

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

Кваліфікаційна робота  
на правах рукопису

**ВЕРЕЩАГІН ДМИТРО РУСЛАНОВИЧ**

УДК 631.362.633

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

Удосконалення конструктивних параметрів машин для сепарування

зерна  
(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

Верещагін Д.Р. Удосконалення конструктивних параметрів машин для сепарування зерна. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2021.

Робота присвячена проблемі удосконалення конструктивних параметрів машин для ефективного сепарування зернової суміші та інших сипучих матеріалів на відцентрованому сепараторі. Технологічний процес сепарації відбувається в горизонтальному циліндричному решеті з планетарним рухом у відцентрованому сепараторі для розподілу зернової суміші.

**Ключові слова:** відцентровий сепаратор, циліндричні решета, удосконалення, зерно, ефективність.

## ABSTRACT

Vereshchahin D. Improving the Design Parameters of Grain Separation Machines. 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 parameters of machines for efficient separation of grain mixture and other bulk materials on a centrifugal separator. The technological process of separation takes place in a horizontal cylindrical sieve with planetary motion in a centrifugal separator for the distribution of the grain mixture.

**Key words:** centrifugal separator, cylindrical sieves, improvements, grain, efficiency.

## ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН МЕТОДІВ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ СЕПАРУВАННЯ ЗЕРНА	6
1.1. Аналіз технічних засобів для попередньої обробки зерна	6
1.2. Фактори, що впливають на ефективність процесу сепарації	12
1.3. Технологічний процес сепарації в циліндрчному решеті	15
Висновки по розділу 1	19
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНА	20
2.1. Модель сепарації зернового вороху в горизонтальному циліндричному решеті	20
2.2. Рух зернівки по поверхні циліндричного решета	21
2.2. Визначення осьової швидкості перміщення зернового матеріалу по решету	23
Висновки по розділу 2	26
РОЗДІЛ 3. УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ МАШИНИ ДЛЯ СЕПАРУВАННЯ ЗЕРНА	27
3.1. Опис експериментальної установки	27
3.2. Методика з обґрунтування основних конструктивних параметрів сепарувальної машини	30
3.3. Методика визначення впливу діаметра циліндричного решета на процес сепарування	31
3.4. Методика дослідження процесу просівання зернового матеріалу	32
3.5. Методика визначення впливу кута нахилу циліндричного решета на процес сепарування	33
3.6. Визначення ефективності сепарації	36
Висновки по розділу 3	37
ВИСНОВКИ	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	39

## ВСТУП

Одним із пріоритетних напрямів розвитку агропромислового комплексу, є створення нового і удосконалення існуючого технологічного обладнання і технологій для переробки сільськогосподарської сировини.

Сепарування зернової суміші та інших сипучих матеріалів широко використовується на підприємствах борошномельної, круп'яної, масложирової та інших галузей промисловості. Важливим фактором для виробництва є зниження собівартості і підвищення якості робіт. Необхідність переходу на сучасне і високоефективне обладнання обумовлена високими вимогами до якості зерна, що надходить на переробку.

У даний час процес сепарування сипучих матеріалів здійснюється на застарілому обладнанні, і як наслідок, якість отриманого продукту не задовольняє сучасні вимоги. Витрати на післязбиральну обробку і зберігання зерна складає від 40 до 60 % загальних витрат на його виробництво, тому актуальним питанням є перехід на високоефективне обладнання для сепарування, що дозволить інтенсифікувати даний процес [1].

Найбільш ефективним способом очищення і сортування зерна є сепарація на решетах. У даний час в основному використовуються плоскі решета, але вони мають обмежену продуктивність на одиницю робочої поверхні. Одним із основних недоліків плоских решіт є необхідність коливальних рухів, що ускладнює привід і очищення решіт, потребує пристроїв для їх удосконалення. Все це обумовлює складність, недостатню надійність машин, а також їх великі габарити, металоємність і відповідно високу вартість та експлуатаційні затрати.

Для значного підвищення ефективності роботи відцентрових сепараторів необхідно в принципі змінити технологічний процес. Основними факторами, що визначають процес сепарації, повинна бути не сила тяжіння, а інерційна сила, яку можливо реалізувати на циліндричних решетах. Які мають великі переваги:

- вони не потребують врівноважування;

- відрізняються плавністю руху;
- простим приводом;
- високою надійністю;
- компактністю.

Тому інтенсифікація сепарації за допомогою циліндричних решіт є актуальною задачею, а самі решета одним із найбільш перспективних робочих органів для сепарації.

Відповідно до викладеного, у кваліфікаційній роботі сформульовано **мету дослідження**: підвищення ефективності технологічного процесу сепарації на основі інерційних силових полів.

**Об'єкт дослідження**: технологія сепарації зерна і процес роботи сепарувальної машини на горизонтальних решетах.

**Предмет дослідження**: закономірності процесу сепарації зерна , параметри і режими роботи решітних циліндрів.

**Методи дослідження**: теоретичні обґрунтування параметрів і режимів роботи сепарувальної машини проводилось з використанням методів математичної статистики і моделювання, законів і методів класичної механіки, методів планування багатфакторного експерименту і математичного аналізу отриманих результатів.

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

**Обсяг та структура роботи**. Робота складається із вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на 40 сторінках машинописного тексту, містить 4 таблиць, 22 рисунка, списку використаних джерел з 18 найменувань.

# РОЗДІЛ 1.

## СУЧАСНИЙ СТАН МЕТОДІВ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ СЕПАРУВАННЯ ЗЕРНА

### 1.1. Аналіз технічних засобів для попередньої обробки зерна

Нині для попередньої обробки забрудненого зерна використовують різні способи сепарації: повітряний, решітчастий та комбінований.

Сепарація (лат. *Stparatio*) – розділення сипучих зернових культур на різні фракції. Класифікація сепараторів за конструктивними ознаками наведена на рис. 1.1.

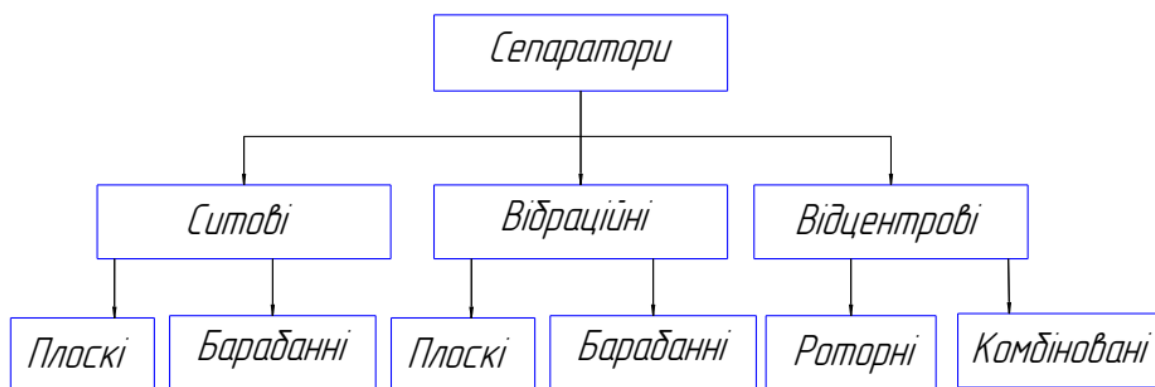


Рис. 1.1. – Схема конструкції сепараторів

Ситові сепаратори застосовують на підприємствах зі зберігання і переробки зерна:

- для очищення від домішок зернових сумішей, що відрізняються від зерна лінійними розмірами (товщина і ширина);
- для сортування зерна на фракції;
- для луцення зерна і сортування продуктів подрібнення.

У результаті просіювання через сито вихідний продукт поділяється на дві фракції (частини), що мають різні за розмірами частинки. Більша частина суміші, що проходить через сита, називається проходом; решта частина, яка залишається на ситі називається – сходом (рис. 1.2).

Сита з плоскими круглими отворами можуть затримувати частинки, ширина яких більша діаметра даних отворів. Так як, можливо розділити

зерно по ширині або виділити домішки із суміші, що відрізняються від основної культури зерен.

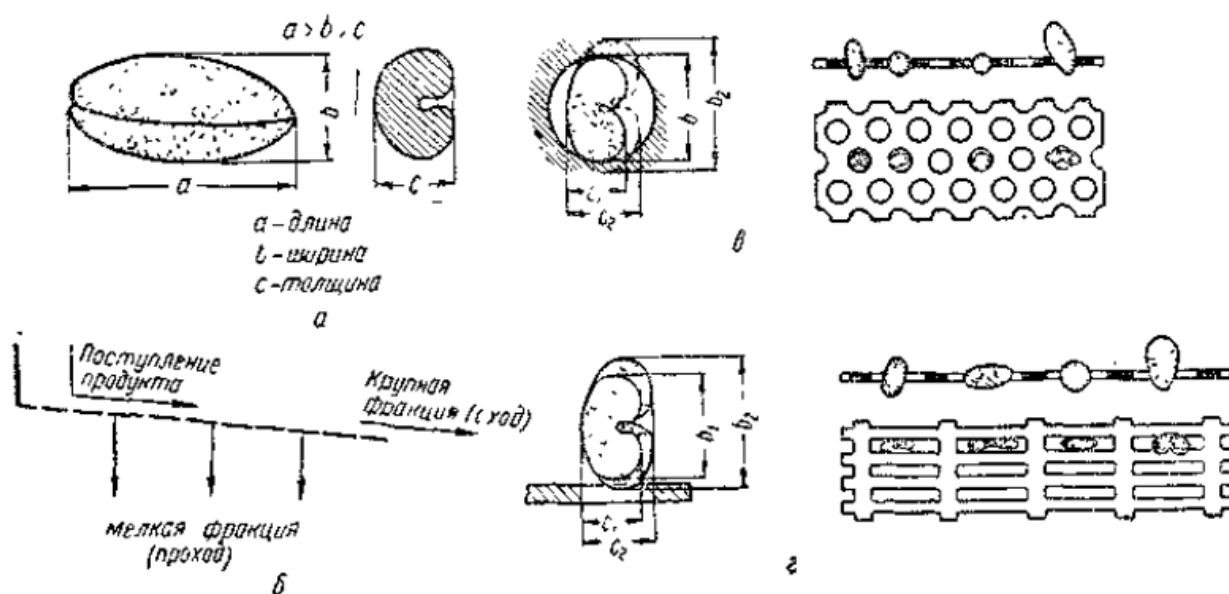


Рис. 1.2. – Процес сепарування на ситах зернової суміші: а- зазначення розмірів зернівки; б – поділ суміші на дві фракції; в – сито для сортування зерна по ширині; г – сито для сортування зерна по товщині.

До робочих органів з ситами, що обертаються машини відносить барабан, що виготовлений у формі циліндра, піраміди або шестигранної призми з натягнутими на поверхню ситами. Сита очищаються відповідним механізмом ударної дії. У циліндрі круглої форми використовують щітковий механізм для очищення сит [2].

