливань;

ω – кутова частота;

β – кут нахилу столу до горизонталі;

g – прискорення сили тяжіння;

F_x, F_y – проекції сили тертя на осях X та Y :

$$F_x = fmg \cos \beta \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}}, \quad (6.15)$$

де f – коефіцієнт тертя ковзання,

$$F_y = fmg \cos \beta \frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}}. \quad (6.16)$$

Траекторію відносного руху частинки між відбивними стінками робочого каналу за періодичного регулярного режиму наведено на рис. 6.10.

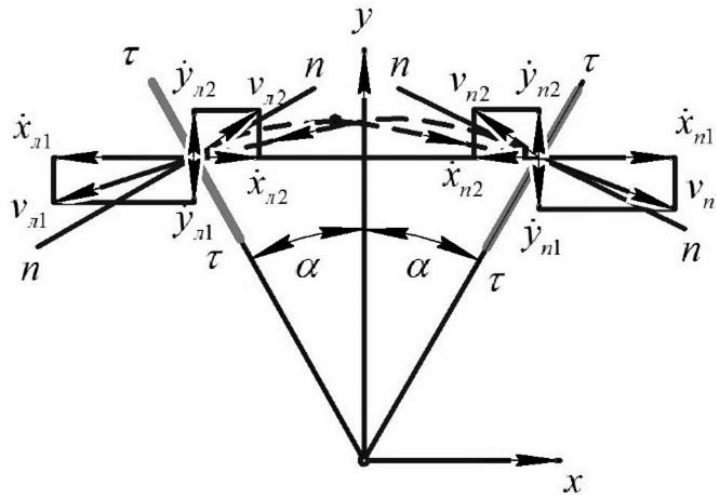


Рис. 6.10. Траекторія відносного руху частинки між відбивними стінками робочого каналу за періодичного регулярного руху

Розв'язок рівнянь (6.13) та (6.14) після перетворень та підстановок ряду коефіцієнтів дозволив отримати значення переміщень:

$$x_n = -x_n = \frac{\pi\alpha}{2\omega} \left(b - \frac{c}{2} \right) - A \sqrt{1 - \left(\frac{ac}{2A\omega} \right)^2}. \quad (6.17)$$

Тут, крім відомих параметрів,

$$a = \frac{\pi g \sin \beta}{2\omega}, \quad b = \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha \left(\frac{1-R}{\lambda} \right)}{\operatorname{tg} \alpha \left(\frac{1-R}{\lambda} - 1 \right)}, \quad c = \frac{2(1-R)}{\left(\frac{1-R}{\lambda} - 1 \right) \sin 2\alpha}. \quad (6.18)$$

6.2.3. Математичне обґрунтування процесу сепарування на падді-машині

Незважаючи на широке застосування падді-машин для сепарування різних сипких продуктів, сьогодні відсутні інженерні методи технологічного розрахунку машин і не існує єдиної точки зору на фізичну суть процесу, що відбувається в падді-машині.

Розглянемо теоретичні передумови вибору параметрів падді-машини.

Вибір кута нахилу поверхні сортувального столу на прикладі суміші облущеного та нелущеного зерна вівса. Конструктивно сортувальний стіл машини складається з двох частин: поверхня верхнього сходу, яка нахилена під кутом β_e до горизонтальної площини (рис. 6.11), і поверхня нижнього сходу, орієнтована під кутом β_n .

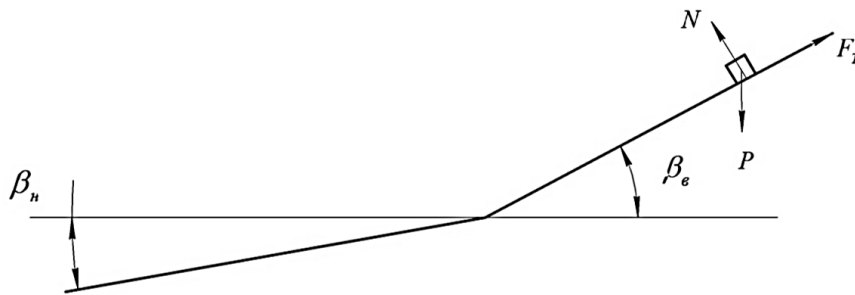


Рис. 6.11. Схема сил, що діють на зерно у вертикальній площині

Розглядаючи рівновагу нелущеного зерна на поверхні верхнього сходу, можна отримати:

$$F_T = P \sin \beta_e; \quad N = P \cos \beta_e, \quad (6.19)$$

де F_T – сила тертя;

N – нормальна реакція;

P – вага зерна.

Визначимо кут β_e , розглядаючи рух зерна по поверхні верхнього сходу. Нехай відносний рух зерна на етапі розбігу столу здійснюється з крайнього правого положення зерна в каналі (рис. 6.12), а стіл рухається в напрямку осі x за рівнянням:

$$x = -a \cos \omega t ,$$

де a – амплітуда коливань столу;

ω – циклічна частота водила.

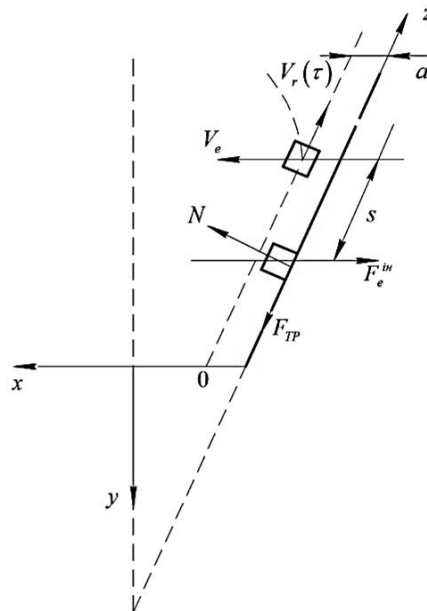


Рис. 6.12. Схема сил, що діють на зерно в площині столу

Очевидно швидкість столу визначається у такий спосіб:

$$\dot{x} = a\omega \sin \omega t;$$

$$\ddot{x} = a\omega^2 \cos \omega t + a\varepsilon \sin \omega t.$$

За час розбігу τ стіл проходить відстань «а» і надає зерну переносну швидкість: $V_e(\tau) = \dot{x}_{\max} = a\omega$.

Для відносної швидкості вздовж ребра каналу маємо диференціальне рівняння:

$$m\ddot{z} = F_e^{ih} \sin \alpha - F_{TC} - F_{TB} - P \sin \alpha, \quad (6.20)$$

де F_e^{ih} – переносна сила інерції; $F_e^{ih} = m\ddot{x}$;

F_{TC} – сила тертя на поверхні столу; $F_{TC} = f \cdot P \cos \beta$;

F_{TB} – бокова сила тертя на поверхні ребра; $F_{TB} = f \cdot F_e^{ih} \cos \alpha$.

Таким чином, рівняння відносного руху має вигляд:

$$m\ddot{z} = F_e^{ih} (\sin \alpha - f \cos \alpha) - P(f \cos \beta + \sin \beta).$$

Звідки за нульової початкової швидкості

$$V_r = \frac{1}{m} (\sin \alpha - f \cos \alpha) \int_0^{\tau} F_e^{ih} dt - g(f \cos \beta + \sin \beta)\tau.$$

Обчисливши інтеграл, дійдемо до виразу:

$$\begin{aligned} V_r &= \frac{\sin \alpha - f \cos \alpha}{m} \cdot \frac{\tau}{3} \left[F_e^{ih}(0) + 4F_e^{ih}\left(\frac{\tau}{2}\right) + F_e^{ih}(\tau) \right] - g(f \cos \beta + \sin \beta)\tau = \\ &= \frac{\tau}{3} (\sin \alpha - f \cos \alpha) \left[\ddot{x}(0) + 4\ddot{x}\left(\frac{\tau}{2}\right) + \ddot{x}(\tau) \right] - g(f \cos \beta + \sin \beta)\tau. \end{aligned} \quad (6.21)$$

Приклад розрахунку проведемо за вихідними даними:

$$\alpha = 30^\circ;$$

$$\ddot{x}(0) = 20,4 \text{ м/с}^2;$$

$$\beta = 6,5^\circ;$$

$$x\left(\frac{\tau}{2}\right) = 10,1 \text{ м/с}^2;$$

$$f = 0,35;$$

$$x(\tau) = 0,$$

$$\tau = 0,18 \text{ с};$$

де τ і $x(\tau)$ – отримані в результаті чисельного інтегрування (Анурьев В.И., 1967), параметри α , β , f взяті для діючого столу при сортуванні зерна вівса.

Скориставшись формулою (6.21), маємо, що

$$V_r = \frac{0,18}{3}(\sin 30^\circ - 0,35 \cos 30^\circ)[20,4 + 4 \cdot 10,1 + 0] - 0,18 \cdot 9,81(0,35 \cos 6,528^\circ + \sin 6,528^\circ) = -0,0965 \text{ м/с.}$$

Як показує розрахунок для нелущеного зерна, на поверхні верхнього сходу зерно не може рухатися догори у випадку, коли початкові швидкості зерна і каналу мають нульові значення. Вочевидь, що на етапі розбігу столу зерно не буде рухатись і вниз, перебуваючи в стані відносного спокою притиснутим до ребра каналу і рухаючись разом зі столом.

Така сама ситуація відтворюється на поверхні нижнього сходу за нульової початкової швидкості облущеного зерна.

На етапі гальмування столу диференціальні рівняння руху зерна, якому надана каналом максимально можлива швидкість в напрямку руху столу $V_{\max} = \dot{x}_{\max} = a\omega(\tau)$, мають вигляд:

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= -F_x^T; \\ m\ddot{y} &= -F_x^T + P \cos \beta, \end{aligned} \quad (6.22)$$

де F_x і F_y – проекції сили F_T на осі x та y (рис. 6.12).

Враховуючи формули (6.19), можна отримати, що

$$F_x = fmg \cos \beta \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}}; \quad F_y = fmg \cos \beta \frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}}.$$

Тоді:
$$m\ddot{x} = fmg \cos \beta \frac{\dot{x}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}}; \quad (6.23)$$

$$m\ddot{y} = mg \sin \beta - fmg \cos \beta \frac{\dot{y}}{\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}}. \quad (6.24)$$

Наведені формули описують рух зерна на столі, але ними можна скористатись і для аналізу руху суміші за припущень, які надалі пропонуються до розрахункової схеми.

