

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ  
ІМ. ПРОФ. О. СЕМКОВИЧА**

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
Освітнього ступеня «Магістр»

на тему: «Дослідження процесу з обґрунтуванням умов розділення  
зернових матеріалів на вібраційних машинах оснащених рифленими  
поверхнями»

Виконав: студент 5 курсу групи Аін-52

Спеціальності **208 «Агроінженерія»**

Гринишин Антон Михайлович  
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент Гошко Зіновій Орестович  
(Прізвище та ініціали)

**ДУБЛЯНИ-2024**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**  
**ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ**  
**ТЕХНОЛОГІЙ**  
**КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ**  
**ІМ. ПРОФ. О. СЕМКОВИЧА**

“ЗАТВЕРДЖУЮ”  
« 28 » 04 2023 р.  
Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
к.т.н. доцент Шарибура А.О.

**ЗАВДАННЯ**  
на дипломну роботу

\_\_\_\_\_ Гринишин Антону Михайловичу  
(підпис)

1. Тема роботи: **«Дослідження процесу з обґрунтуванням умов розділення зернових матеріалів на вібраційних машинах оснащених рифленими поверхнями»**

Керівник роботи Гошко Зіновій Орестович, к. т. н., доцент.

Затверджено наказом по університету від 28.04.2023 року №133/к-с.

2. Термін здачі студентом магістерської роботи до 15.01.2024р.

3. Вихідні дані для магістерської роботи: *1. Технологічні вимоги до машин для сортування зерна. 2. Патентний огляд. 3. Дослідний зразок сепаратора насіннєві суміші зернових. 4. Наукова та довідкова література.*

4. Перелік питань, які необхідно розробити: (наводиться зміст, який містить пункти і підпункти усіх розділів):

*ВСТУП*

*1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ СОРТУВАННЯ ЗЕРНОВОЇ МАСИ НА ВІБРАЦІЙНОМУ ОБЛАДНАННІ*

*1.1. Процес сортування і умови його проходження; 1.2. Принцип роботи сепараторів; Висновки*

*2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ СЕПАРУВАННЯ*

*2.1. Теоретичні аспекти розділення сипких матеріалів; 2.2. Аналіз вібраційних сепараторів; Висновки*

*3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ*

*3.1. Програма досліджень; 3.2. Обґрунтування необхідного числа вимірів; 3.3. Фракційного аналізу; 3.4. Решітний аналіз; 3.5. Методика результатів експериментальних досліджень*

*4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ*

*4.1. Результати фракційного аналізу; 4.2. Закономірності сортування зернових сумішей; 4.3. Принцип роботи та будова запропонованого інерційного*

сепаратора; 4.4. Конструктивні параметри вібраційного сепаратора;  
Висновки

#### 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Техніка безпеки при роботі з грохотом; 5.2. Заходи щодо охорони довкілля;  
5.3. Вимоги безпеки до виробничих процесів; 5.4. Вимоги до приготування та сортування зернових матеріалів; 5.5. Розрахунок захисного заземлення

#### 6. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

#### ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

#### ДОДАТКИ

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1,2,3,4,6	Гошко З.О., доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу ім. проф. О. Семковича		
5	Тимочко В.О., к.т.н., доцент кафедри фізики, інженерної механіки та безпеки виробництва		

6. Дата видачі завдання

28.04.2023 р.

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Виконання першого розділу	25.06-05.7	
2	Виконання другого розділу	05.7-15.8	
3	Виконання третього розділу	16.8-25.9	
4	Виконання четвертого розділу	26.9-29.10	
5	Написання розділу «Охорона праці»	30.10-09.11	
6	Розрахунок економічної ефективності	10.11-15.12	
7	Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та аркушів доповіді	15.12-25.12	
8	Завершення проекту в цілому	10.01.24	

Студент \_\_\_\_\_ Гринишин А.М.

Керівник дипломної роботи \_\_\_\_\_ Гошко З.О.

Дослідження процесу з обґрунтуванням умов розділення зернових матеріалів на вібраційних машинах оснащених рифленими поверхнями. // Гринишин А.М. Дипломна робота на здобуття ОКР "Магістр". – Дубляни: ЛНУП, кафедра агроінженерії та технічного сервісу ім. проф. О. Семковича, 2024. – 60 стор. текст. част.; 10 таблиць; 22 рисунки; 23 літературні джерела.