До вібраційних сепараторів відносяться сепаратори із вібробудувачами. Завдяки можливій незалежній зміні амплітуди коливань корпуса та збільшення інтенсивності вібрацій у даних сепараторах відбувається оброблення зернової суміші. При підвищенні сили вібраційної дії на сипкий продукт відбувається їх рівномірне розподілення по всій поверхні сита. При відсутності переходу через проміжні резонанси сепаратора під час запуску та зупинки вібробудувача значно підвищується надійність даної установки. Основною вимогою до вібраційних сепараторів є забезпечення мінімального обслуговування, з даною мнтою як збудувальний елемент у них встановлюють вібратор (рис. 1.3) [3].

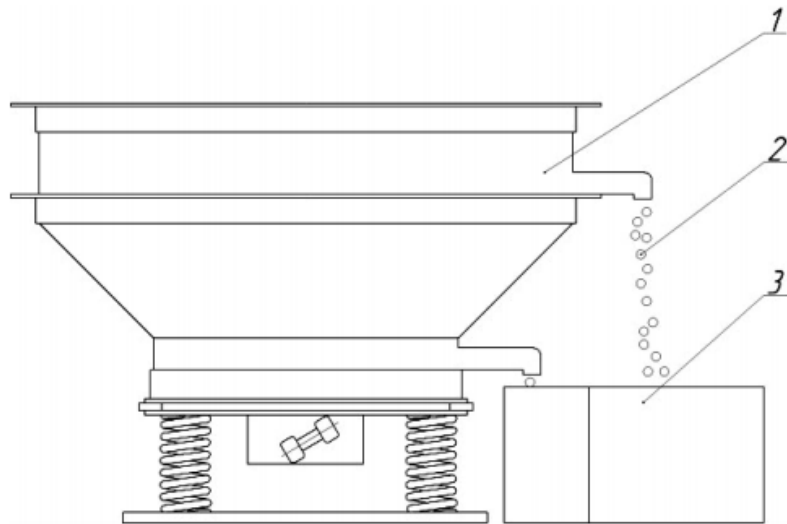


Рис. 1.3. Схема вібраційного сепаратора: 1 – корпус, 2 – сипки продукт; 3 – ємність для розділених фракцій

За необхідністю поділу суміші, доцільно використовувати вібраційні сепаратори в режимі з безперервним підкиданням. При цьому вібродія сприятиме не лише сортуванню, але і розпошенню, що необхідна для розеднання міцних і жорстких сит. Для просіювання зернових частинок, форма яких є сферична, оптимальними є кругові коливання у горизонтальній площині. [4]

Основними перевагами повітряного сепарування є його універсальність і простота керування режимами повітряного потоку. На даний час відомі: пневмосепаратори з гравітаційною подачею матеріалу (пневмоколонки), відцентрові та інерційні сепаратори. [5-9].

Пневмоколонки застосовуються для видалення легких домішок, пилу, насіння бур'янів та малоцінного насіння при очищенні зернового вороху невеликого забруднення і вологості. Підвищення продуктивності та їх зерноочисних машин призводить до збільшення енергомосткості і габаритних розмірів [10].

Для розділення більш забрудненого та вологішого зерна застосовуються відцентрові та інерційні сепаратори, в яких вихідний матеріал за допомогою живильника вноситься у повітряний потік.



Мета інерційної сепарації полягає в тому, щоб ворох тонким шаром вводився у повітряний потік, швидкість якого повинна перевищувати швидкість витання насіння основної культури.

За направленням повітряного потоку, дані інерційні сепаратори поділяються на пристрої з вертикальним, нахиленим і горизонтальним потоком.

За типом повітряного потоку розрізняють сепаратори нагнітальної і аспіраційної дії, через більш рівномірний повітряний потік від перетону пневмокамери перевага віддається аспіраційним системам. Інерційні сепаратори забезпечують продуктивність 20-30 т/год на зерновому воросі забрудненістю 30-40, при втратах до 1% та чистоті зерна 95-97%.

Суттєвим недоліком є зниження ефективності обробки вороху більшої засореності. При обробці сильнозв'язаного вороху, особливо при підвищеному вмісті в ньому великих солом'яних частинок, збільшуються втрати насіння, а частота матеріалу значно знижується.

Пояснюється це з точки зору існування граничного зернового навантаження ( $\text{кг/м}^2 \cdot \text{с}$ ) в камері сепарації. З підвищенням граничного навантаження, ефективність очищення падає. Крім того, до недоліків повітряного способу сепарації варто віднести неможливість повного розділення високозабрудненого вороху. Це пов'язане з тим, що частинки, які містяться в оброблювальному вороху, мають подібні аеродинамічні властивості з насінням основної культури.

Спосіб відцентрової сепарації дозволяє підвищити ефективність процесу шляхом введення у повітряний потік, частинки розділюваного вороху з різними швидкостями. При цьому легкі частинки, що мають менший коефіцієнт тертя, починають ковзати по поверхні і втрачають швидкість у більшій степені ніж важкі.

До недоліків відцентрових сепараторів слід віднести скланість технологічної схеми, а також забивання робочих органів при обробці мілкосоломистого або подрібненого вороху.

В даний час, основним напрямом розробки нових сепараторів є використання відцентрових сил для очищення насіння зернових культур. Переваги комбінованих технологічних сепараторів полягає в малій металоємності і використанні різних швидкостей відцентрових пристроїв для очищення зерна [11].

Циліндричні решета у порівнянні з плоскими решетами, володіють рядом переваг: простота і дешевизна виготовлення, не потребують врівноважування, відрізняються плавністю ходу руха та енергоємні. Пристрої для очищення отворів решіт, також прості за конструкцією, надійні у роботі та не потребують спеціального приводу.

Просіювання частинок відбувається через отвори плоских решіт під дією сил гравітації також за допомогою сил інерції.

Для розгляду і аналізу основних схем і конструкцій циліндричних решіт з внутрішньою подачею матеріалу, складемо їх класифікацію (табл. 1.1) за найбільш суттєвими ознаками.

В основу такої класифікації покладена величина відцентрової сили, що діє на матеріал у процесі його обробки.

Таблиця 1.1 – Класифікація сепараторів з циліндричними решетами і внутрішньою подачею матеріалу

Тихохідні решета	Швидкохідні решета
1. Без внутрішніх пристроїв	
1. Звичайні (прості) з горизонтальною вісю обертання	1. Обераючі, з перемінною по величині кутовою швидкістю
2. Прості з нахиленою вісю обертання	2. Здійснюючі одночасно обертаючі і коливальні рухи
3. Коаксіально розміщені циліндричні решета	3. Здійснюючі одночасно рух навколо двох паралельних вісей
2. З внутрішніми пристроями	
1. Обертаючись разом з решетом і прикріпленому до нього лопатками, ковшами, шнеками та іншими пристосуваннями	
2. Обертаючись незалежно від решета для переміщення оброблювального матеріалу і його зміщення в осьовому напрямку	
3. Не здійснюючі рухи (нерухомо закріплені)	

До першої групи слід віднести тихохідні циліндричні решета, робота яких характеризується показниками кінематичного режиму  $K < 1$ , тобто решета, при яких відносна величина відцентрової сили, що діє на частинки оброблювального матеріалу, до сили тяжіння не перевищує одиниці.

Показники кінематичного режиму знаходимо наступним чином:

$$K = \frac{\omega_q^2 R}{g}, \quad (1.1)$$

де  $\omega_q^2$  – кутова швидкість частинки,  $\text{с}^{-1}$ ;

$R$  – радіус обертання;

$g$  – прискорення сили тяжіння,  $\text{м}/\text{с}^2$ .

До другої групи відносяться швидкохідні циліндричні решета, які характеризуються показниками кінематичного режиму  $K > 1$ .

Відмінна особливість швидкохідних циліндричних решіт без внутрішніх пристроїв полягає в тому, що відносний рух матеріалу по робочій поверхні досягається виключно за рахунок своєрідного характеру руху самого решета. Ці решета, як правило, здійснюють достатньо складний рух з коливальними (віброрешето), або рух навколо двох паралельних вісей, або з перемінною по величині кутовою швидкістю привід механізм-куліса) [12].

В даний час на ринку є декілька машин попереднього очищення зерна, що оснащені циліндричними решетами, такі як сито-повітряний сепаратор «ЛУЧ ЗСО» ТОВ «Оліс» Україна, ОЗЦ-50 (Білорусь), сепаратор зерна «СППЗ» та ін. Дані сепаратори мають як переваги так і недоліки. Одні маини недорогі, мають достатню надійність, але не забезпечують потрібний рівень очищення, особливо на вологому зерні і не задовільняють вимоги з охорони праці, інші – забезпечують відповідну якість очищення зерна, але конструктивно складні, відносно дорогі і не достатньо надійні.

## 1.2. Фактори, що впливають на ефективність процесу сепарації

Попереднє очищення зерна, що надходить на підслязбиральну обробку, проводять на різних машинах, принцип дії яких оснований на відмінності фізико-механічних властивостей зерна і домішок.

Багаточисленні дослідження процесу сепарації зернових сумішей дозволили виділити основні фактори, що суттєво впливають на ефективність процесу. ці фактори можна розділити на три наступні групи: конструктивні (ширина і довжина решета, форма і розміщення отворів, площа «живого» перетину, кут нахилу до горизонту та ін.); технологічні (питоме навантаження забрудненість, вид культури, вологість, коефіцієнт тертя матеріалу об решето та ін.); кінематичні (амплітуда коливання, частота обертання решета, максимальне прискорення решета та ін.).

Дослідження процесу сепарації зернового матеріалу присвячені роботи М.Е. Авдеева [1, 12]; Гончарова Є. С. [13], Дрінча В.М. [14] Кожуховського Н.Є. [15] та ін. Результати цих досліджень стали теоретичною основою для дослідження процесів сепарації сипучих матеріалів і визначення шляхів їх подальшого розвитку.

Дослідження багатьох вчених були присвячені вивченню впливу основних конструктивних, кінематичних і технологічних факторів на кількісні і якісні показники процесу сепарації. Дані дослідження дозволили визначити залежність продуктивності і якості сепарації, що є основними показниками ефективності, від багатьох факторів, що впливають на даний процес.

Процеси інтенсифікації повітряного очищення зерна від легких домішок подібне дослідженням в роботах: Буркова А.І. [16], Косилова М.І. - інерційна взаємодія зернового і повітряного потоків, оптимізації сепарації інерційним повітряним потоком зернової суміші різного складу, [17] Злочевського В.Л. – динаміка пневмосепарування в рівномірному потоці і резонансному керуванні руху в повітряному потоці, взаємодія повітряних хвильових структур на

зернівку та ін. Проведений аналіз дослідження решітної сепарації для виділення мілких домішок.

Одним із перспективних напрямів прискорення процесу просіювання на решетах і створення сприятливих умов для проходу зерна в отвори є зміна конструктивних параметрів решіт. Плоскі решета, як розділюючий орган, характеризується своїми габаритами: ширина і довжина, форма, розміри, частота і характером розміщення отворів. Для визначення шляхів підвищення продуктивності і якості роботи плоских решіт необхідно виявити вплив кожного параметра на показники роботи решета. Збільшення габаритних розмірів – довжини і ширини підвищує продуктивність зерноочисних машин, але супроводжується збільшенням габаритів машини, підвищенням металоємкості, затрудненим очищенням решіт і вирівнюванням (по ширині) поля швидкості повітря, зниженням економічних показників.