Як показують спостереження (рис. 6.13) періодичний поперечний рух столу з амплітудою «*a*» приводить до поперечного переміщення суміші, яка на кожному етапі гальмування столу по чергово притискується до бокових стінок каналу (рис. 6.14), для кінцевого правого положення, (позиція «*-a*»).

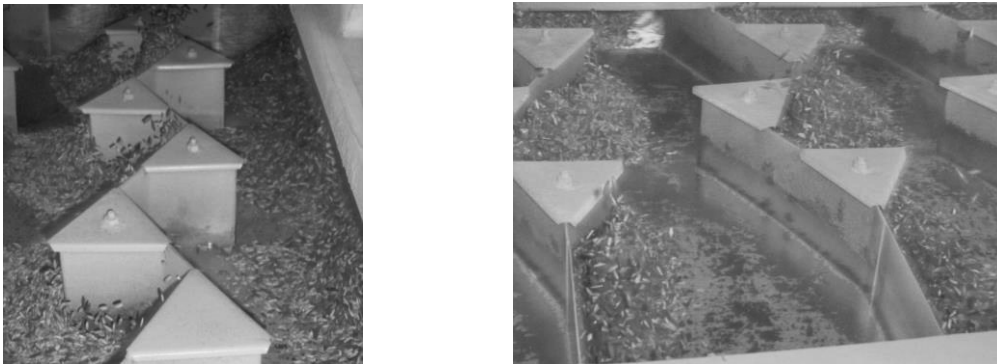


Рис. 6.13. Рух зерна в каналах падді-машини

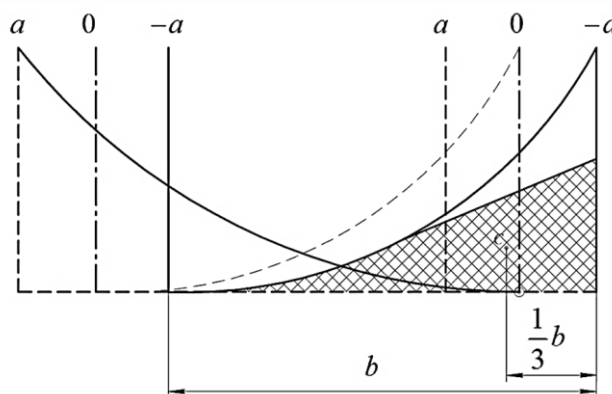


Рис. 6.14. Наближене зображення перерізу потоку суміші в каналі – крайнє праве положення

У разі таких поперечних коливань суміші більш легкі і крупні нелущені зерна будуть витискуватися з глибинних шарів суміші на поверхню (рис. 6.15), а в нижній частині перерізу потоку буде залишатися лущене зерно. Крім того, як показують спостереження, форма контактної підшви масиву суміші і поверхні стола в крайніх положеннях каналу практично незмінна. І в напрямку коливань має нульову швидкість в граничному лівому і правому положеннях.

На підставі наведених спостережень в першому наближенні будемо вважати площу перерізу потоку очищеного зерна сталою по довжині каналу. Переріз потоку будемо розглядати як переріз суцільного середовища, площа якого за поперечних коливань змінює свою форму і в граничних положеннях, у кінці гальмування столу, весь потік у поперечному напрямку має нульову швидкість. Будемо вважати, що в граничних положеннях площа поперечного перерізу очищеного потоку має трикутну форму (рис. 6.14, заштрихована), а центр ваги цієї площі в напрямку поперечному до напрямку сходу потоку здійснює коливання з амплітудою

$$a_c = \left(b + 2a - \frac{2}{3}b \right) \cdot \frac{1}{2} = \frac{b}{6} + a. \quad (6.25)$$

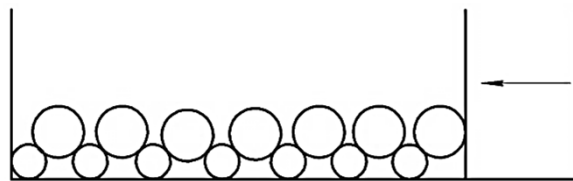


Рис. 6.15. Схема витискування нелущеного зерна

Приймаючи для поперечних коливань центра ваги перерізу потоку рівняння руху,

$$x = -a_c \cos \omega t. \quad (6.26)$$

Використовуючи диференціальне рівняння (6.24), отримаємо, що

$$\ddot{y} = g \sin \beta - fg \cos \beta \frac{\dot{y}}{\sqrt{(a_c \omega \cdot \sin \omega t)^2 + \dot{y}^2}}. \quad (6.27)$$

Диференціальне рівняння (6.27) описує рух потоку лущеного зерна, який протягом одного періоду коливань столу не є рівномірним і взагалі припиняється на етапах, на яких стіл разом з потоком зерна розганяється протягом часу $t = \frac{\tau}{2}$. Числовий розв'язок диференціального рівняння (6.27), результати якого представлені на рис. 6.14, дає можливість визначити швидкість потоку зерна при сході зі столу, а також середню його швидкість і її залежність від таких параметрів сортування, як кут нахилу столу та його кутова швидкість. При сортуванні зерна вівса для кута нахилу столу $\beta_n = 1,528^\circ$ отримана середня швидкість сходу лущеного зерна $V = 0,0066$ м/с.

За мінімальної ширини каналу $b = 21$ см площа перерізу потоку в одному каналі приймається:

$$S_k = \frac{1}{2}bh = \frac{1}{2} \cdot 21 \cdot 0,35 = 36,75 \text{ см}^2.$$

Загальна площа: $S = S_k \cdot k = 36,75 \cdot 24 = 882 \text{ см}^2$.

Продуктивність машини:

$$Q = S \cdot V \cdot \gamma = 882 \cdot 0,599 \cdot 0,5 = 264,16 \frac{\text{г}}{\text{с}} = 950,97 \text{ кг/год.}$$

Розрахунковий графік швидкості сходу лущеного зерна при гальмуванні сортувального столу наведено на рис. 6.16.

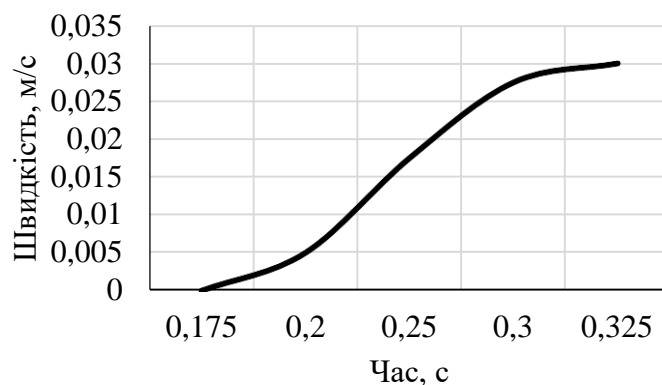


Рис. 6.16. Графік залежності швидкості сходу лушеного зерна при гальмуванні столу

6.2.4. Визначення параметрів, що впливають на процес, та розробка параметричної схеми

Процес сепарування, або відокремлення, на підприємствах зі зберігання та переробки зерна має вельми важливе значення. Розділення зернових мас та проміжних продуктів відбувається на сепараційних машинах різного типу, у тому числі й на падді-машинах.

Умови сепарування визначаються великою кількістю факторів: фізичними властивостями та концентрацією окремих компонентів суміші, що розділяється, параметрами робочих органів, технологічною схемою та принципом дії сепаруючої машини, в даному випадку падді-машини, метою відокремлення, продуктивністю та інше. Структурна схема процесу відокремлення нескладна, не потребує спеціального зображення, а параметрична схема наведена на рис. 6.17.

До вихідних параметрів можна віднести навантаження на робочий канал q , характеристику окремих частин або їх сукупностей продукту, що розділяється k_c , їх концентрацію k_k , характеристики робочих органів (розміри, форма робочих каналів) $k_{p.o.}$, початкову швидкість руху частинки v_c , амплітуду коливань робочого органа A , частоту коливань ω , кута розходження стінок робочого ка-

нала α , положення робочого органа в просторі (кута нахилу до горизонталі) β , коефіцієнт зміни величини стирання робочої поверхні деталей k_3 .

На процес віброударного сепарування також можуть впливати параметри навколишнього середовища, особливості технологічної схеми тощо, але ми їх не братимемо до уваги. Вихідні параметри можуть визначатися ефективністю сепарування E_c , а також економічними показниками $E_{ек}$ (Адлер Ю.П., Марков Е.В., 1971).

Існуюча теорія сепарування не враховує всіх перелічених факторів. Тому основними теоретичними положеннями можна користуватися для отримання оптимальних рішень в окремих випадках, а також як первинною інформацією про процес відокремлення при його оптимізації.

Крім того, існуючі теорії відокремлення сипких матеріалів потребують експериментального визначення деяких характеристик у рівняннях зв'язку між параметрами процесу.

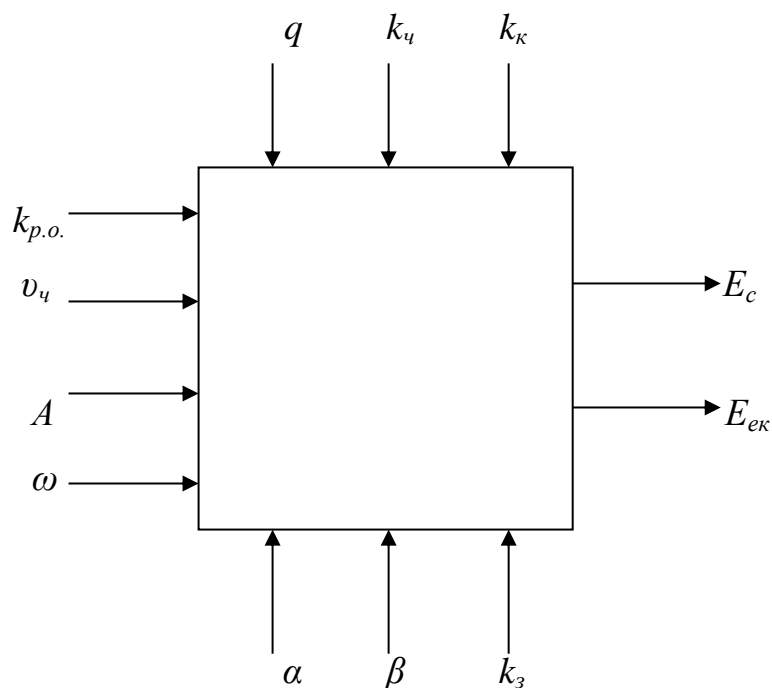


Рис. 6.17. Параметрична схема процесу віброударного сепарування

6.2.5. Розробка функціональної схеми процесу віброударного сепарування

Оскільки в процесі дослідження процесу віброударного сепарування була розроблена параметрична схема (рис. 6.17), що враховувала велику кількість змінних факторів (вхідних параметрів), то в подальшій роботі й розрахунках були прийняті допущення, за яких деякі параметри (навантаження на канал q ; фізико-механічна характеристика частин продукту, що сепарується k_q ; концентрація продукту k_k ; характеристика робочих органів машини $k_{p.o.}$; початкова швидкість продукту) в загальному випадку можна було прийняти стабільними, без змін, тобто середніми характеристиками для певної культури (вівса) та самої машини. Постійним можуть бути кут розходження стінок робочого каналу $\alpha = 90^\circ$, амплітуда коливань сортувального столу A , та відстань між стінками зигзагоподібних каналів l . Виходячи з умов експлуатації та характеристики зносу робочої поверхні деталей можливо визначити відсоток коефіцієнта зносу k_z за певний часовий період.