Проведено аналіз сучасного стану механізації сортування зернових сумішей, засобів механізації для виконання технологічного процесу сортування. На основі патентного огляду та з використанням отриманих результатів на лабораторному обладнанні побудовані графіки та варіаційні криві розділення зернової суміші, обґрунтована необхідність удосконалення кінематичних режимів роботи та технологічної схеми нового інерційного сепаратора оснащеного рифленими поверхнями.

Наведені результати експериментальних досліджень окремих фізико-механічних властивостей зернових матеріалів, залежності міцності та якісних показників роботи інерційного сепаратора від його конструктивно-технологічних параметрів. Розроблені заходи з техніки безпеки, проведено розрахунок економічної ефективності використання знаряддя запропонованої конструкції.

**Ключові слова:** подрібнення, інерційний сепаратор, зерно, фракції.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ СОРТУВАННЯ ЗЕРНОВОЇ МАСИ НА ВІБРАЦІЙНОМУ ОБЛАДНАННІ .....	9
1.1. Процес сортування і умови його проходження .....	9
1.2. Принцип роботи сепараторів .....	10
Висновки.....	13
2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ СЕПАРУВАННЯ .....	14
2.1. Теоретичні аспекти розділення сипких матеріалів .....	14
2.2. Аналіз вібраційних сепараторів.....	15
Висновки.....	21
3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	22
3.1. Програма досліджень.....	22
3.2. Обґрунтування необхідного числа вимірів .....	22
3.3. Фракційного аналізу .....	23
3.4. Решітний аналіз .....	24
3.5. Методика результатів експериментальних досліджень .....	26
4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	29
4.1. Результати фракційного аналізу .....	29
4.2. Закономірності сортування зернових сумішей.....	29
4.3. Принцип роботи та будова запропонованого інерційного сепаратора.....	34
4.4. Конструктивні параметри вібраційного сепаратора.....	35
Висновки.....	39
5. ОХОРОНА ПРАЦІ .....	40
5.1. Техніка безпеки при роботі з грохотом.....	40
5.2. Заходи щодо охорони довкілля.....	41
5.3. Вимоги безпеки до виробничих процесів.....	42
5.4. Вимоги до приготування та сортування зернових матеріалів .....	44
5.5. Розрахунок захисного заземлення .....	45
Висновок.....	47
6. ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ .....	47
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	54
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК .....	57
ДОДАТКИ.....	59

## ВСТУП

Виробництво високоякісного зерна залишається ключовою проблемою розвитку сільського господарства. Необхідна умова отримання якісного зерна при високій врожайності, зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище, конкурентоспроможності виробництва — високоякісний насіннєвий матеріал.

Загальноприйняті підходи в підготовці насіння включають застосування складних потокових технологій, реалізованих в зерноочисних агрегатах і комплексах, насіннєочисних приставках, а також насіннєобробних лініях. При цьому через велику генетичну різноманітність насіння, різні ґрунтово-кліматичні умови їх вирощування, низький технологічний рівень обслуговуючого персоналу, моральне і фізичне зношення наявного устаткування, великої різноманітності форм господарювання, підготовка насіння за традиційними технологіями не дозволяє отримувати високоякісне насіння без його втрат у відходи і істотного пошкодження [8].

Травмування насіння викликає зниження їх продуктивних і урожайних властивостей. Підраховано, що наявність в насіннєвому матеріалі 10 % насіння з різного роду травмами приводить до зниження врожайності зернових культур і обумовлює недобір 1...3 ц з кожного гектара [9].

Сучасні технології зерновиробництва від збирання до зберігання насіння як в розвинених, так і в країнах, що розвиваються характеризуються великими втратами якості зерна і насіння через неприпустимо жорстку дію робочих органів машин на біологічно живе насіння, фізико-механічні і біологічні властивості яких міняються в процесі обробки.

У масштабах України навіть незначне зниження схожості насіння веде до великих втрат, оскільки вимагає збільшення норми висіву на гектар і часто відбивається на урожайності. Тому посів насінням невисокої якості приводить до непродуктивної витрати величезної кількості органічних речовин (білки, вуглеводи, жири), які могли б бути використані на харчові і фуражні цілі. При

цьому значна частина коштів витрачається на передпосівну підготовку (протравлення або інкрустацію, навантажувально-розвантажувальні і транспортні роботи) додаткової кількості насіння.

Підготовка біологічно цінного посівного матеріалу в процесі виробництва - одна з найбільш важливих і необхідних умов для вирішення трьох основних народногосподарських проблем: підвищення якості вирощеного зерна при збільшенні валового збору на 30-50 %, зменшення витрат ресурсів і зниження норм висіву насіння до 170-210 кг/га (в порівнянні з 250-280 кг/га) [12].