Інтенсифікувати процес сепарації на решетах можливий за рахунок підвищення швидкості руху зерна по решету. У сучасних зерноочисних машинах швидкість переміщення зерна по решету складає 0,1...0,25 м/с.

$$V = v/T(2 - \varepsilon) \quad (1.2)$$

де  $v$  – половина шагу квадратного отвору, мм;  $T$  – час, необхідний для проходження зерна через отвір;  $\varepsilon$  – безрозмірний коефіцієнт, що характеризує відношення розмірів зерна і отворів решета  $\varepsilon = \Delta + d/2v$ , ( $d$  – еквівалентний діаметр зерна,  $\Delta$  – діаметр дроту решета).

З даної формули видно, що збільшення відносної швидкості зерна по решету, при якому воно ще могло б просіюватись, обмежується розміром отвору.

Відповідно, для подальшого збільшення відносної швидкості переміщення зерна по решету необхідно збільшити довжину отвору. Але, поперечні перемички будуть мішати проходу зерна в отвори. Це витікає із отриманого виразу Терсковим Г.Д. для визначення граничної швидкості руху зерна по решету:

$$V_{\text{пр}} = \left( D - \frac{v}{2} + \frac{\Delta}{2} tg\beta \right) \frac{g \cos\beta}{\Delta}, \quad (1.3)$$

де  $D$  – довжина отвору решета;  $\beta$  – кут нахилу решета до горизонту;  $\Delta$  – товщина зернівки;  $\nu$  – довжина зернівки;  $g$  – прискорення вільного падіння.

В даного виразу видно, що зі збільшенням граничної відносної швидкості можливе при незмінних розмірах зерна тільки зі збільшенням довжини отвору. Пождальше збільшення швидкості руху зерна на плоских решетах тормозяться тим, що плоскі решета працюють тільки в полі гравітаційних сил.

Ймовірність збільшення проходового насіння збільшується зі загальною кількістю їх на одиницю площі решета, тобто вона пропорційна відносній «живій» площі решета. Показником, що характеризує «живу» площу решета є коефіцієнт площі «живого» перетину:

$$\mu = F_0/F \quad (1.4)$$

де  $F_0$  – площа всіх отворів зешета;  $F$  – площа решета.

Для решіт з продовговатими отворами шириною 0,5...0,6 мм коефіцієнт знаходиться в межах 16...49%.

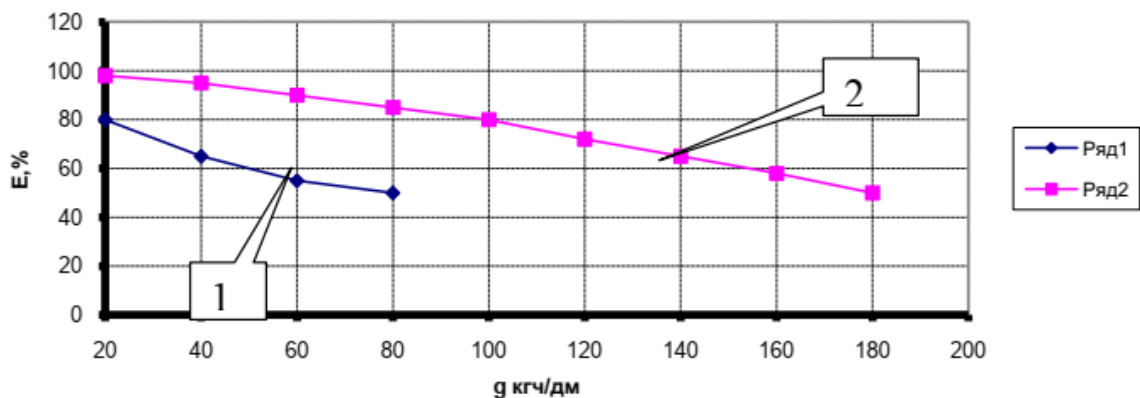


Рис. 1.4. Вплив питомого навантаження на ефективність роботи оешіт:

1 – плоскі ( за даними Кожуховського Н.Є.)

2 – відцентрові (за даними Гончарова Є.С.).

При ліквідації поперечних перемичок усувається шкідлива дія удару зернових частинок об перемичку, яка надає відємний вплив на процес проходження частинок в отвори. Перемички даного решета виготовлялись із сталевих тросів діаметром 0,8...1,0 мм. Стабільність робочого розміру отвору решета забезпечувалась за рахунок попереднього натягу кожного тросіка

окремо. Сумарна площа оворів струного решета з робочим розміром отворів складала 68...70% від всієї площі сепарувально поверхні, в той же час як у плоского пробивного решета з таким же отвором – 43, тобто збільшувалась в 1,6 рази.

Таким чином, збільшення площі «живого» перетину решета, збільшується ймовірність попадання зерна в отвір, що дозволяє значно інтенсифікувати процес сепарації.

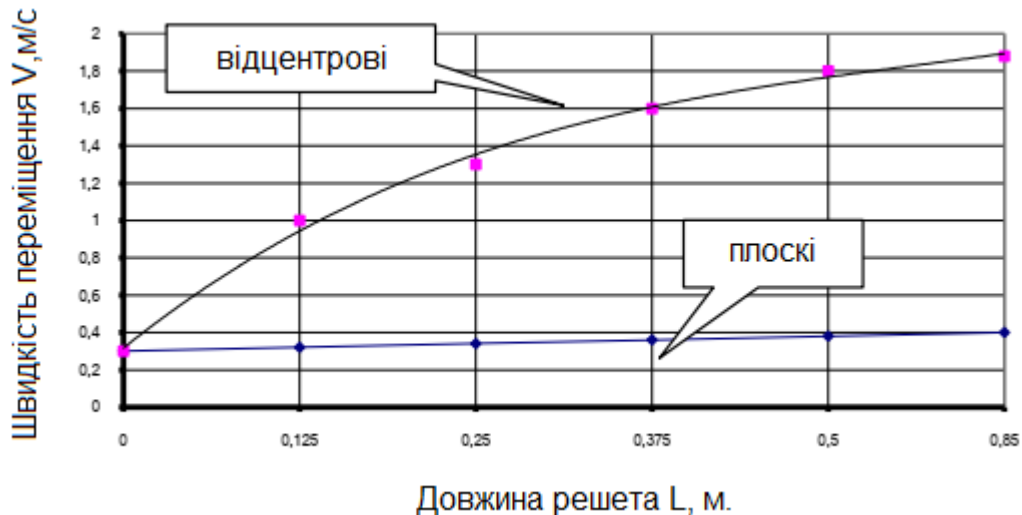


Рис. 1.5. Зміна швидкості руху зерна по довжині решета:

1 – плоскі решета; 2 – відцентрові решета.

### 1.3. Технологічний процес сепарації в циліндрчному решеті

З метою вивчення процесу сепарування зерна на решетах, необхідно розглянути всі фактори, що впливають на даний процес. Перш за все, необхідно теоретично встановити, як проходить рух частинок оброблювального матеріалу по внутрішній поверхні решета, визначити характер даного руху, сили, що діють на частинки, а також умови їх стійкості циклічного руху, так як стійкість процесу є одним із основних умов надійності роботи сепарувального органу.

Зерновий ворох розміщується на сепарувальній поверхні шаром визначеного розміру і структури [18]. Частинка може рухатись з ковзанням, або перекочуватись. Можливий також варіант, в якому обидва рухи

передуються, переважання якого-небудь одного із них в конкретний момент часу залежить від багатьох факторів. Частинка може рухатись з деякою швидкістю або знаходитись в стані спокою відносно до поверхні. Оскільки при вирішенні технічних задач можна прийняти, що коефіцієнт тертя точки об поверхню решета  $\epsilon$  залежить від швидкості відносного руху. Тому приймемо, що коефіцієнт тертя спокою рівний коефіцієнту тертя при русі, тобто приймаємо постійною і рівною середньому його значенню на всьому шляху руху частинки.

Сепарація сипких тіл можлива лише при русі оброблювального матеріалу відносно сепарувальної поверхні. Тому, однією із вадливих питань, що виникають при обґрунтуванні параметрів зерноочисних машин, є вибір режиму роботи.

Відомі чотири можливих режима руху частинок по внутрішній поверхні решета. Перший режим (рис.1.6) характеризується рухом частинки без відривів від поверхні, при цьому максимальний кут її підйому в площині основи решета не перевищує  $\varphi = \pi/2$ . Для кожного значення коефіцієнта тертя  $f_p$  можливо визначити такий кут подачі  $\varphi_0$ , при якому частинка може бути піднята не вище горизонтального діаметра.

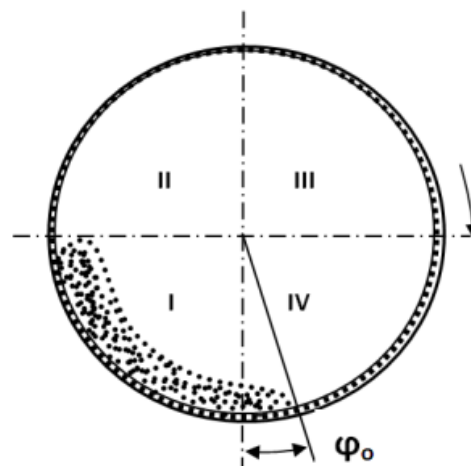


Рис. 1.6. Робота циліндричного решета в першому режимі

Позначимо  $K_1^{T1}$  мінімальний показник, що забезпечує піднімання частинки на кут  $\varphi = \pi/2$ . У випадку, коли  $K_c < K_1^{T1}$  частинка при будь-якому куті подача в квадрат не досягне горизонтального діаметру і в ньому буде відбуватись коливальний рух в I та IV квадратах. Теж саме буде



відбуватись, якщо кут подачі  $\varphi_0 < \varphi_1$ . Таким чином, умови  $0 < K_q < K_1^{T1}$  і  $\varphi_0 < \varphi_1$  забезпечать рух частинки в першому режимі.

Другий режим визначається наявністю відриву частинок від поверхні решета в II квадраті. Максимальний кут відриву при цьому рівний  $\varphi_0 = \pi$ . На рис. 1.7 наведена схема роботи циліндричного решета в другому режимі. На ній позначені АВ і CD – фази відносного ковзання; DA – фаза вільного польоту; BC – фаза відносного спокою.

Усунення фази відносного спокою можливе шляхом застосування в конструкції циліндричного решета нахиленої поверхні (за Фішером) або відбивального щитка (за М.М. Летошнєву). Пристосування зображене на рис. 8 призначене для приймання зерен, відірваних в II квадраті, зниження швидкості хз руху і подачі на поверхні решета під кутом  $\varphi_0$ .