Припустимо, що в технологічному об'єкті (машині), умовно зображеному у вигляді прямокутника, відбуваються зміни характеристик потоку продукту (рис. 6.18).

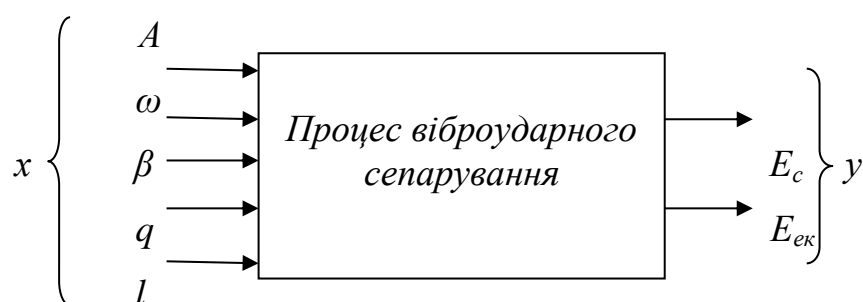


Рис 6.18. Умовне зображення технологічного процесу сепарування в падді-машині (віброударного сепарування)

Зміни в технологічному процесі здійснюються за допомогою одного з факторів, що впливають, яким може бути один з вхідних параметрів. За незмінних

умов проведення процесу в машині величина вихідної характеристики буде залежати тільки від зміни вхідної величини. Для спрощення вважатимемо, що потік володіє однією характеристикою на вході x та однією на виході y .

Розглянувши параметричну схему та провівши аналітично взаємозв'язок параметрів вхідних, параметрів керування та різноманітних перешкод на вихід параметрів E_c (ефективність процесу сепарування) та $E_{ек}$ (економічна ефективність процесу), загальний взаємозв'язок може бути виражений системою рівнянь:

$$\begin{cases} E_c = f(\omega, A, k_{p.o.}, v_q, q, k_q, k_k, \alpha, \beta, k_3, l) \\ E_{ек} = f(\omega, A, k_{p.o.}, v_q, q, k_q, k_k, \alpha, \beta, k_3, l) \end{cases} \quad (6.28)$$

У загальному вигляді система рівнянь являє собою параметричну модель процесу сепарування.

Аналізом та шляхом проведення експериментальних досліджень визначено більш значущі параметри на процес віброударного сепарування та їх взаємозв'язок з динамікою руху робочого столу.

6.3. Методика експериментальних досліджень

6.3.1. Установка падді-машини та методика проведення досліджень

Експериментальні дослідження, з метою вибору більш оптимальних технологічних та режимних параметрів роботи падді-машини, проводили в лабораторії кафедри технології зберігання і переробки сільськогосподарської продукції Дніпровського державного аграрно-економічного університету на спеціально виготовленій установці (рис. 6.19).

Для виконання експерименту використовували суміш облущених та не-лущених зерен вівса вологістю 12,5–14 % з умістом смітних домішок (вівсюга) до 5 % та кількістю пилу 0,23 % від загальної маси. Якість вихідного продукту

визначали згідно з ГОСТ 12770–73. Проби відбирали по ГОСТ 13586.3.–83 «Метод відбору проб».

Лабораторна установка включала такі основні вузли (рис. 6.19): робочий орган; виконавчий механізм; привід; станину; допоміжні пристрої.

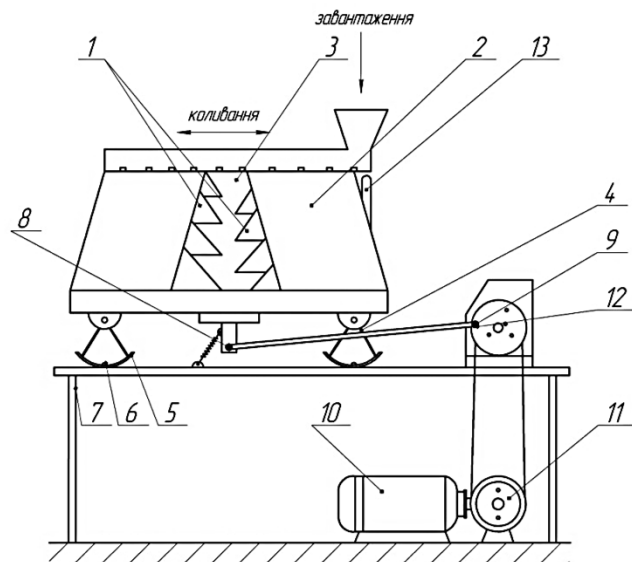


Рис. 6.19. Експериментальна установка падді-машини

Робочий орган – це похилий стіл 1 зі стінками 2, що утворюють зигзагоподібний канал 3. Стіл 1 кріпиться шарнірно до стійки 4, котрий для забезпечення коливального руху має сегментно-подібний елемент 5, що насаджений на стопорний болт 6, який виключає переміщення стояків 4 відносно станини 7. Привідний механізм складається з кронштейна 8, один кінець якого закріплений на корпусі 1, а інший з'єднаний з кривошипно-шатунним механізмом 9. Рух від електродвигуна передається через редуктор 11 клинопасову передачу 10, кривошипно-шатунному механізму з болтом 12 для регулювання амплітуди зворотно-поступального руху стола 1. Кут нахилу стола змінюється за допомогою пристосування 13, а також пристрою для зміни ширини зигзагоподібного каналу.

Експериментальна установка розпочинає роботу з надходження в живильник зигзагоподібного каналу 3 суміші лушених та нелушених зерен вівса.

Вмикається електродвигун 10. У результаті зворотно-поступальних коливань, поперечних руху зерна, виконується сортування: лущені зерна видаляються нижнім сходом, нелущені – верхнім.

Методика проведення експериментальних досліджень полягала в завантаженні насіння вівса після лущення в робочий елемент сортувального столу та сепарування лущених та нелущених зерен.

Методика передбачає зміну:

- ступеня подачі сировини на сепарування, тобто продуктивність завантаження робочого каналу сортувального столу (від 0,6 до 1,8 кг/хв.);
- кута нахилу сортувального столу від 2 до 7 градусів;
- частоти коливань сортувального столу від 45 до 55 коливань на хвилину;
- амплітуди коливань сортувального столу від 180 до 220 мм;
- ширини зигзагоподібного каналу від 200 до 220 мм.

За вихідний зразок (рис. 6.20) було взято суміш лущеного зерна вівса з 25 %-вим вмістом нелущеного. Вологість матеріалу була визначена стандартним методом за ГОСТ 13586.5–85 і становила 12 %.

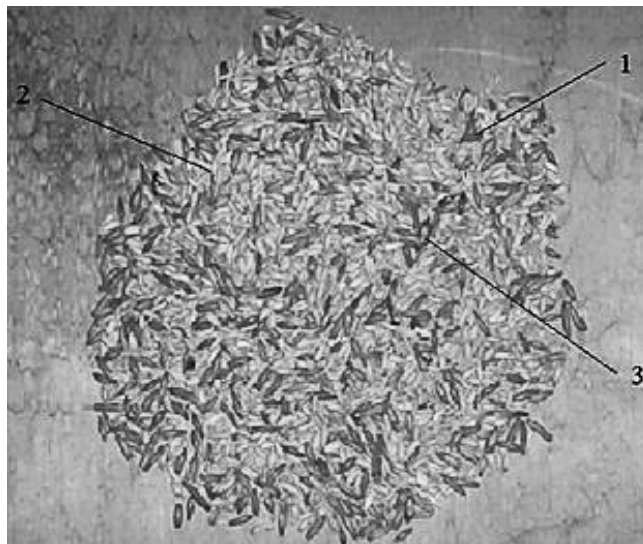


Рис. 6.20. Вихідний зразок матеріалу:

1 – нелущені зерна; 2 – лущені зерна; 3 – вівсюг

Методика проведення експерименту передбачала оцінку результатів сепарування: відбирали середню пробу лущених зерен масою 500 г і методом розбору проб на розбірній дошці визначали якість відокремлених лущених зерен (наявність в них нелущених зерен). У такий спосіб на розбірній дошці визначали якість нелущених зерен (тобто наявність в них лущених зерен). Результати записували та вираховували у відсотковому співвідношенні.

Для визначення продуктивності кожного каналу було розроблено спеціальний лоток, в який засипали нижній сход (лущене зерно) протягом хвилини.

6.3.2. Методика вимірювання досліджуваних величин, прилади та обладнання

У дослідженнях змінювали кут нахилу сортувального столу, котрий визначали спеціально виготовленим кутоміром, а положення сортувального столу фіксували болтом та гайкою, затисненими в пазу кутоміра.

Частоту коливань сортувального столу регулювали зі застосуванням редуктора та клинопасової передачі кінематичної схеми приводу;

Амплітуду коливань – шляхом зміни довжини тяги кривошипно-шатунного механізму; ступінь завантаження сировини (продуктивність завантаження) – шляхом відкривання та закривання щілинного дозатора знизу живильного пристрою; амплітуду коливань – положенням точки під'єднання шатуна до кривошипно-шатунного механізму; частоту коливань сортувального столу – за допомогою частотного перетворювача; відстань між стінками робочого каналу – шляхом пересуванням однієї зі стінок каналу; круповідокремлююча машина має забезпечувати підвищені концентрації лущених зерен у першому продукті та концентрації нелущених зерен у другому порівняно з вихідним продуктом.