Завдання виробництва високоякісного насіння пов'язане з необхідністю розробки нових технологічних процесів і робочих органів машин, що забезпечують сепарацію насіння за ознаками, що мають високий кореляційний зв'язок з врожайністю при мінімальному травмуванні

**Мета роботи** – у підвищенні ефективності вібраційного сепаратора зерна різної вологості за встановленими залежностями технологічних показників сепарації від режимних і конструктивних параметрів та виборі їх раціональних величин для серійних і новостворюваних сепараторів.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформульовано і вирішено такі задачі:

Оцінка стану питання та аналіз особливостей вібраційного сепарування зернових матеріалів різної вологості з визначенням основних факторів, що впливають на показники процесу.

Визначення впливу конструктивних параметрів сепаратора на технологічні показники сортування зернової маси різної вологості.

Встановлення залежності показників сотрування зернової маси різної вологості від режимних параметрів рифлених поверхонь сепаратора.

Розробка методики вибору раціональних та оптимальних параметрів рифлених поверхонь сепаратора, рекомендацій стосовно підвищення ефективності їх роботи і впровадження результатів.

**Об'єкт дослідження** – система " рифлені поверхні сепаратора – зернова маса різної вологості", що являє собою багатофакторну структуру із складним впливом на ефективність сортування, як цільової функції.

**Предметом дослідження** стало вивчення впливу режимних та конструктивних параметрів вібросепараторів на технологічні показники при класифікації сернової маси різної вологості.

**Ідея роботи** зводиться до врахування впливу зміни режимних і конструктивних параметрів вібросепараторів на технологічні показники сортування зерна, моделювання роботи рифлених поверхонь сепаратора та вибору його раціональних параметрів.



# **1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ СОРТУВАННЯ ЗЕРНОВОЇ МАСИ НА ВІБРАЦІЙНОМУ ОБЛАДНАННІ**

## **1.1. Процес сортування і умови його проходження**

Сотування (розподіл на фракції) – розділення зернового матеріалу за розмірним показником з допомогою одного або кількох решіт.

Зерно, що спрямовують на сортування, називають вихідним матеріалом, що поступає на поверхню сита, в процесі сепарації він розділяється на кілька фракцій, над решітна - та що рухається по поверхні сепаратора, підрешітна – та, що провалюється через них.

Процес просіювання відбувається найбільш ефективно в перші моменти сепарації, з часом він сповільнюється, до повного припинення. Даний результат пояснюється тим, що з часом дрібної фракції зерна стає менше і процес їх проходження сповільнюється.

Ефективність сепарації зернового матеріалу, в певній мірі залежить від шару яким він подається на решето, занадто тонкий шар є причиною недовантаження решіт сепаратора і перевитратою енергоресурсів, в занадто товстому шарі дрібні зерна надто довго під дією сепарації проходять через нього і лише досягнувши зони отворів решета провалюються в них. Для досягнення максимальної ефективності сепаратора, необхідно узгодити кількість матеріалу, що подається на його решета і режими роботи.

Процес сепарації також залежить від співвідношення розмірів продукту сепарації і діаметра прохідних отворів решіт, чим ця різниця більша, тим швидше дрібна фракція зерна проходить через них.

Враховуючи, що на сортування поступає зерно з різними фізико-механічними властивостями, різних фракції, ступеня засміченості і вологи, ці фактори будуть в тій чи іншій мірі ускладнювати проце сортування. Так у порівнянні з сухим зерном, вологістю 12-15%, вологе зерно негативно впливає на процес сортування. Для очистки такого зерна необхідно застосовувати поверхні спеціального профілю, зокрема струнні сита.

## 1.2. Принцип роботи сепараторів

Всі сепаратори, що випускає вітчизняна промисловість для очистки зерна, можна поділити на наступні групи:

- вібраційні з прямолінійними вібраціями;
- вібраційні з круговими вібраціями;
- плоскі сита з дрібними отворами для дрібного насіння.

Основним робочим органом сепаратора, що забезпечує розподіл зерна на фракції є робоча поверхня. Вона має бути виготовлена у вигляді решітки, решіт, сит.