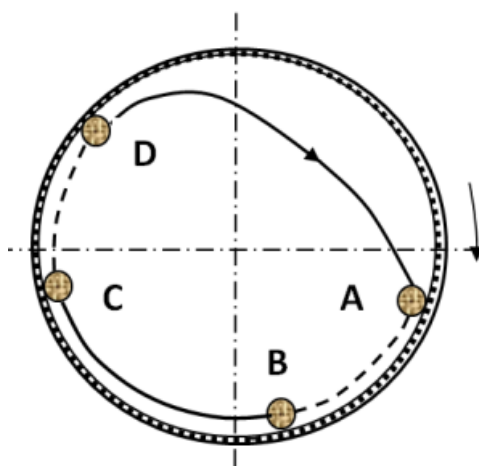


Рис. 1.7. Робота циліндричного решета в другому режимі.

В третьому режимі наявний круговий рух частинок разом з поверхнею решета. При цьому частина шляху вона проходить з деякою відносною швидкістю, величина якої відносно руху частинки визначається в значній мірі коефіцієнтом тертя  $f$  і як наслідок цього змінювати її в широких межах не представляє можливості.

Четвертий режим руху частинки (рис. 1.8) характеризується тим, що в деякий момент часу її швидкість стає рівною кутовій швидкості циліндра, і всі подальші рухи частинки здійснюються в спокої відносно її поверхні. В залежності від величини показника  $K_q$  і кута подачі частинки  $\varphi_0$  її відносний спокій може наступити як при першому обороті навколо вісі барабану, так і в

наступних. До моменту настання рівенства швидкості частинки і циліндр їх руху відбувається з деякою швидкістю один відносно одного. Четвертий режим застосовується для роботи циліндричних решет, але для здійснення сепарації в цьому режимі необхідно забезпечити постійну подачу матеріалу під кутом  $f_0$  в IV квадраті і знімання зерна з поверхні решета в II і III квадратах, де величина відносної швидкості зерна невелика. Таким чином, аналіз різних режимів руху частинок по внутрішній поверхні обертаючого решета показує, що його стійка робота в II, III і IV режимах можлива лише при наявності додаткових пристроїв, що дозволяють знизити швидкість руху зерна і забезпечити його подачу на внутрішню поверхню під визначеним кутом  $\varphi_0$ .

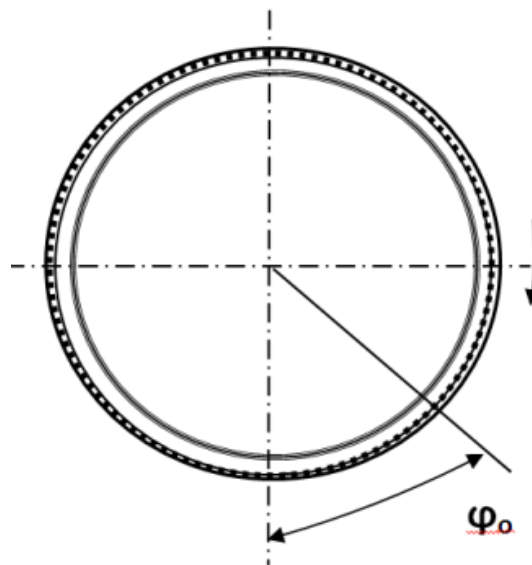


Рис. 1.8. Робота циліндричного решета в IV режимі

З врахування вищезазначеного, сепарація зернового вороху циліндричним решетом без допоміжних пристроїв може виконуватись в першому режимі, а також в другому при умові, що кут відриву частинок від поверхні решета забезпечить їх приземлення в зоні I квадранта.

У результаті дії сил тяжіння і тертя зі сторони обертаючого барабану зерна, що знаходиться в шарі та в стані рухомої рівноваги, переміщуючись навколо горизонтальної вісі, положення якої визначається показником динамічного кута тертя зерна об поверхню барабану.

Для забезпечення стабільного протікання процесу сепарації оброблювального матеріалу необхідно надавати осьовий рух, що досягається нахилом решета по ходу руху матеріалу. В даному випадку процес переміщення зернового вороху складається із окремих послідовно повторюючи один за одним циклів.

Кожний цикл складається з двох частинок: піднімання зернового матеріалу разом з поверхнею обертаючого решета і його опускання вних під дією сили тяжіння. Переміщення частинок сепарувального матеріалу вздовж вісі решета проходить по лінії найбільшого ската лише в момент їх опускання. У процесі пінімання осьове переміщення практично відсутнє.

Для збільшення питомої продуктивності сепаратора необхідно, щоб шлях, пройдений сепарувальним матеріалом по внутрішній поверхні решета, був як можливо більшим. Максимальна траєкторія його руху може бути досягнута за рахунок надання решету обертання планетарного виду. Таке конструктивне рішення дозволить не тільки підвищити сепарувальну властивість решета і розподілити ворох по поверхні решета, але і значно знизить втрати зерна, змінюючи частоту обертання.

### **Висновки по розділу 1**

В даному розділі із проведеного огляду і аналізу слідує, що дослідження шляхів інтенсифікації процесу сепарації зерна на циліндричних решетах віброцентрового сепаратора отримали найбільше розповсюдження в сучасній науці, що говорить про розгляд решета в якості перспективного шляху інтенсифікації процесу сепарації.

## РОЗДІЛ 2.

### ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНА

#### 2.1. Модель сепарації зернового вороху в горизонтальному циліндричному решеті

Для побудови механіко-математичної моделі процесу руху зернової суміші в горизонтальному циліндричному решеті з планетарним рухом прийнято наступне:

- розглядається процес руху зернового вороху в решеті;
- рух зернового тіла під дією зовнішніх сил і сил інерції;
- коефіцієнти тертя приймаються постійними, незалежними від швидкості руху зернового вороху;
- прискорення частинок в шарі зерна, що знаходиться на решетах прийняті постійними.,

Модель сепарації зернового вороху в горизонтальному циліндричному решеті представлена на рис. 2.1.

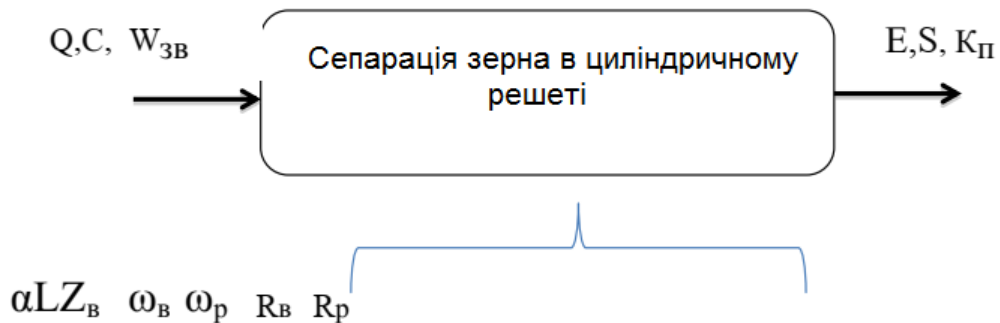


Рис. 2.1. Схема процесу сепарації зернового вороху в циліндричному решеті

У якості впливу приймаємо:  $Q$  – подача зернового вороху;  $C$  – забрудненість зернового вороху;  $W_{зв}$  – вологість зернового вороху;  $\alpha$  – кут нахилу решета;  $L$  – довжина циліндричного решета;  $\omega_{в}$  – частота обертання веденого механізму;  $\omega_{р}$  – частота обертання циліндричного решета;  $R_{р}$  – радіус циліндричного решета;  $R_{в}$  – радіус веденого механізму.

Вихідними параметрами є:  $\varepsilon$  – ефективність очищення зернового вороху, %;  $S$  – втрати зерна, %;  $K_{\Pi}$  – коефіцієнт використання поверхні решета.

Для визначення основних параметрів зернового шару всередині циліндричного решета під дією обертання решета і його планетарної складової розглянемо основні види руху зернівки по поверхні циліндричного решета та переміщення зернового матеріалу по решету вздовж вісі.

## 2.2. Рух зернівки по поверхні циліндричного решета

Нехай в початковий момент  $t_0 = 0$  зерно знаходиться в самій нижній точці  $M_0$  поверхні решета і повністю розділяє його рух. Розглянемо умови, при якому зерно буде знаходитись у відносному потоці. Якщо решето, протягом деякого часу повернеться на кут  $\lambda = \omega_p t$ , тоді при відсутності ковзання зерно разом з решетом також повернеться на кут  $\lambda = \omega_p t$  і переміститься із точки  $M_0$  в точку  $M_1$  (рис. 2.2.). Зерно буде знаходитись у відносному спокої, коли всі сили будуть зрівноважені.

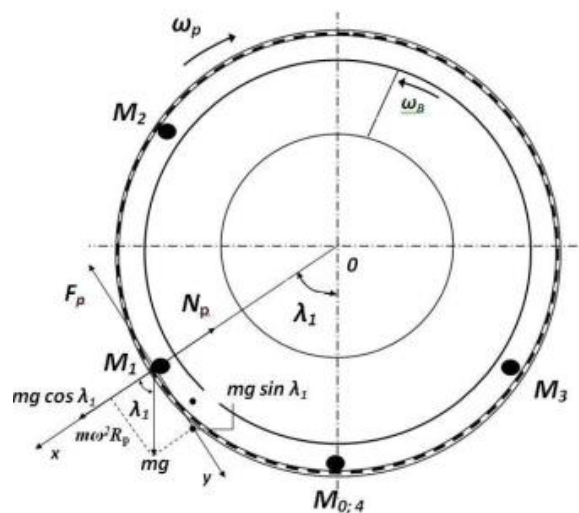


Рис. 2.2. Схема до визначення максимального підняття зерна в обертовому решеті.

На зерно діють наступні сили:

- сила тяжіння  $mg$ ;

- реакція  $N_p$  поверхні, направлена від точки  $M_1$  до центра  $O$ ;
- сила тертя решета по дотичні поверхні в сторону обертання решета  $F_p = f_p N_p$ .

Виберемо вісі координат, з початком в точці  $M_1$ . Складемо суму проєкції, що діє на зернівку сил на вибрані вісі:

$$X: m\omega_p^2 R_p - N_p + mg \cos \lambda_1 = 0 \quad (2.1)$$

$$Y: F_p - mg \sin \lambda_1 = 0 \quad (2.2)$$

Із першого виразу визначаємо  $N_p$ :

$$N_p = \frac{m\omega_p^2 R_p}{g} + (m \cos \lambda_1) / g \quad (2.3)$$

З другого виразу знаходимо силу тертя зерна по решету:

$$F_p = mg \sin \lambda_1 \quad (2.4)$$

Умови відносного руху зерна по решету:

$$mg \sin \lambda_1 > (m\omega_p^2 R_p + mg \cos \lambda_1) \operatorname{tg} \varphi \quad (2.5)$$

$$g \sin \lambda_1 \geq (\omega_p^2 R_p + g \cos \lambda_1) \operatorname{tg} \varphi \quad (2.6)$$

Відносний спокій на решеті:

$$g \sin \lambda_1 \leq (\omega_p^2 R_p + g \cos \lambda_1) \operatorname{tg} \varphi, \text{ при } k = (\omega_p^2 R_p) / g \quad (2.7)$$

$$N_p = mg(k + \cos \lambda_1) > 0. \quad (2.8)$$

Граничні умови спокою зерна для точки  $M_4$ :

$$N_p = mg(k - \cos \lambda_1) > 0 \quad (2.9)$$

Вирази 2.8. і 2.9 визначають умови знаходження в потоці зерна на поверхні обертаючого решета.