Якщо позначити концентрацію лущених зерен у вихідному продукті K , в першому K_1 , а в другому K_2 , то повинно бути $K_1 > K$, а $K_2 < K$. Відповідно концентрацію нелущених зерен запишемо в такий спосіб: $H_1 < H < H_2$, тобто в другому продукті вона реєструється вищою (Кулагин М.С. та ін., 1979).

Для оцінки технологічної ефективності необхідно передусім визначити кількість виділеного ядра в першому продукті за формулою

$$K_{\text{кіль}} = \frac{K_1 A}{K} \quad (6.29)$$

де K_1 – концентрація лущених зерен у першому продукті, кг;

A – кількість першого продукту, кг;

K – кількість лущеного зерна у вихідному продукті, кг.

Однак у першому продукті можуть бути виділені практично всі лущені зерна, що надійшли до машини, але серед них багато нелущених. Це значно знижує технологічну ефективність круповідокремлення. Тому технологічну ефективність круповідокремлення необхідно доповнити якісним показником процесу. Таким показником прийнято відношення фактичного підвищення концентрації лущених зерен у першому продукті, порівняно з вихідним, до максимально можливого підвищення концентрації.

Максимальна концентрація лущених зерен у першому продукті дорівнює одиниці, фактична K_1 , максимально можливе підвищення концентрації ядра буде $1 - K$, а фактичне підвищення $K_1 - K$.

Якісну ефективність круповідокремлення можна виразити відношенням (Лубников Л.П. та ін., 2002):

$$E_{\text{якісне}} = \frac{K_1 - K}{1 - K} \quad (6.30)$$

Загальну технологічну ефективність представлено рівнянням:

$$E = E_{\text{кільк}} \cdot E_{\text{якісне}} = \frac{K_1 \cdot A}{K} \cdot \frac{K_1 - K}{1 - K} \quad (6.31)$$

Величину A можна виразити через значення концентрацій ядра в усіх продуктах на основі матеріального балансу:

$$K = AK_1 + (1 - A)K_2. \quad (6.32)$$

Звідси

$$A = \frac{K - K_2}{K_1 - K}. \quad (6.33)$$

Відповідно

$$E = \frac{K_1}{K} \cdot \frac{K - K_2}{K_1 - K} \cdot \frac{K_1 - K}{1 - K}. \quad (6.34)$$

Отже, маємо кінцеву формулу для визначення ефективності процесу круповідокремлення.

6.3.3. Вибір факторів варіювання

На процес круповідокремлення впливають певні фактори. Серед них спостерігаються частота коливань сортувального столу ω ; кут нахилу сортувального столу β ; навантаження на канал q ; амплітуда коливань сортувального столу A ; відстань між зигзагоподібними стінками робочого каналу l та початкова забрудненість матеріалу.

Для вибору більш впливових факторів скористалися методом статистичного аналізу, тобто графічним методом, який вважається досить надійним та ефективним знаряддям сучасної науки, надійно ввійшов до методики наукових досліджень.

Статистичні графіки використовують з метою узагальнення статистичних даних та їх аналізу. Суть методу: для кожного з параметрів побудовано лінійні графіки за мінімальним та максимальним значеннями функції відгуку, а потім за допомогою програмних засобів, розрахували швидкість зміни функції при

зміні фактор $\frac{df}{dx}$. Найбільша швидкість зміни функції свідчить про ступінь впливу на результат процесу.

Для побудови графіків використано табличний редактор Microsoft Excel; для частоти коливань отримані графіки (рис. 6.21), в результаті підрахунків (табл. 6.2) – певні значення кута нахилу прямих, який має найменше значення $2,3^\circ$ і найбільше 4° .

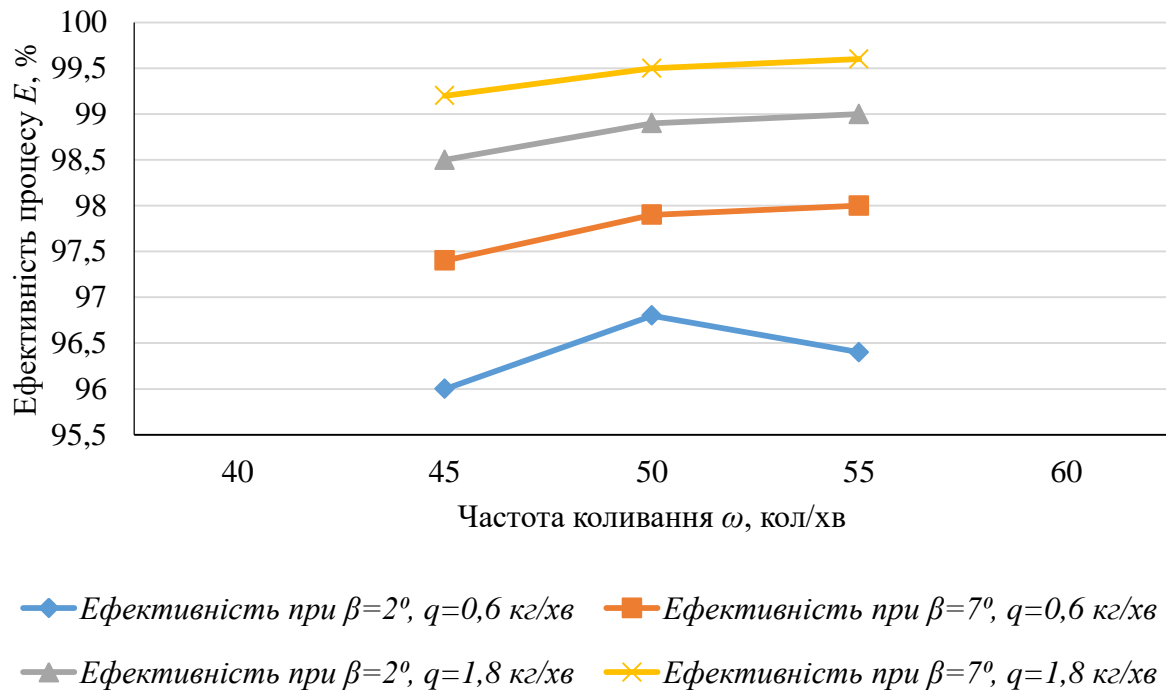


Рис. 6.21. Графік залежності зміни ефективності сепарування від частоти коливання сортувального столу

Що стосується кута нахилу сортувального столу, то отримані наступні графіки – рис. 6.22, в результаті підрахунків – табл. 6.3 значення кута нахилу прямих, він має найменше значення $6,8^\circ$ і найбільше $17,7^\circ$.

Що стосується навантаження на канал сортувального столу то нами були отримані наступні графіки (рис. 6.23), в результаті підрахунків (табл. 6.4) були отримані наступні значення кута нахилу прямих, він має найменше значення $53,0^\circ$ і найбільше $65,1^\circ$.

Таблиця 6.2. Вплив частоти коливань ω на ефективність процесу круповідокремлення E

Значення фактора		$E, \%$		$\frac{df}{dx}$	$\alpha, ^\circ$
min	max	min	max		
45	55	96,0	96,4	0,04	2,3
		97,3	98,0	0,07	4,0
		98,5	99,0	0,05	2,9
		99,2	99,6	0,04	2,3

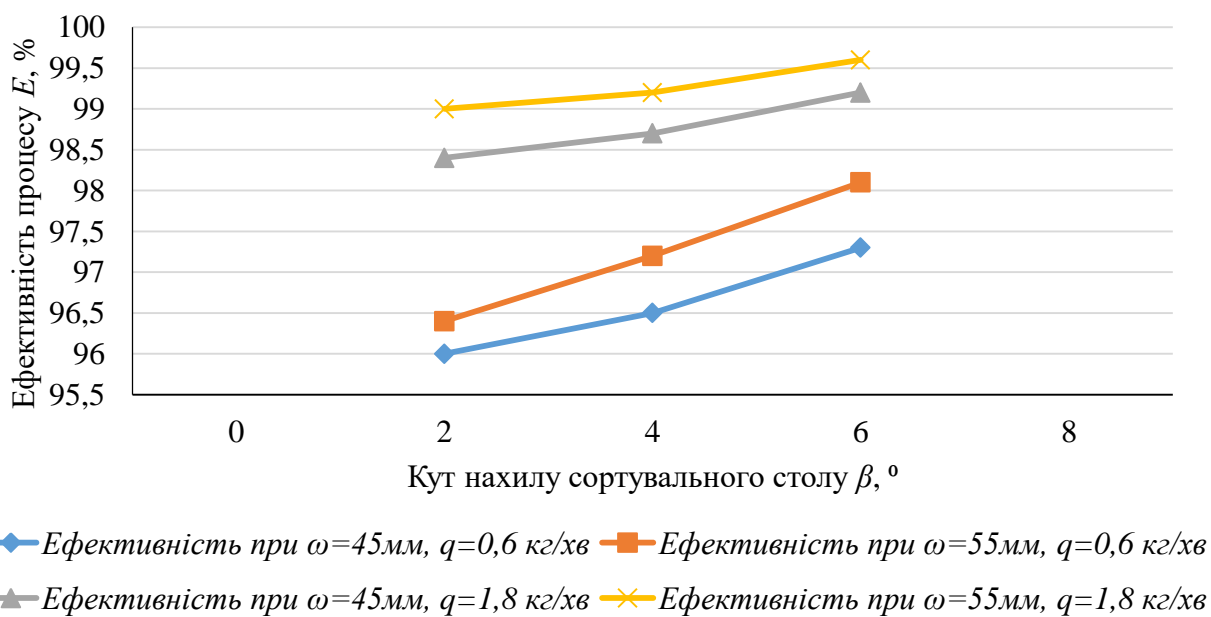


Рис. 6.22. Графік залежності зміни ефективності сепарування від кута нахилу сортувального столу

Таблиця 6.3. Вплив кута нахилу сортувального столу β на ефективність процесу круповідокремлення E

Значення фактора		$E, \%$		$\frac{df}{dx}$	$\alpha, ^\circ$
min	max	min	max		
2	7	96,0	97,3	0,26	14,5
		96,4	98,0	0,32	17,7
		98,5	99,2	0,14	7,7
		99,0	99,6	0,12	6,8