Поперечне січення решіт може бути різної форми, залежно від поставлених завдань (рис. 1.1)

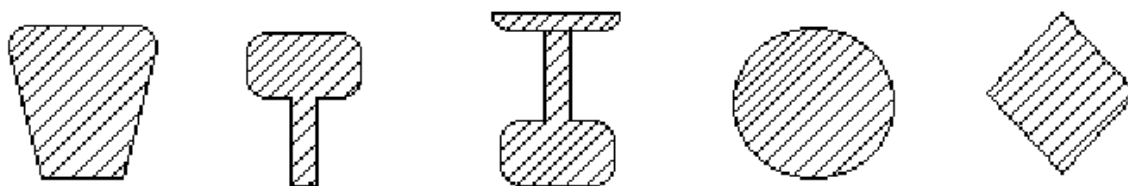


Рисунок 1.1 - Поперечне січення решіт

Решета, що встановлюються на сортувальних машинах виготовлені з металевих листів з проштампованими отворами круглої, прямокутної або трикутної форми. Розміри сит в кожному окремому випадку підбирають індивідуально, залежно від фракції зерна, що поступає на сепарацію. В деяких випадках матеріал використаний для виготовлення поверхні решіт, може бути пластмаса, або високоміцна гума. Це пов'язано з особливостями зерна, з метою мінімізації його травмування.

Дріт, що використовують для виготовлення сітчатих решіт може бути з сталі, бронзи, латуні, з діаметром вічок від 0,4 до 10 мм. Форма вічок переважно квадратна.

Від продуктивності сепаратора залежить і ефективність його роботи, чим більше зернового матеріалу можна пропустити через сита решіт, тим нижчі енерговитрати і дешевша ціна кінцевого продукту.

В основному для механічного сортування зернових сумішей використовують сортувальні пристрої — грохотного типу. Їх поверхню (рис. 1.2, а), залежно від умов використання виготовляють у вигляді колосників, решіт і сит.

Робоча поверхня грохотів набрана з сталевих стержнів трапецієвидного, прямокутного або круглого сечень, скріплених між собою, що називаються колосниковими ґратами, а прутки — колосниками.

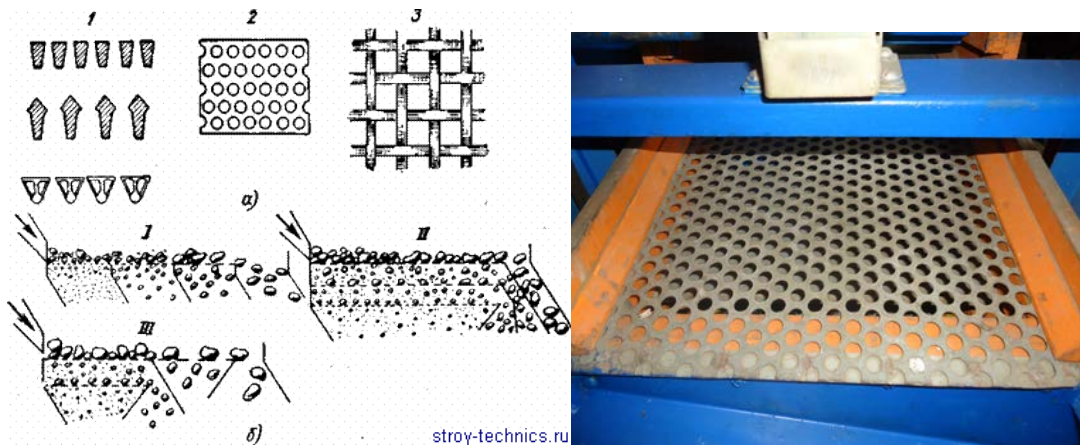


Рис. 1.2. Робочі поверхні сепараторів і схеми їх розташування

Сітки для просіваючих поверхонь виготовляють плетінням, задаючи вічкам квадратного, прямокутного або щілиного сечення з хвилястого попередньо зігнутого дроту.

В залежності від спектру використання на грохотах може встановлюватись від одного до трьох решіт.

Деякі моделі вібраційних грохотів зконструйовані таким чином, що мають можливість регулювання кута нахилу решіт до горизонтальної поверхні. Дане регулювання передбачене для збільшення пропускної здатності сепаруючих поверхонь, при сталих енерговитратах. Вібраційні грохоти даного типу встановлюють під певним кутом безпосередньо на станині фундаменту або підвішують на металевих канатах з можливим регулювання нахилу решета до  $35^\circ$ .