Максимальний кут  $\lambda_2$  підняття зернівки до точки  $M_2$  визначається із виразу:

$$\sin(\lambda_1 - \varphi) = k \sin \varphi, \quad (2.10)$$

$$\lambda_2 = \frac{\pi}{2} + \mu_2, \quad (2.11)$$

Кут  $\mu_2$  завжди менший  $\frac{\pi}{2}$ , тому  $\lambda_2 < \pi$ , тобто при будь-яких режимах зерно не може залишатись у відносному спокої на кінці дуги  $M_0 M_2$ , рівній

півкола, воно не може бути у найвищій точці поверхні решета, відповідній верхньому кінцю вертикального діаметра при  $k < 1$ .

### 2.3. Визначення осьової швидкості перміщення зернового матеріалу по решету

Основною задачею є визначенн швидкості осьового переміщення зернового матеріалу в циліндричному решеті. Фактори, що впливають на осьову швидкість:  $q$  – навантаження;  $\gamma$  – кут нахилу решітного циліндра по відношенню до вісі веденого механізму,  $\omega_1$  – швидкість обертання веденого механізму.

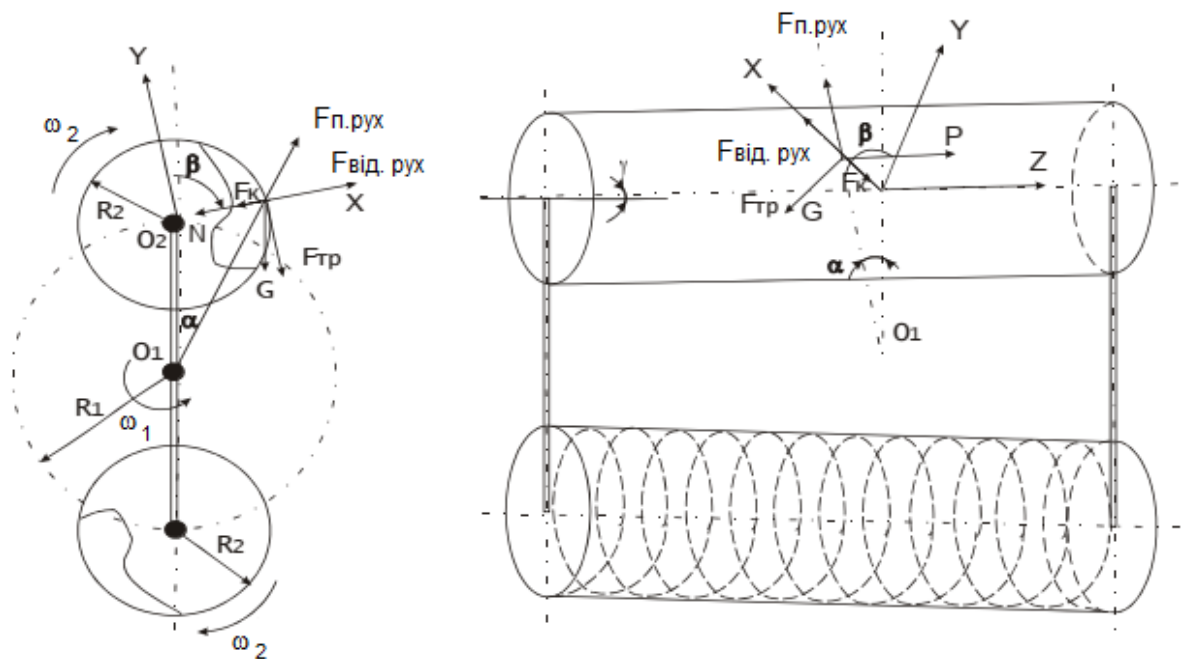


Рис. 2.3. Схема сил, що діють на частинку

Спроектуємо прикладені сили на систему координат  $XYZO_2$ , отримаємо систему рівняння:

$$\begin{cases} mx = F_{\text{від.рух}} - N - F_k - G \cdot \cos\beta + F_{\text{п.рух.n}}; \\ my = F_{\text{п.рух.t}} - F_{\text{тр.y}} \cdot \sin\gamma - G \cdot \sin\beta; \\ mz = P \cdot \cos\gamma - F_{\text{тр.z}} \cdot \cos\gamma - G \cdot \cos\beta, \end{cases} \quad (2.12)$$

де нормальна складова відцентрової сили від переносного руху визначається:

$$F_{\text{п.рух.n}} = m \cdot \omega_1^2 (R_2 + R_1 \cdot \cos\beta); \quad (2.13)$$

дотична складова відцентрової сили від переносного руху

$$F_{\text{п.пых.t}} = m \cdot \omega_1^2 \cdot R_1 \cdot \sin\beta; \quad (2.14)$$

складова відцентрової сили від відносного руху

$$F_{\text{від.пых}} = m \cdot R_2 \cdot \beta'^2; \quad (2.15)$$

коріолісова сила

$$F_{\text{к}} = 2m \cdot \omega_1 \cdot R_2 \cdot \beta'; \quad (2.16)$$

сила тертя, з якою решітна поверхня діє на частинку

$$F_{\text{тр}} = F_p \cdot N \quad (2.17)$$

На частинку, що рухається по нахиленому циліндричному решеті, як і горизонтальному решеті, буде діяти сила підпору матеріалу, що сприяє її переміщенню вздовж вісі решета. Силу підпору матеріалу можна визначити через імпульс сили:

$$P = \frac{mV_z}{\Delta t} = V_z q^{-z} \quad (2.18)$$

Прирівнюючи  $mz$  до 0, виразимо підпор  $P$ :

$$P = \frac{F_{\text{трz}} \cdot \cos\gamma + G \cdot \cos\beta}{\cos\gamma} = V_z q^{-z} \quad (2.19)$$

Знайдемо  $F_{\text{тр}}$ , підставивши у формулу  $N$ , вираз через рівняння тх:

$$F_{\text{тр}} = F_p (F_{\text{п.пых}} - F_{\text{к}} - G \cdot \cos\beta + F_{\text{п.пых.n}}). \quad (2.20)$$

Підставивши (2.19) і (2.20) отримаємо:

$$V_z = \frac{F_p \cdot m \cdot R_2 (\beta'^2 - 2\omega\beta' + \omega^2) + F_p \cdot \cos\beta (m\omega_1^2 R_1 - G)}{q e^{-z}} + \frac{G}{q e^{-z}} \cdot \cos\gamma \quad (2.21)$$

Скоротивши, отримаємо:

$$V_z = \frac{F_p \cdot \cos\beta (m\omega_1^2 R_1 + G - \frac{G}{\cos\gamma})}{q e^{-z}} + \frac{F_p \cdot m \cdot R_2}{q e^{-z}} (\beta' - \omega)^2. \quad (2.22)$$

Отримали математичну модель залежності  $V_z$  від навантаження, кута і швидкісного режиму.

Підставивши вихідні дані у дану формулу і задавши інтервал варіювання, отримаємо вирішення даного рівняння:

Графічне зображення залежностей наведені на рис. 2.4 – 2.6).



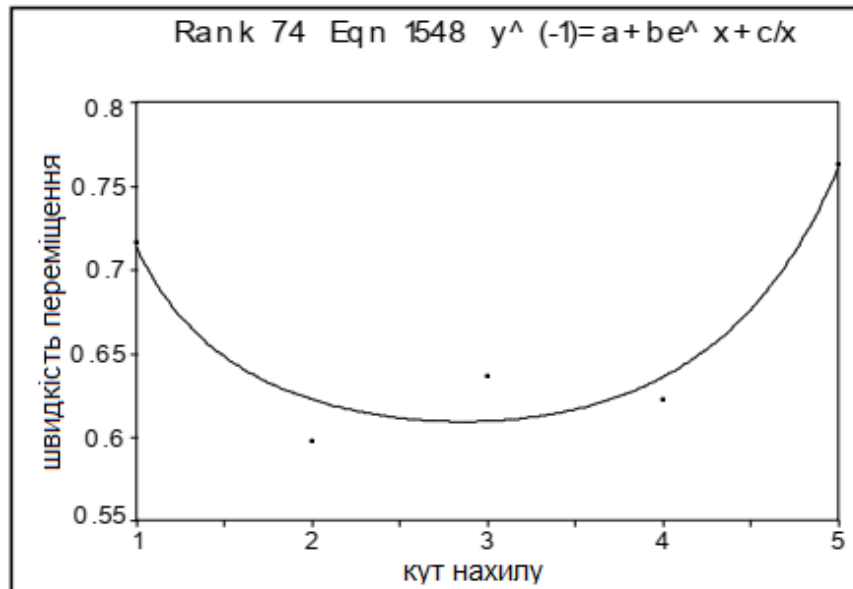


Рис. 2.4. Залежність швидкості переміщення зернового матеріалу від кута нахилу решітного циліндра при навантаженні відповідної продуктивності в 5 т/год.

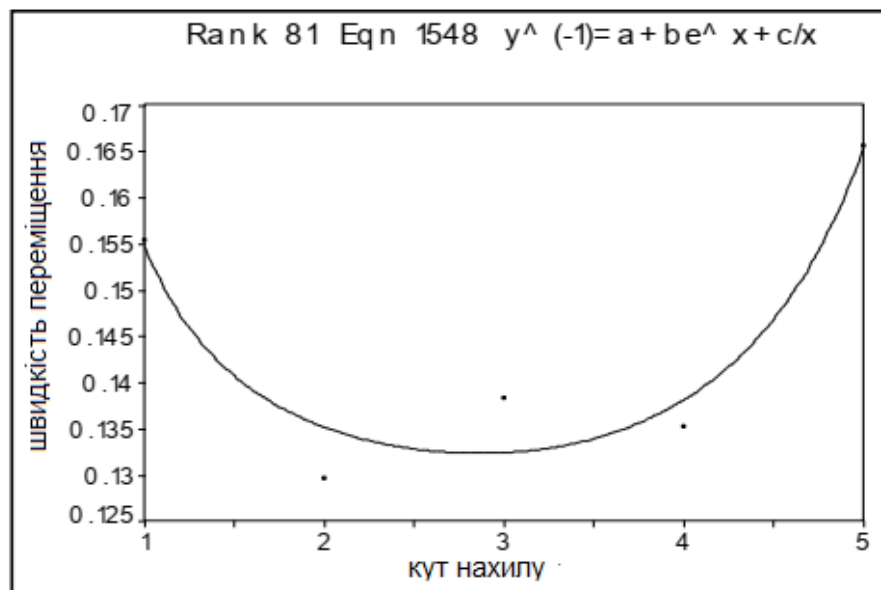


Рис. 2.5. Залежність швидкості переміщення зернового матеріалу від кута нахилу решітного циліндра при навантаженні відповідної продуктивності в 20 т/год.