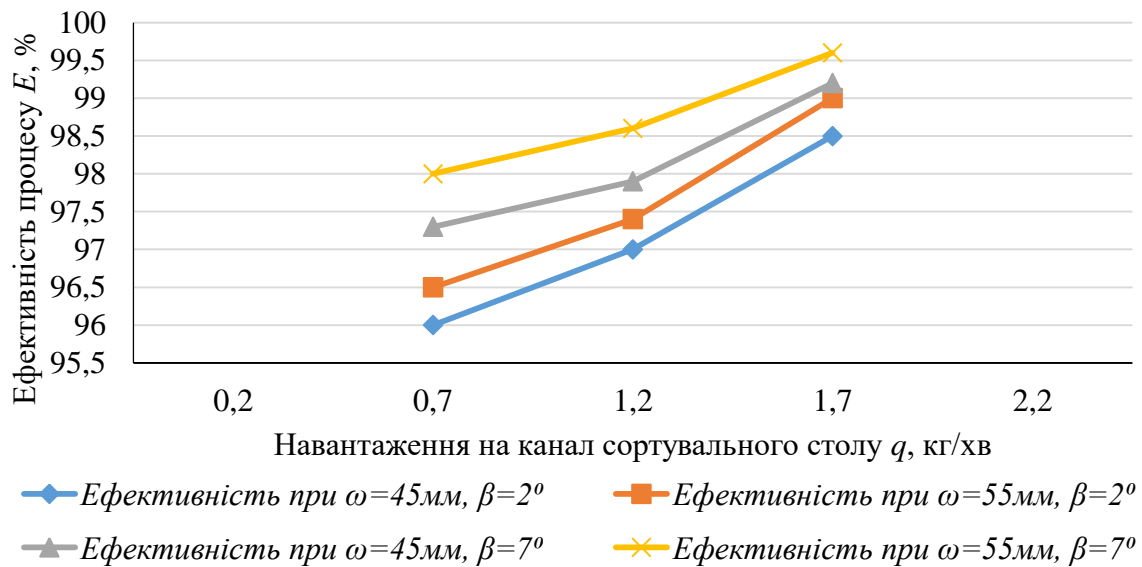


Рис. 6.23. Графік залежності зміни ефективності сепарування від навантаження на канал сортувального столу

Для амплітуди коливань була використана та сама методика і отримано наступні графіки (рис. 6.24), в результаті підрахунків (табл. 6.5) були отримані наступні значення кута нахилу прямих, він має найменше значення $1,5^\circ$ і найбільше $1,8^\circ$.

При визначенні впливу ширини робочого каналу на ефективність процесу ми скористалися тією ж методикою і отримали наступні графіки (рис. 6.25), в результаті підрахунків (табл. 6.6) були отримані наступні значення кута нахилу прямих, він має найменше значення $1,6^\circ$ і найбільше $2,1^\circ$.

Таблиця 6.4. Вплив величини навантаження на канал q сортувального столу на ефективність процесу круповідокремлення E

Значення фактора		E , %		$\frac{df}{dx}$	α , °
min	max	min	max		
0,6	1,8	96,0	98,5	2,083	64,3
		96,4	99,0	2,166	65,1
		97,3	99,2	1,583	57,6
		98,0	99,6	1,333	53,0

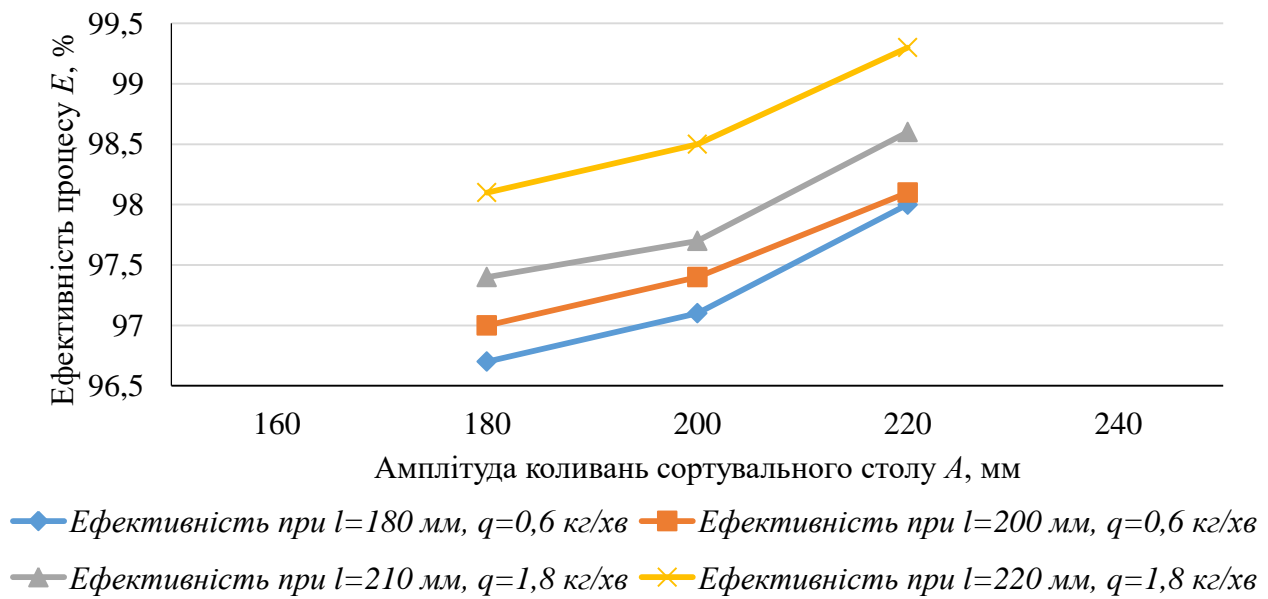


Рис. 6.24. Графік залежності зміни ефективності сепарування від амплітуди коливань сортувального столу

Математичний аналіз дозволив зробити висновок: найбільш впливовими параметрами на процес сепарування сумішей є кут нахилу β , ступінь завантаження робочого каналу q та частота коливань сортувального столу ω .

Таблиця 6.5. Вплив величини амплітуди коливань A сортувального столу на ефективність процесу круповідокремлення E

Значення фактора		E, %		$\frac{df}{dx}$	$\alpha, ^\circ$
min	max	min	max		
180	220	96,7	98,0	0,033	1,8
		97,0	98,1	0,027	1,5
		97,4	98,6	0,030	1,7
		98,1	99,2	0,027	1,5

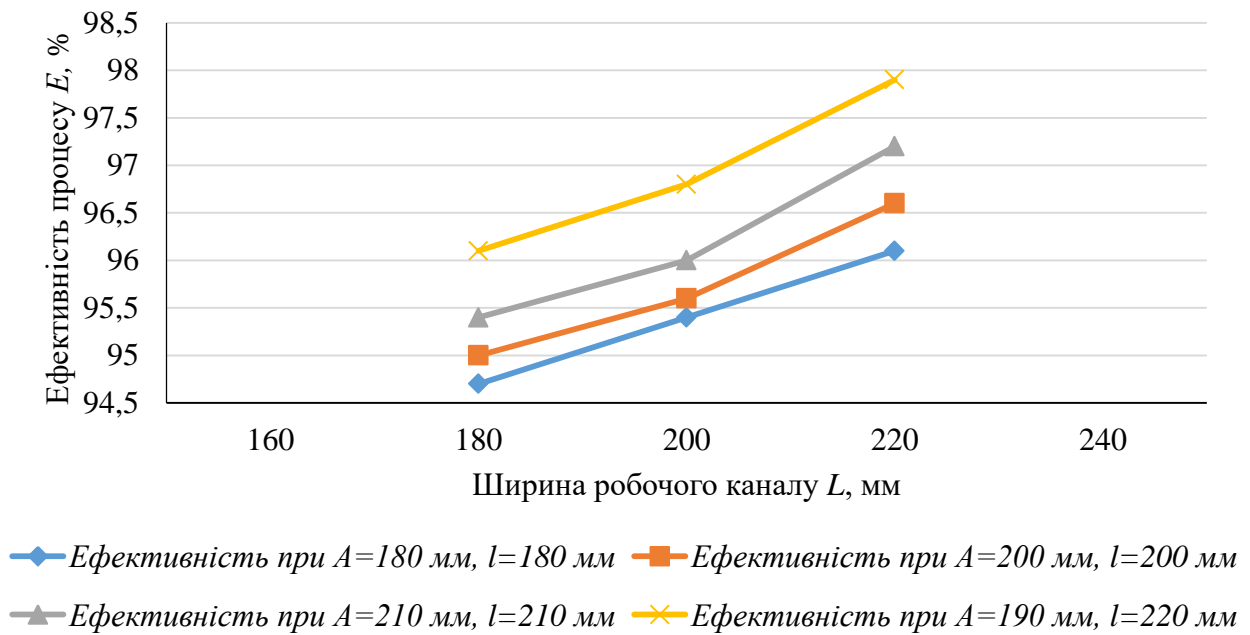


Рис. 6.25. Графік залежності зміни ефективності сепарування від ширини робочого каналу сортувального столу

Отже, в подальшому при плануванні експерименту будемо використовувати ці фактори.

Таблиця 6.6. Вплив ширини робочого каналу l сортувального столу на ефективність процесу круповідокремлення E

Значення фактора		E, %		$\frac{df}{dx}$	$\alpha, ^\circ$
min	max	min	max		
180	230	94,7	96,1	0,028	1,6
		95,0	96,6	0,032	1,8
		95,4	97,2	0,036	2,1
		96,1	97,9	0,036	2,1

6.4. Результати експериментальних досліджень сепарування продуктів лущення зерна вівса та їх обговорення

6.4.1. Процес завантаження та розподілу сировини живильником

У ході проведення експериментальних досліджень враховували, що в лабораторній установці застосовували елементи конструкції удосконаленого живильника, в якому досягали рівномірний розподіл вівса перед сепаруванням.

Однак в реальних умовах експерименту виявили, що у випадку завантаження з бункера в живильник вівса з більшою продуктивністю відбувається «згущення» або надмірне заповнення живильника сировиною, овес не встигає просипатися на робочу поверхню сепарувального столу, відбувається надлишкове заповнення комірок та гальмування крупи шляхом створення в прямокутних вікнах щільних зон.