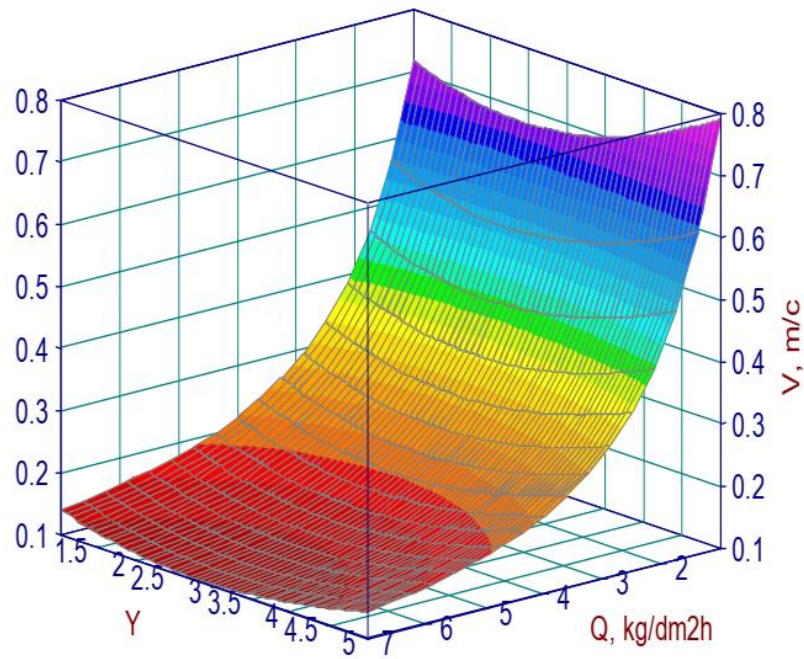


Рис. 2.6. Залежність вістової швидкості переміщення зернового матеріалу від кута нахилу решітних циліндрів і питомої продуктивності

### Висновок по розділу 2

При збільшенні навантаження з  $1 \text{ кг/дм}^2\text{год}$  (рис. 2.6) швидкість вістового переміщення зерна зменшиться з 0,8 до 0,2 м/с. Кут нахилу вісі решета з горизонтальної вісі зміниться від 1 до 5 градусів. При цьому найменше значення досягається при куті нахилу решета до горизонтальної вісі 3 градуси (рис. 2.4, 2.5) при різних продуктивностях решета.

## РОЗДІЛ 3.

### УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ МАШИНИ ДЛЯ СЕПАРУВАННЯ ЗЕРНА

У процесі досліджень необхідно було провести достовірність прийнятих теоретичних залежностей, визначити погрішність в розрахунку параметрів сепарувальної машини відповідно до запропонованими нами виразами, обґрунтувати основні параметри і режими роботи.

В програму експериментальних досліджень ввійшли наступні питання:

- провести дослідження з обґрунтування і оптимізації конструктивно-технологічних параметрів сепарувальної машини;
- визначити впливу кута нахилу циліндра відносно вала вісі веденого механізму;
- провести обробку отриманих результатів.
- перевірка отриманих аналітичних залежностей процесу зволоження зерна на експериментальній установці;
- уточнення процесу руху вологи в зернівці при зволоженні;
- обґрунтування основних параметрів і режимів зволожувальної установки.

#### 3.1. Опис експериментальної установки

При проведенні аналізу існуючих сепарувальних машин, були зроблені висновки про суттєві недоліки їх при використанні у технологічному процесі сепарації. Отже, сепаратор повинен виконувати наступні вимоги:

- мати просту конструкцію, з можливістю відносно швидко змінювати робочі органи, а також мати доступ до них;
- повинен мати можливість змінювати конструктивні, кінематичні і технологічні параметри в заданих межах;
- повинен забезпечувати стійкість режимів роботи і стабільність параметрів, що впливають на процес сепарації зернового матеріалу.

У запропонованому сепараторі основним робочим органом є циліндричне решето, яке складається із 2-3 секцій, різних форм і розмірів отворів, в залежності від призначення. Кількість циліндрів також може змінюватись різними – 2, 4, 6 в залежності від потрібної продуктивності, тобто реалізується блочно-модульний принцип побудови машини. Циліндричне решето (рис. 3.1) кріпиться до валу за допомогою чотирьох шпиль в трьох місцях по довжині валу. Можливе встановлення підпороного кільця в кінці циліндра.

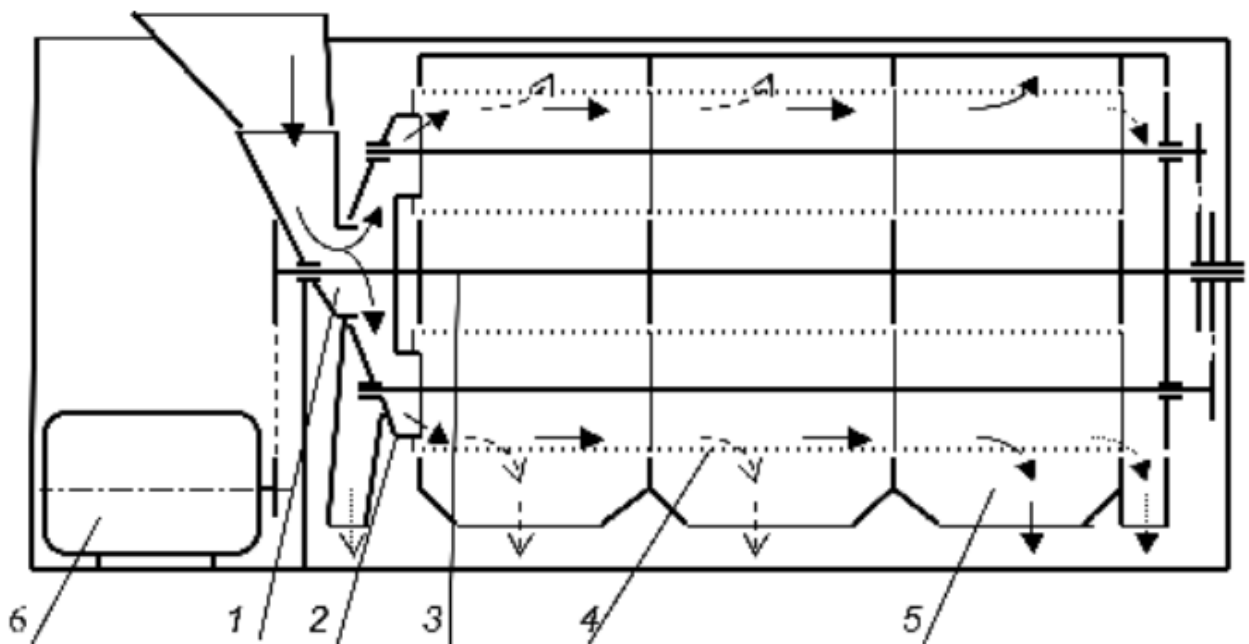


Рис. 3.1. Технологічна схема решітного модуля: 1 – приймальний лоток, 2 – розподільник; 3 – ведений механізм; 4 – решітний циліндр; 5 – кожух; 6 – привід решітного блоку; —> основний потік зерна; —> грубі домішки; - - -> - мілкі домішки; - - -> - великі домішки

Робочі органи решітного циліндра відомі давно, основна відмінність полягає в тому, що решітний циліндр обертається не тільки своєї вісі, а й навколо вісі веденого механізму. Тим самим основними силами, що впливають на процес сепарації, є не сили гравітації і сили інерції, що значно дозволяє інтенсифікувати процес сепарації.

Конструкція даного сепаратора дозволяє порівняти ефективність процесу сепарації на різних ділянках решета. По довжині решета було виділено 6 рівних ділянок (по 0,15 м). При просіюванні на кожній ділянці

зерно збирається у відповідні контрольні ємності. В окрему контрольну ємність збирається фракція великих домішок (схід з решета).

Планетарний привід реалізується наступним чином: ведений механізм приводяться в рух від електроприводу через контр привід, оберти можна змінювати за рахунок застосування знімних шківів або варіатора. Д іншого кінця веденого механізму заходиться два нерухимо закріплених на ньому шківів. Привід здійснюється за рахунок клинопасової передачі, причому шківви на вісі циліндра також закріплені, тобто відбувається перекачування ремня по нерухомим шківвам. Ведений механізм і циліндричне решето обертаються в різні сторони, схема зображена на рис. 3.2.

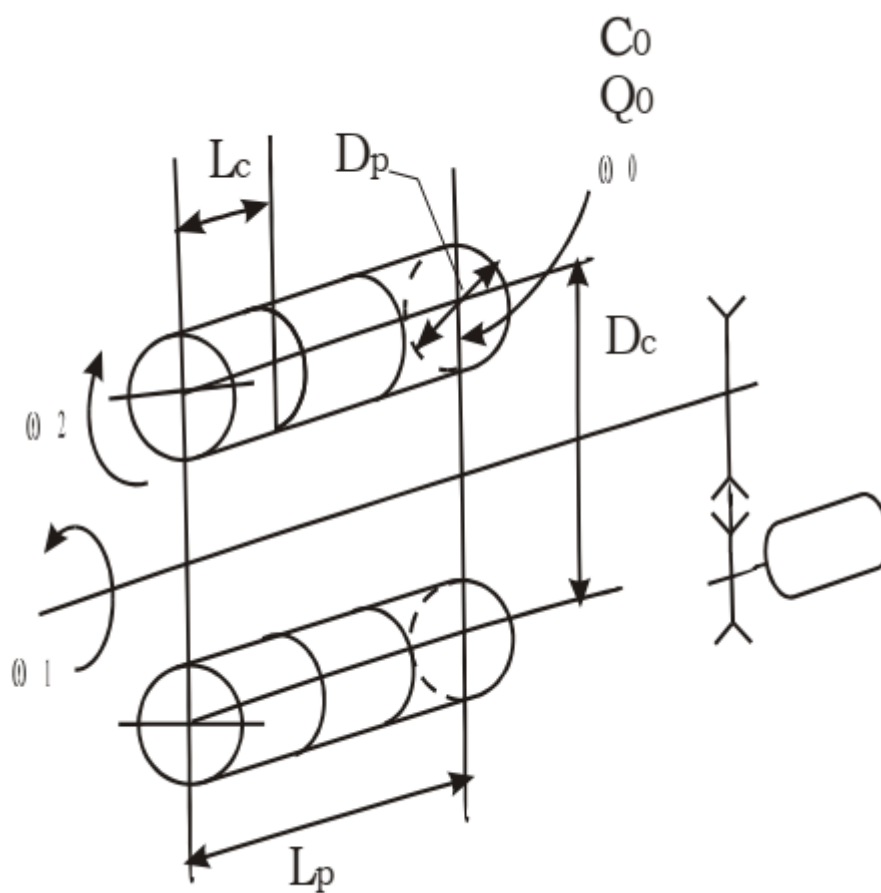


Рис. 3.2. Кінематична схема сепаратора

У процесі шляхом відсічки потоків фракцій відокремлювалась маса просіяного зерна по різній довжині решета і продуктивність решета; огляд в ємності і аналіз кожної проби на якість очищення.

Основні конструктивні параметри дослідного зразка решітного модуля наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1.