Швидкість розшарування суміші з живильника по сепарувальній площині змінюється залежно від основних параметрів роботи машини: частоти, амплітуди коливань, відстані між робочими зигзагоподібними стінками, продуктивністю та інтенсивністю заповнення живильника сировиною, динамічною зрівноваженістю сепарувального сита, тобто нерівномірністю зворотно-поступальних рухів, особливо в кінцевих точках гальмування та розгону.

Результатами досліджень встановлено, що, за постійно збільшуваного навантаження від 0,3 до 2,5 кг/хв, завантаження зерен вівса після лущення, зерна спочатку розподіляються в початковій частині комірок від місця завантаження, а потім переміщуються на сепаруючу поверхню. Це можна спостерігати з відеограми спостережень (від центра розподілу сировини з бункера кожна секція робочого сортувального каналу має три вивантажувальних, регульованих по величині спеціальною заслінкою вікна). Зі збільшенням продуктивності завантаження постійно збільшується «навантаження», тобто кількість зерна в комірці, на перші комірочки та знижується до останньої комірочки. Спостерігається нерівномірність завантаження, як видно на графіку при продуктивності 0,3 кг/хв (рис. 6.26, крива 5). Зерно розподіляється тільки в перших трьох комірках, при-

чому більша його кількість знаходиться саме в 1-й комірці, від місця завантаження бункера. Зерно з 1, 2 та 3-ї комірок висипається на сортувальний стіл, вступає в процес сепарування, тобто на лушені та нелушені зерна. Із підвищенням продуктивності завантаження криві 4, 3, 2 та 1 (рис. 6.26) комірки 1, 2, 3 переповнюються, а комірки від 3 до 12 збільшують кількість пропущеного зерна на сепарувальну поверхню. Однак нерівномірність, аналізуючи графік, зберігається.

Аналіз результатів показав, що у випадку підвищення продуктивності завантаження зерна на лабораторну установку від 0,3 до 2,3 кг/хв. У перші моменти рівномірне завантаження відсутнє, оскільки зерна встигають проходити через комірки на сортувальний стіл, не розподіляються по всій його ширині, а тому ступінь сепарування зерна на лушені та нелушені невисокий. Аналогічна ситуація спостерігається і при зміні вологості зерна від 19%-вої до 12,5%-вої. За нижчої вологості завантаженого через живильник продукту його розподіл по каналу живильника від завантажувального бункера з комірками під дією вібрацій здійснюється рівномірно і практично всі комірки мають достатнє заповнення (крива 1, рис. 6.27). Зі підвищенням вологості більш вологе зерно має більш високий коефіцієнт тертя, що у свою чергу викликає (крива 2, рис. 6.27) нерівномірність розподілу зерна у вивантажувальних комірках.

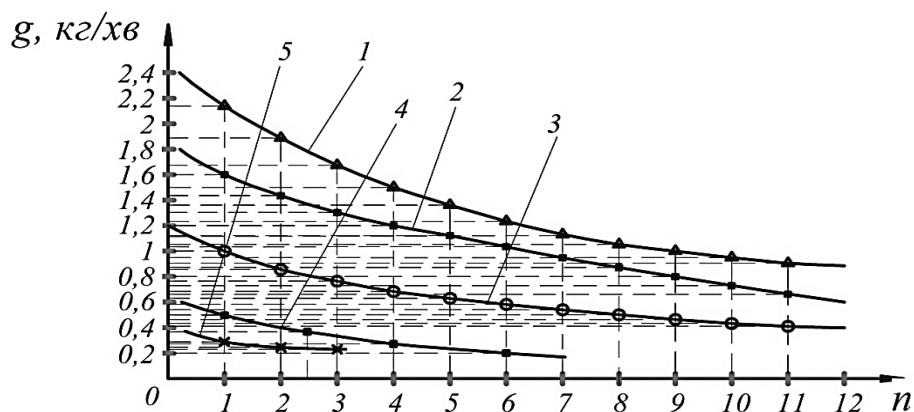


Рис. 6.26. Графік заповнення комірок живильника від 1 до 12 (n) залежно від продуктивності завантаження q

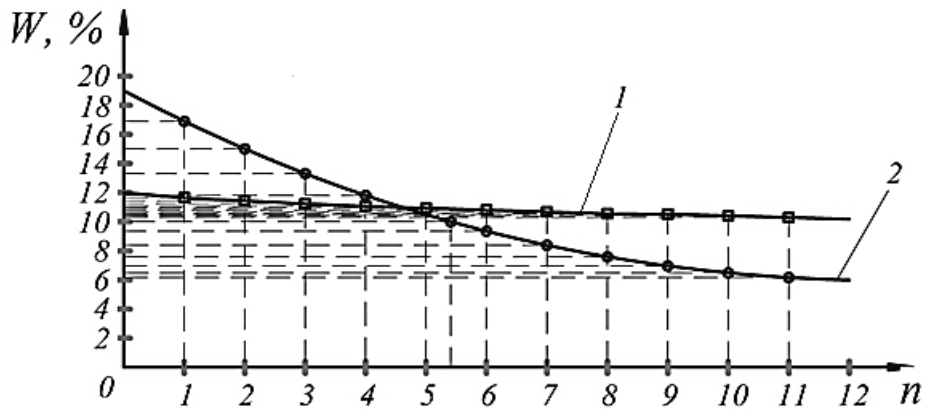


Рис. 6.27. Графік розподілу зерна лущеного вівса в залежності від його вологості

Підвищення продуктивності завантаження сприяє заповненню комірок, змінює характер розподілу зерен по поверхні сортувального столу, тобто формується рівномірний потік на сортувальну поверхню за рахунок коливань столу, виконується рівномірне розподілення зерен по поверхні їх сортування на лущені та нелущені «вспливанням» на поверхню, як більш легких нелущених, та «осіданням» на сортувальний стіл облущених, як більш важких. Спочатку зерно висипається на стіл щільним потоком. Далі, за рахунок частоти вібрації, амплітуди коливань та кута нахилу столу, починається розгалуження цього потоку і рух лущених та нелущених зерен відносно одне одного, тобто в точці початку сепарування.

Характер розподілу зерна, що висипається з живильника через комірку, свідчить про нерівномірність його розподілу. В перший момент попадання зерна на стіл відбувається накопичення зерна на відстані, близькій до точки його висипання. В подальшому відбувається зменшення кількості зерна на одиницю площі та рівномірне його розподілення по довжині та ширині робочого каналу стола (рис. 6.28). Для кривої 1 в точці С спостерігається висипання великої кількості зерна з комірки, оскільки вона розташована ближче до бункера, з якого вивантажується зерно. Відповідно точки C_1 та C_2 знаходяться на кривих 2 та 3,

мають меншу кількість (за масою 6 гр.) зерна, що вивантажується в цих точках, оскільки вивантажувальні комірки знаходяться на більшій відстані від вивантажувального бункера. У такий спосіб в одному робочому каналі столу, на якому розташовані три розподільні комірки живильника, спостерігається нерівномірність завантаження.

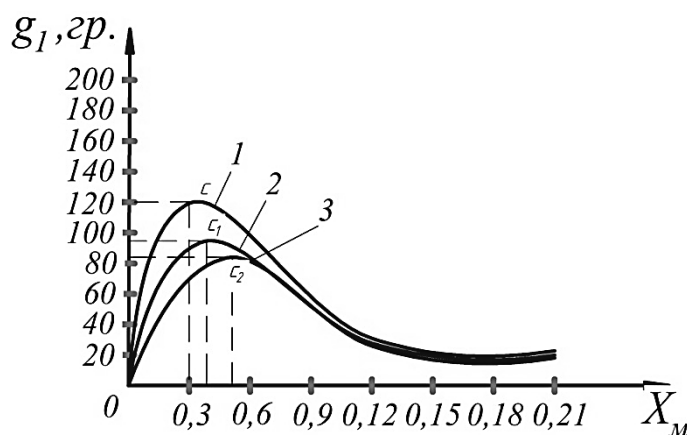


Рис. 6.28. Графік розподілу зерна на робочому столі при вивантаженні з комірок живильника

Однак у процесі вібрацій робочого столу та формування коливального руху зерна, з-за зворотно-поступальних коливань, шар вирівнюється, розподіляється по всій ширині каналу і втягується в коливальний рух, в якому починає відбуватися розшарування лушеного та нелушеного зерна.

Ефективність видалення лушеного вівса зі загального потоку зернової маси представлена на рис. 6.29.

Зі збільшення кута нахилу робочого каналу установки швидкість сходу зерен лушеного вівса підвищується, тобто вслід за тим, що здійснюється розшарування по робочій поверхні каналу, лушене зерно починає рухатися, без коливальних рухів, униз. Швидкість його руху підвищується шляхом відбивання від стінок зигзагоподібних перегородок та під час удару, кут переміщення зерна у зв'язку з нахилом поверхні каналу збільшується і траєкторія руху лушеного зерна змінює положення. Таким чином, результуючий шлях, який здій-

снює елементарна частинка (луцне зерно), переміщується поступально донизу.

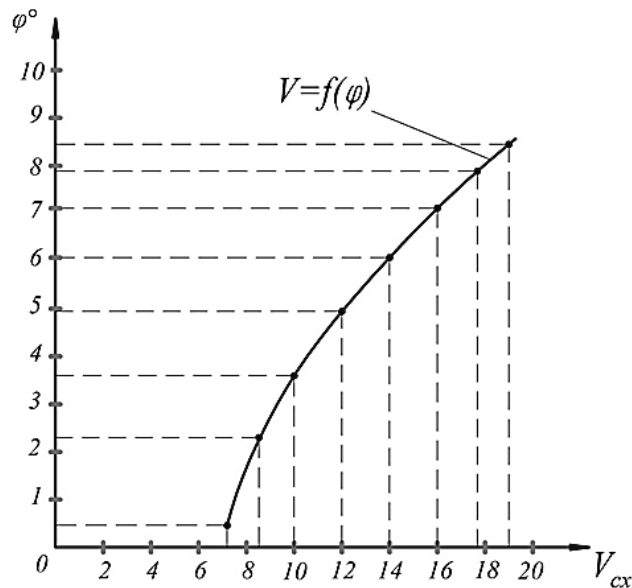


Рис. 6.29. Графік зміни швидкості сходу V_{cx} зерен луцного вівса по робочому каналу сортувального столу

При порушенні рівномірності руху робочої поверхні сортувального столу, тобто зміни точки зворотного ходу столу, що є порушенням динамічних характеристик, різко погіршується процес рівномірного зворотно-поступального руху зерен. У кінцевій точці в цьому випадку відбувається так званий удар, шар зерна різко переміщується до однієї зі зигзагоподібних стінок в бік якої рухався стіл, потім від удару шар зерна підкидається вгору і під дією зворотного руху переміщується до протилежної стінки.

Далі подібне явище повторюється і на протилежній зигзагоподібній стінці. Шар зерна отримується нерівномірним, у ньому з-за різких ударних діянь в «мертвих» кінцевих точках зворотно-поступального руху, не формується направлений шар зерна вгору та вниз по сортувальному шару, а існує хаотичний рух, «підпригування» луцних і нелуцних зерен вівса. Зведені до «0» ударних явищ у кінцевих точках зворотно-поступального руху столу, навпаки, формує

рівномірний шар зерна, що рухається в поперечному горизонтальному напрямку, зліва направо, з якого рівномірно розпочинають виділятися ті групи зерен, що рухаються вгору – нелущені, та вниз – лущені.

Таким чином, формується рівномірний сортувальний шар, швидкість розшарування зерен на якому може регулюватися крім амплітуди і частоти коливань, кутом нахилу сортувального столу.

6.4.2. Вплив амплітуди та частоти коливань на процес сепарування вівса

У процесі проведення експериментальних досліджень визначали вплив амплітуди та частоти коливань сортувального столу на ефективність процесу сепарування. Дослідження проводили в діапазоні амплітуд від 140 до 240 мм, а частота коливань дорівнювала від 40 до 60 коливань на хвилину.

Отримані дані свідчать про те, що коефіцієнт ефективності сепарування при амплітуді коливань 140 мм має значення 0,68–0,69 (рис. 6.30). У міру збільшення амплітуди підвищується і ефективність сепарування. Найбільше її значення досягається при амплітуді від 180 до 200 мм.

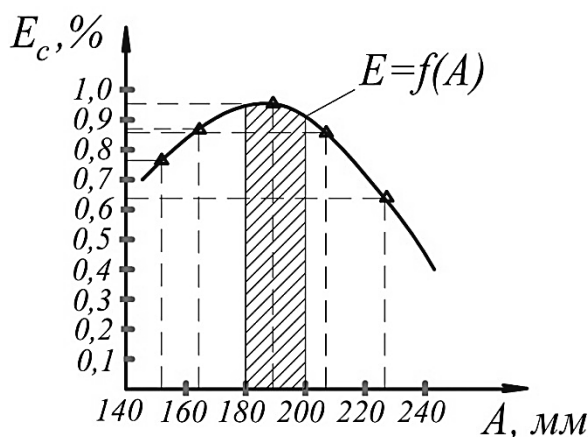


Рис. 6.30. Графік зміни ефективності сепарування залежно від амплітуди коливань

Далі зі збільшенням амплітуди помітно знижується ефективність сепарування. Поводження зерен у робочому каналі при цьому неоднакове. При значенні амплітуди коливань від 140 до 170 мм шар зерна коливається в робочому каналі недостатньо розосереджено, тобто переміщується купою, щільним шаром (ділянка AB), розосередженою залишається тільки кінцева частина шару зерна (ділянка BC) – рис. 6.31.

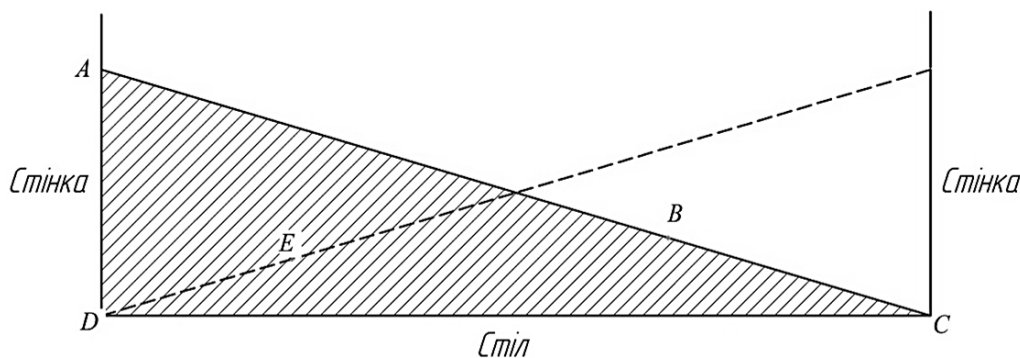


Рис. 6.31. Схема розподілу зерна при сортуванні

На ділянці BC відбувається стабільне розшарування зерна тонким шаром, в якому лущені та нелущені зерна вівса порівняно легко набувають направлено-го руху, вниз–вверх, залежно від їх форми, чистоти поверхні, питомої ваги, вологості, зерна орієнтуються на відокремлення. На ділянці AB діють сили тиску шару, сили натиску до стінки AO , сили взаємодії між зерном, які не дозволяють лущеним та нелущеним зернам прийняти напрямок руху. Аналогічне відбувається й при переході робочого каналу в протилежному напрямку переміщення до стінки DC ; у цьому випадку сепарування краще спостерігається, навпаки, на ділянці OE , де трикутник шару зерна нанесений пунктирною лінією (ділянка ODC).

Зі збільшенням амплітуди коливань висота шару (AB та BC) зменшується, а ділянки гарантованого розшарування зерна збільшуються (OE та BC), що підвищує ефективність сепарування. Збільшення амплітуди коливань до 240 мм від величини амплітуди в 200 мм відбувається зниження амплітуди

сепарування. У такому випадку частинки зерна за більшої амплітуди набувають прискорення, що направлене перпендикулярно робочому столу, тобто до стінок. У них переважає перпендикулярне переміщення по столу, а складова сила, яка орієнтує зерно вверх–вниз, зменшується, чим можна пояснити зниження ефективності сепарування.

Проаналізований також взаємозв'язок амплітуди та частоти коливань робочого столу на ефективність сепарування. За змінної амплітуди коливань 140–180 мм та їх частоти 40 коливань на хвилину ефективність сепарування невисока; разом з тим зі збільшенням частоти коливань від 40 до 55–60 коливань на хвилину, ефективність сепарування збільшується. В результаті експериментів встановлені найбільш раціональні для процесу сепарування вівса значення величини амплітуди коливань та частоти, коли процес сепарування зерен стабілізується (рис. 6.32).

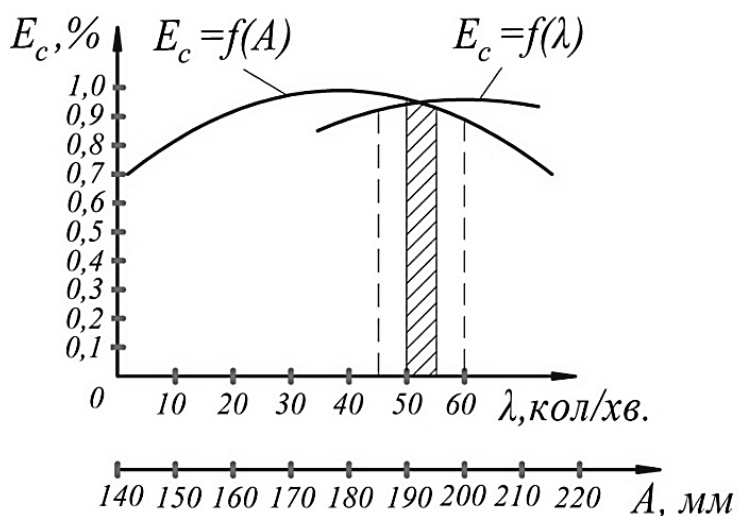


Рис. 6.32. Взаємозв'язок амплітуди A та частоти λ коливань на ефективність сепарування

Для частоти коливань це відповідає 50–55 коливань на хвилину, а для амплітуди більш доцільно використати значення 185–195 мм.

6.4.3. Характеристика процесу сепарування

Для розділення суміші вівса після луцення на лущені та нелущені зерна, тобто на дві фракції, кут встановлення сорбуючої поверхні регулюється спеціальним пристроєм, і діапазон регулювань коливається від 0 до 10°. На елементарну частинку (зернину), як і на весь шар, впливають кут нахилу робочого столу, ширина робочого каналу, кут встановлення робочих зигзагоподібних стінок, амплітуда та частота коливань столу, вологість вихідної сировини, що потрапляє на сортувальний стіл, продуктивність його подачі через вікна живильника, динаміка роботи столу. Ці фактори визначають в цілому, як буде здійснюватися процес сепарування на вібраційній поверхні робочого каналу. В результаті зворотно-поступальних коливань робочого каналу зигзагоподібні стінки, залежності від кута нахилу сепаруючої поверхні по-різному відбивають більш легкі за масою нелущені зерна, змінюючи їх швидкість переміщення вгору по похилій поверхні. Лущені зерна, як більш важкі та мають менший коефіцієнт тертя, зі загальної суміші переміщуються в нижній шар на робочу поверхню та «сповзають» униз до вихідного патрубку лущених зерен.

На рис. 6.33 (крива $E_c=f(\varphi)$) видно, що при горизонтальному розташуванні сортувальної поверхні робочого столу ефективність сепарування близька до коефіцієнта 0,1, тобто практично спостерігаються невисока продуктивність і незначна ефективність розділення лущених та нелущених зерен.

Зі збільшенням кута нахилу швидкість сепарування підвищується, що підвищує продуктивність та поліпшує ефективність сепарування, максимальне значення якої досягається при куті нахилу робочої сепарувальної поверхні 6,5 – 7,5° (заштриховано на графіку).

Під час обговорення взаємозв'язку кута нахилу робочого столу та частоти коливань на ефективність сепарування виявлено, що за незначних кутах нахилу (0 – 1,5°) та від 10 до 40 коливань столу на хвилину ефективність сепарування характеризується як незначна та не перевищує коефіцієнт 0,3 – 0,35. Збільшення частоти до 50 – 55 коливань на хвилину зі збільшенням кута нахилу сприяє

більш високій продуктивності та кращій якості розділення суміші на лушчені та нелушчені зерна вівса.