Основні параметри дослідного зразка решітного модуля

Розміри решітного циліндра, мм: діаметр	250
довжина	960
Кількість решітних циліндрів	2
Радіус веденого механізму, мм	250
Відношення кутових швидкостей решітного циліндра і веденого механізму	2,4
Потужність двигуна, кВт	2,2
Габаритні розміри, мм: висота	930
ширина	950
довжина	1900

### 3.2. Методика з обґрунтування основних конструктивних параметрів сепарувальної машини

Проведені дослідження дозволили виділити фактори, що впливають на процес сепарування в циліндричному решеті:

Кінематичні:

$\omega_1$  – швидкість обертання веденого механізму, рад/с.

$\omega_2$  – швидкість обертання решітного циліндра, рад/с.

$i = \omega_2/\omega_1$  – відношення кутових швидкостей решітного циліндра і веденого механізму.

Конструктивні:

$D_p$  – діаметр решітнього циліндра, м.

$D_b$  – діаметр веденого механізму решітних циліндрів, м.

$\Theta$  – кут нахилу циліндра по відношенню до вісі веденого механізму, град.

$l_p$  – довжина решітного циліндра, м.

$l_c$  – довжина секції, м.

$h$  – висота підпорного кільця, м.

$Q$  – питоме навантаження.

$\omega_0$  – вологість зернового матеріалу.

$C$  – забрудненість зернового матеріалу.

Таблиця 3.2.

Рівні факторів та інтервали їх варіювання

Фактори	Познаення	Рівні факторів			Інтервал варіювання
		-1	0	+1	
$i$	x1	1,4	2	2,4	0,6
$M$	x2	1,5	2	2,5	0,5
$\Theta$	x3	0	0,5	1	0,5
$l_p$	x4	0,5	0,6	0,7	0,1
$l_c$	x5	0,3	0,4	0,5	0,1
$h$	x6	0,025	0,03	0,035	0,005
$Q$	x7	90	100	110	10
$\omega_1$	x8	160	200	240	40
$\omega_0$	x9	15	20	25	5
$C$	x10	5	10	15	5

При проведенні порівняльних дослідів з оцінки впливу виділених елементів змінюються тільки вони, при фіксованих середніх значеннях інших показників. Також оцінюється вплив цих елементів на просіювання по довжині решета.

### 3.3. Методика визначення впливу діаметра циліндричного решета на процес сепарування

Лабораторна установка представляє собою циліндр порційного завантаження, який дозволяє моделювати різні режими роботи сепаратора. Дослідження проводилось на циліндричному решеті з прямокутними отворами 2x2,5 мм з діаметром 200 мм, 250 мм, 300 мм по відношенню радіуса веденого механізму і решітного циліндра 2; 1,6; 2,0 і відношення кутової швидкості решітного циліндра і веденого механізму 2,0; 2,2; 2,4. Швидкість обертання веденого механізму 160, 200, 240 об/хв.

Основною задачею дослідів є оцінка форми, характеру і руху зернового матеріалу в решітному циліндрі для цього за прикладом циліндра необхідно встановити нерухомо закріплену на ведений механізм шкалу, а на циліндрі нерухомо закріпити мітку. Тим самим, аналізуючи положення мітки відносно шкали можна оцінити положення і форму зернового матеріалу.

Ефективність можна оцінити такими критеріями як масимальне використання площі внутрішньої поверхні циліндра, а також оцінка степені відносного переміщення зернового сегмента на решітній поверхні.

Таблиця 3.3.

Матриця планування трьохфакторного експерименту

Фактори	Умовні позначення	Код	Рівні факторів			Інтервал варіювання
			-1	0	+1	
Діаметр решета, мм	D1	X	150	200	250	50
Відношення радіусів веденого механізму і решета	M	X2	1.6	1.8	2.0	0.2
Швидкість обертання веденого механізму, об/хв	$\omega_1$	X3	160	200	240	40

### 3.4. Методика дослідження процесу просівання зернового матеріалу

Для дослідження процесу просівання зернового матеріалу по довжині решітної поверхні було здійснено удосконалення існуючої сепарувальної машини. Було встановлено ділильні диски через кожні 200 мм довжини решета, які обертаються разом з решітним блоком. Також було виготовлено пробовідбірник. Частина зерна просіючись попадає на окремі ділянки, в яких відбувається забір проб на якість зерна. Аналізуючи результати проб на якість, визначаємо ефективність процесу сепарації і втрати по кожній секції окремо та вцілому по всьому сепаратору.



Досліджуючи процес просівання по довжині, можна проаналізувати ступінь завантаження решета, особливості надходження зернового матеріалу на решітну поверхню та ін.

### **3.5. Методика визначення впливу кута нахилу циліндричного решета на процес сепарування**

При паралельному розміщенні циліндра відносно вісі веденого механізму, зерновий матеріал, надходить на решітну поверхню, переміщуючись вздовж вісі під дією сили підпора. При цьому виходить, що на початковій ділянці решето перевантажено, потім іде інтенсивний процес просіювання і в кінці незавантажена ділянка, на якій спостерігається хаотичний рух зерна через нерівність решітної поверхні. Якщо нахилити циліндр відносно вісі веденого механізму з'явиться дотична складова сили інерції, яка сприяє осьовому переміщенню зерна, тим самим можна рівномірно розділити навантаження по довжині, тобто усунути перевантаження на початку решета і недовантаження в кінці. При цьому потрібно встановити підпірне кільце, щоб виключити втрати зерна. При змінюванні такими параметрами як кут нахилу циліндра і висота підпірного кільця можна інтенсифікувати процес сепарування.

Значення кута нахилу можуть складати від 0 до 5 градусів. Тобто, чим більший кут, тим більше буде переміщуватись зерновий матеріал по решітній поверхні. Але при підвищеній вологості зерна збільшується коефіцієнт тертя, тому потрібно змінювати кут в залежності від вологості матеріалу та підтримувати високе завантаження решета.

Досліди впливу кута нахилу решета на процес сепарування проводились на лабораторній установці з безперервним завантаженням. Кут нахилу решета змінювали переміщенням по пазам задньої підшипникової опори. Самовстановлені підшпники і пасова передача дозволяють змінювати кут без застосування додаткових пристроїв, забезпечуючи надійну роботу.

Досліди з визначення просіювання по довжині проводились на зерновому матеріалі природнього гранулометричного складу з

забрудненістю 8, і на зерновому матеріалі з штучним забрудненням – просом, наявність дрібних домішок складо 10%.

Зерно просіювалось крізь решітну поверхню, направлялось ділильними дисками в пробовідбірник де збиралось під відповідною секцією.

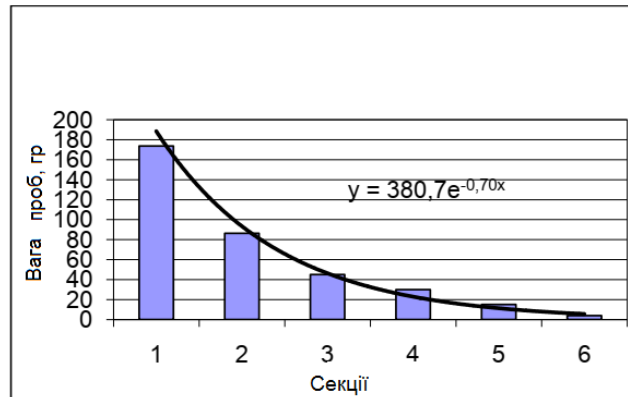


Рис. 3.3. Просіювання дрібних домішок до довжині решета (природній гранульометричний склад, мілких домішок 8, питома продуктивність 87 кг/дм<sup>2</sup>год).

Найбільш інтенсивно (до 85-90 ) сепарація проходила в першій половині секції при навантаженнях, відповідному режиму попереднього очищення зерна (рис. 3.3). збільшення вихідної забрудненості дрібними домішками до 10 не змінювало характер просівання:

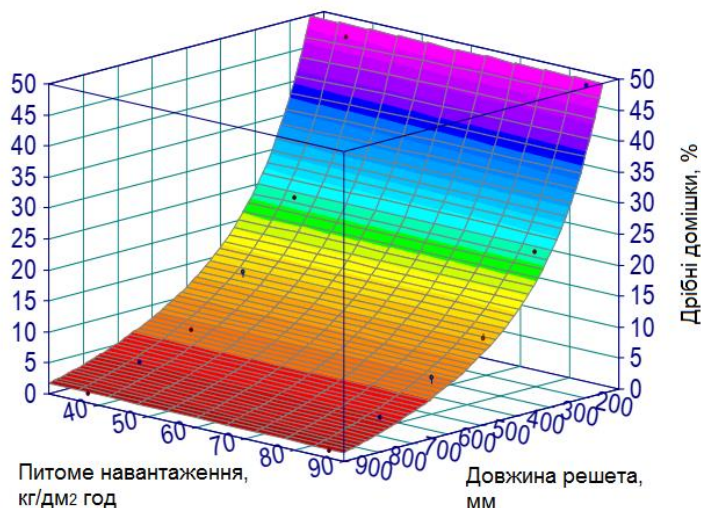


Рис. 3.4. Просіювання дрібних домішок в залежності від довжини решета і питомого навантаження (кут нахилу циліндрів 0 градусів)

Досліди на різних навантаженнях показали, що для виділення 90 мілких домішок із зерна природнього гранульометричного складу потрібно  $\frac{3}{4}$  довжини решета виділяється вже 94 мілких домішок по всіх довжині по відношенню до

всієї маси виділеного зерна. На решетах з прямокутними отворами 2x25 мм при питомих навантаженнях 40-60 кг/дм<sup>2</sup>год ефективність досягає 0,96.

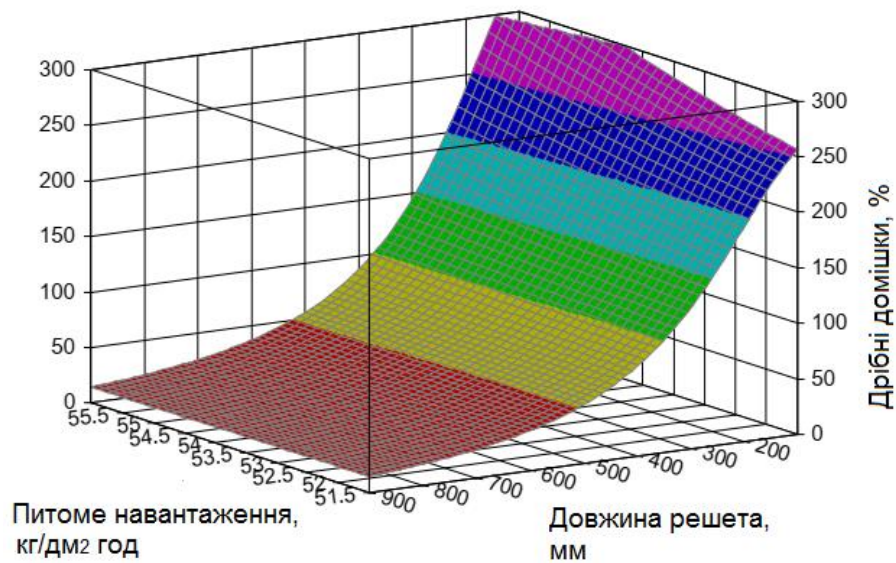
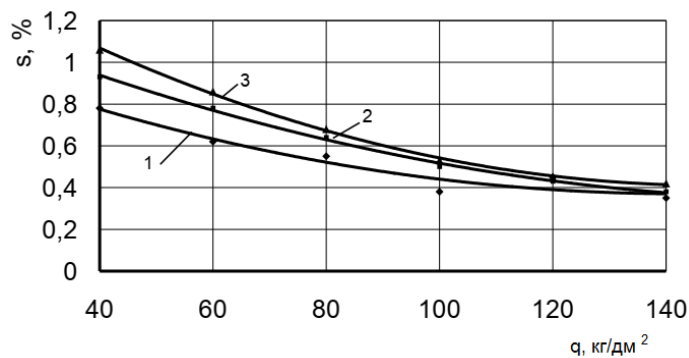


Рис. 3.5. Просіювання дрібних домішок в залежності від довжини решета і питомого навантаження (кут нахилу циліндрів 2 град.)