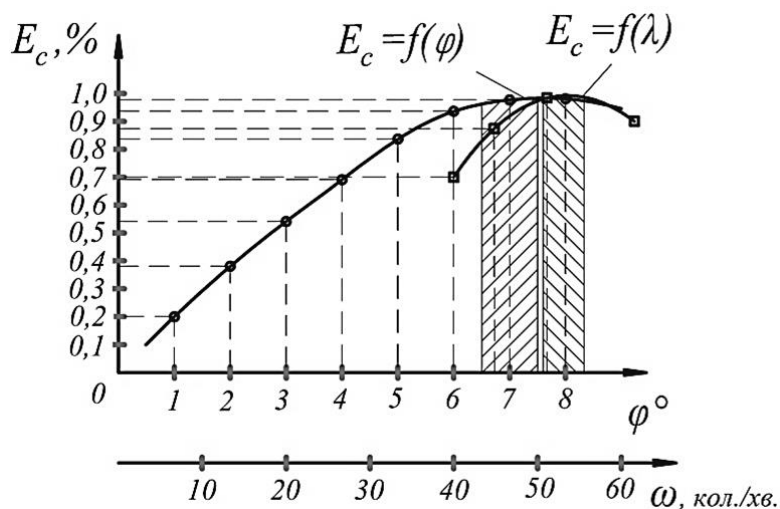


Рис. 6.33. Графік зміни ефективності сепарування E_c від кута нахилу робочого столу φ та частоти коливань ω

Найбільш вагомими для раціональних режимів роботи та високої ефективності розділення суміші можна вважати кут нахилу робочого столу $6,5 - 7,5^\circ$, а частоту $52 - 55$ коливань на хвилину (рис. 6.33).

6.4.4. Вплив динамічної нерівномірності коливань робочого столу на процес сепарування

У задачу експериментальних досліджень входило вивчення характеру зношування поверхні, по якій прокочуються фіксуєчі колеса. Моделювання зношування опорної поверхні рами реєстрували шляхом стиску закріплених на рамній конструкції пластин товщиною $0,1$ мм кожна.

На кожній зі сторін рами під кожним з чотирьох коліс була можливість збільшення зазору, моделюючого зношування, до 1 мм.

Під час налаштування установки на стабільний режим роботи були відрегульовані опорні колеса та опорна рама по якій переміщувався робочий канал. Коливання відбувалися з налаштованою частотою та амплітудою в установлен-

ному режимі. Характер розподілу зерна при сепаруванні і у зигзагоподібних стінок і по ширині каналу за обраних параметрів також був стабільним.

При «зношуванні» на кожній з чотирьох опорних поверхонь в 0,1 мм принципово характер переміщень робочого столу практично не змінюється, система продовжує працювати в стійкому режимі. Збільшення «зношування» до 0,2 мм викликає появу деякої нестійкості в роботі системи, з'являється додатковий шум при зворотно-поступальних рухах робочого столу, однак помітного погіршення процесу сепарування вівса в робочому каналі не спостерігається. Зі збільшенням зазору до 0,3 мм погіршується процес сепарування зерен вівса, збільшується кількість зерен, що не виділяються зі суміші, та, потрапивши в лущені зерна, технічно з'являються додаткові коливання, що характеризують нерівномірну роботу робочого каналу столу.

Для наочності процес зношування та поява наклепу на поверхнях фіксуючих та опорних коліс представлено на рис. 6.34.

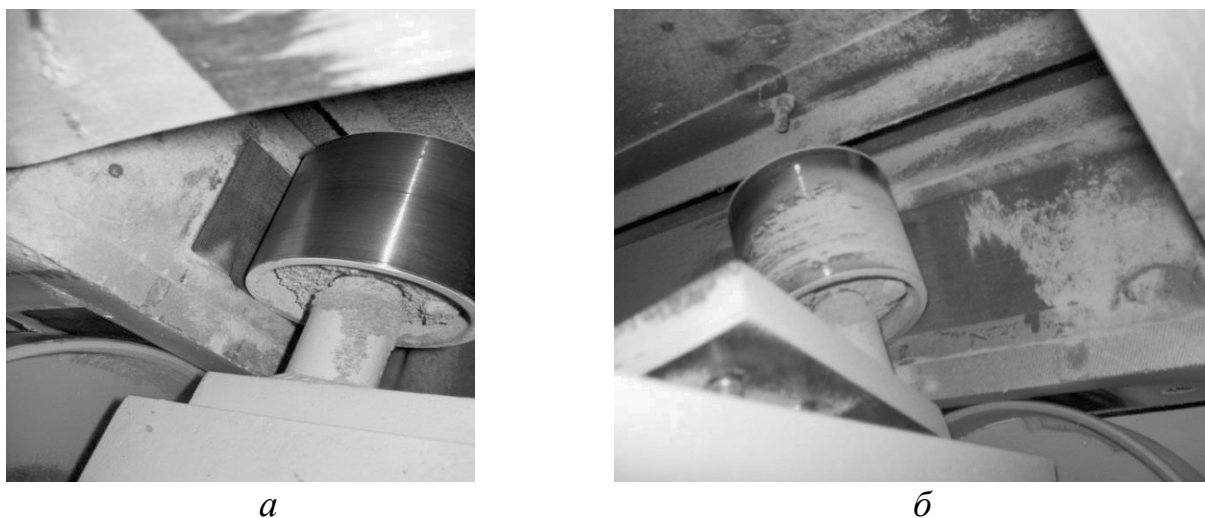


Рис. 6.34. Зовнішній вид ролика до (а) і після (б) експерименту

Характерний вид зносу підтверджує нерівномірні навантаження на опорні колеса в процесі роботи падді-машини.

Експериментальні дані свідчать про зниження ефективності сепарування, яке розпочинається при зношуванні контактних поверхонь на 0,25 мм. За пода-

льшого збільшення зношування опорних поверхонь, погіршення процесу сепарування підвищується більш інтенсивно (рис. 6.35).

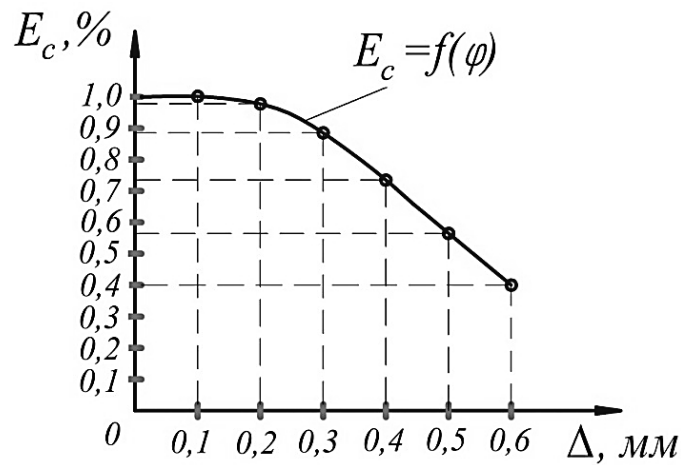


Рис. 6.35. Графік впливу ступеня зношування опорної поверхні на ефективність процесу сепарування

Різко погіршуються також експлуатаційні характеристики установки, підвищується шум, з'являється биття рами та робочого столу, виникає проковзування коліс, а головне – порушується рівномірний, якісний процес сепарування суміші вівса на луцені та нелуцені зерна. Звідси можна зробити висновок, що зношування опорних поверхонь робочого столу не може перевищувати більш ніж 0,25 мм.

6.5. Висновки

1. Аналіз технологій, процесів, обладнання і його робочих органів в галузі виробництва круп показав, що на даний час відсутні конструктивні параметри машин, які забезпечують стійку роботу всіх елементів, що приймають участь в процесі. Наведено теоретичне узагальнення в удосконаленні живильника для завантаження сортувального столу машини віброударної дії, обґрунтуванні раціональних конструктивних, технологічних параметрів і динамічних

характеристик при розділенні потоку круп'яної сировини, що забезпечують стабільне і якісне сепарування.

2. На підставі запропонованої моделі руху зерна у робочій зоні сортувального столу, вивчення закономірностей і взаємозв'язків між технологічними особливостями руху потоку зерна від завантаження у живильнику до виходу з сортувального столу у вихідні патрубки лущеного та не лущеного вівса, розроблена параметрична схема процесу, теоретичний огляд взаємозалежностей основних вихідних параметрів процесу – E_c – ефективність сепарування та E_e – його економічної ефективності, запропонована математична модель процесу, формалізовано у вигляді функціональних рівнянь, рішення якої дозволяє чисельно визначити раціональні технологічні параметри процесу сепарування.

3. Вперше теоретично розглянуто динаміка руху робочого столу машини віброударної дії по сортуванню вівсяної крупи, на основі досліджень виявлено основні точки навантаження: опорні колеса робочого столу; бокові направляючі колеса; торцеві колеса ексцентрикового механізму. Знайдені диференціальні рівняння руху робочих елементів столу з урахуванням складного руху технологічного потоку крупи перед сортуванням, та їх взаємодія, що дає можливість погодити роботу сортувального столу при сепаруванні потоку вівсяної крупи.

4. Експериментально визначені закономірності розподілу зерен вівса живильником в сортувальному зигзагоподібному каналі, умови розшарування лущеного та нелущеного зерна та руху їх потоків в протилежні сторони. Встановлено, що кут нахилу столу до горизонту повинен бути в межах 6,5 – 7,5 градусів, кількість вібрацій 50 – 52 за хвилину, амплітуда коливань 190 мм, при яких ефективність сепарування досягає значення $E_c = 97\%$.

5. Комплексним аналізом результатів теоретичних та експериментальних досліджень, проведенням багатостороннього експерименту рекомендовані значення конструктивних параметрів основних вузлів машини при значенні коефіцієнта сортування $K_c = 0,92 - 0,97$, що дає змогу отримувати крупу вищого гатунку з вмістом не лущених ядер до 0,1 %.

6. Результатом дослідження схеми сил що діють на сортувальний стіл сепарувальної машини, на фіксуюче та несучі колеса, підшипник, є диференціальні рівняння плоско паралельного руху сепаруючої поверхні та диференціальне рівняння руху елементів падді-машини під час гальмування столу при зворотно-поступальному русі. На їх основі розроблена програма чисельного інтегрування диференціальних рівнянь руху столу з котрих слідує, що найбільші значення кутова швидкість приймає на початку розбігу столу та в кінці гальмування, де відповідає синхронній частоті обертання. Встановлено, що зношування опорних поверхонь не може перевищувати величину 0,25 мм.