При збільшенні подачі ефективність знижується внаслідок того, що через значне надходження зернового матеріалу на решітну поверхню знижується вістова швидкість переміщення зерна і значно збільшується зерновий сегмент, відбувається слабе підшарове переміщення зерна в сегменті і як наслідок незначний контакт мілких домішок з решітною поверхнею.



1 –  $n=160$  об/хв,

$$s = 0.0154q^2 - 0.1884q + 0.948$$

2 –  $n=200$  об/хв,

$$s = 0.0139q^2 - 0.2101q + 1.134$$

3 –  $n=240$  об/хв,

$$s = 0.0223q^2 - 0.2871q + 1.333$$

Рис. 3.6. Вплив швидкості води на схід зерна ( $\omega = 12,9\%$ )

### 3.6. Визначення ефективності сепарації

Для визначення ефективності сепарації було проведено серію дослідів при різних навантаженнях. Відбирались проби у видіній суміші та визначалась питома продуктивність.

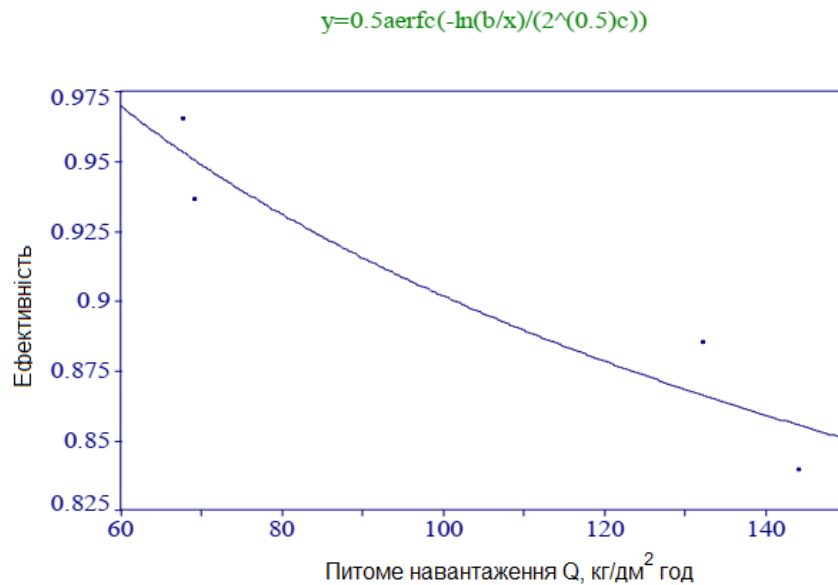


Рис. 3.7. Ефективність процесу сепарації (штучна зернова суміш)

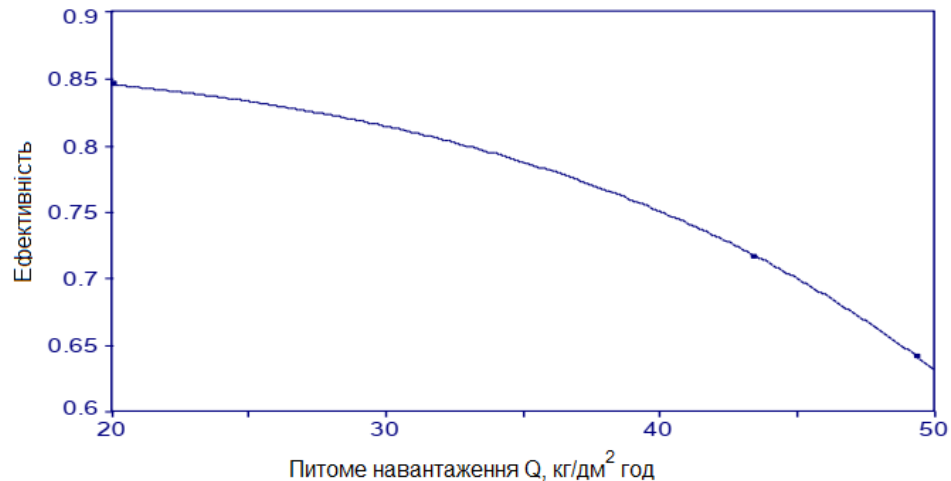


Рис. 3.8. Ефективність процесу сепарації (решета з прямокутними отворами 2x25 мм, кут нахилу циліндрів 2 градуси, підпірне кільце встановлено в кінці циліндра)

При збільшенні подачі ефективність знижується внаслідок того, що значно надходить зерновий матеріал на решітну поверхню знижується осьова швидкість переміщення зерна і значно збільшується зерновий сегмент, відбувається слабке підшарове переміщення зерна в сегменті і як наслідок

незначний контакт мілких домішок з решітною поверхнею. Циліндри були встановлені під кутом 2 градуси до вісі обертання веденого механізму. Решето з отворами 2x25 мм. Досліди прводились ша швидкості 240 об/хв при різних навантаженнях. Відбирались проби на якість із сходження до проходу, із вихідної сировини для визначення ефективності.

### **Висновки по розділу 3**

У даному розділі в процесі досліджень було обґрунтовано конструктивно-режжиміні параметри решітного блоку для очищення зерна: діаметр решітного циліндра 200...250 мм; відношення довжини і діаметра решітного циліндра 2...4; відношення радіуса веденого механізму і решітного циліндра 2; відношення кутових швидкостей решітного циліндра і веденого механізму 2,4. Циліндри були встановлені під кутом 2 градуси до вісі обертання веденого механізму. Решето з отворами 2x25 мм. Досліди прводились ша швидкості 240 об/хв при різних навантаженнях.

## ВИСНОВКИ

У даній роботі проводилось дослідження шляхів інтенсифікації процесу сепарації зерна на циліндричних решетах віброцентрового сепаратора.

Представлено механіко-математичну модель процесу руху зернової суміші в горизонтальному циліндричному решеті. Для визначення основних параметрів зернового шару всередині циліндричного решета під дією обертання решета і його планетарної складової було розглянуто основні види руху зернівки по поверхні циліндричного решета та переміщення зернового матеріалу по решету вздовж вісі.

Порівняльні досліди на різних навантаженнях показали, що для виділення 90% дрібних домішок із зерна природнього гранулометричного складу потрібно  $\frac{3}{4}$  довжини решітної поверхні, а на штучній суміші на  $\frac{1}{2}$  довжини решета виділяється 94 дрібних домішок по відношенню до всієї ваги відділеного зерна.

На решетах з прямокутними отворами 2x25 мм при питомому навантаженні 40-60 кг/дм<sup>2</sup>год ефективність досягається 0,96.

При збільшені подачі ефективність знижується внаслідок того, що значно надходить зерновий матеріал на решітну поверхню, знижується осьова швидкість переміщення зерна і значно збільшується зерновий сегмент, відбувається слабке підшарне переміщення зерна в сегменті і як наслідок незначний контакт дрібних домішок з решітною поверхнею.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Авдеев Н.Е. Центробежные сепараторы для зерна. – М.: Колос, 1975. – 154 с.
2. Дацишин О. В. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв / О. В. Дацишин, А. І. Ткачук, О. В. Гвоздєв та ін. / За редакцією О.В. Дацишина. Навчальний посібник. – Вінниця: Нова Книга, 2008. – 488с.
3. Стоцько З. А., Ребот Д. П., Топільницький В. Г. Визначення впливу властивостей сипкого середовища на ефективність сепарації. Національний університет “Львівська політехніка”. №891. 2018. С60-65.
4. Ярошенко Л.В., Солоня О.В. Багатофракційний вібраційний сепаратор з вертикальним кінематичним вібробуджувачем. Вібрації в техніці та технологіях. №4(56), 2009. С.157-160.
5. 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.
6. Derevjnko, D., Sukmaniuk, E. & Derevjnko, O. (2017). Grain crops injuries and drying modes while seeds preparation. INMATEH – Agricultural Engineering, 53 (3), 89–94.
7. Zayets, M., Sukmaniuk, E. & Grudovyi, R. (2017). Theoretical grounding of seeds valve opener settings for subsoil-spreading sowing method. INMATEH – Agricultural Engineering, 52 (2), 13– 18.
8. Дерев'янку Д. А. Дослідження травмування насіння при його русі по поверхні циліндричного решета вібровідцентрового сепаратора / Д. А. Дерев'янку // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2015. – № 2 (90). – С. 14–18.
9. Вплив транспортувальних технічних заслонок на травму і наслідок зернових культур / Д. А. Дерев'янку, О. М. Сукманюк, С. Б. Чичилюк [та ін.] // Наукові горизонти. - 2020. - № 4 (89). - С. 47–54.

10.Дерев'янку Д. А. Обґрунтування та теоретичні розрахунки впливу робочих елементів вібросепаратора на деформацію і травмування насіння / Д. А. Дерев'янку // Техніка і технології АПК. – 2014. – № 12 (63). – С. 12–16.

11.Ямпілов, С.С. Технологии и технические средства для очистки зерна с использованием сил гравитации / С.С Ямпілов, Ж.Б. Цыбенков – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2006. – 167 с.

12.Авдеев Н., Странадако Г.П. Центробежный сепаратор для предварительной очистки зерна. Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1993. №3. С. 17 – 21.

13.Гончаров Е.С. Универсальные виброцентробежные сепараторы. Тракторы и сельхозмашины. 1984. №1. С. 15 – 17.

14.Дринча В.М., Пехальский И.А., Пехальская М.В. Обоснование способа пневмоцентробежной сепарации зерновых материалов. Достижения и техника АПК. 1997. №3. С. 21 – 23.

15.Кожуховский И.Е. Зерноочистительные машины. М.:Машиностроение, 1974. 200 с.

16.Бурков, А.И. Ресурсосберегающие машины для послеуборочной обработки семян / А.И. Бурков, В.Л. Андреев, О.П. Роцин // Сб. науч. тр./ ВИМ. – 2003. – Т. 148. – С. 162-171.

17.Косилов Н.И. Исследование и обоснование параметров сепаратора с противоточной подачей вороха во встречный воздушный поток. Науч.тр ЧИМЭСХ. 1977. Вып.131. С. 62 – 70.

18.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.