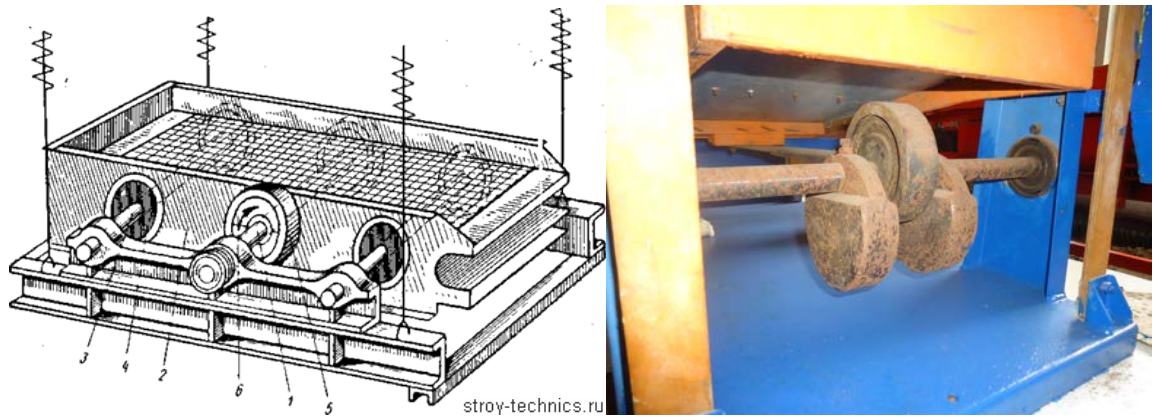


Рис. 1.10. Загальний вигляд дебалансного сепаратора

Для дебалансних сепараторів характерним є те, траєкторія, яку описують крайні точки решета є у вигляді еліпса. Режим роботи даного типу сепараторів залежить від пружності пружин амортизаторів на яких він встановлений і місця встановлення дебалансного маховика. За звичай для більшості дебалансних сепараторів кутлова швидкість дебалансного механізму не перевищує  $1900 \text{ c}^{-1}$  з амплитудою - 12 мм.

Збудником коливань на інерційному сепараторі може служити дебалансний, ексцентриковий або електромагнітний збуджувач лінійних коливань.

Продуктивність вібраційних сепараторів можна визначати експериментальним та теоретичним шляхом з застосуванням емпіричних формул. Їх розрахунок базується на наступних параметрах: амплітуди та частоти коливань решета, його розмірних показників, розмірів пропускних отворів і зернового складу вороху.

## **Висновки**

1. Процес просіювання відбувається найбільш ефективно в перші моменти сепарації, з часом він сповільнюється, до повного припинення.
2. Продуктивність грохотів оснащених кількома ситами, розраховують по верхньому і нижньому ситі.
3. Ефективність сепарації зернового матеріалу, в певній мірі залежить від шару, яким він подається на решето, занадто тонкий шар є причиною недовантаження решіт сепаратора і перевитратою енергоресурсів, в занадто товстому шарі дрібні зерна надто довго під дією сепарації проходять через нього і лише досягнувши зони отворів решета провалюються в них.
4. Процес сепарації також залежить від співвідношення розмірів продукту сепарації і діаметра прохідних отворів решіт, чим ця різниця більша, тим швидше дрібна фракція зерна проходить через них.
5. Максимальний розмір зерен, що проходять через круглий отвір складає в середньому біля (80...85)% від розміру зерен, що проходять через квадратний перетин того ж розміру.
6. Від продуктивності сепаратора залежить і ефективність його роботи, чим більше зернового матеріалу можна пропустити через сита решіт, тим нижчі енерговитрати і дешевша ціна кінцевого продукту.

## 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СЕПАРУВАННЯ

### 2.1. Теоретичні аспекти розділення сипких матеріалів

Досліджуючи процес розділення сипких матеріалів використовують два способи досліджень: один базується на результатах стохастичних досліджень, інший на детерміністичних. У першому випадку розглядають рух матеріальної частинки в рухомому шарі матеріалу, швидкість переміщення якої обумовлена формою, розмірними показниками, її щільністю та іншими випадковими факторами. У другому способі досліджень базується властивостях середовища, параметрах частинки і режимах коливань.

Недоліком першого способу з проблемність визначення залежності функціональних параметрів розділення зернової суміші від режимів вібрацій. Недоліком другого способу є нехтування впливом сторонніх факторів.

Для розділення зернових матеріалів на решетах, використовують наступні методи:

1. Сортування під дією сил земної гравітації і з застосуванням відцентрових сил.
2. Сортування за рахунок просіювання через сито або решітку.
3. Сортування з використанням сил інерції зернового матеріалу.

Для того, щоб забезпечити сортування зернового матеріалу з допомогою просіювання використовують набір сит з діаметром отворів, що дозволяють розділити зерновий ворох на любі фракції (рис. 2.1). Для переважної більшості просіваючи поверхонь співвідношення між площею сит і площею отворів є величина постійна і рівна 36 %.

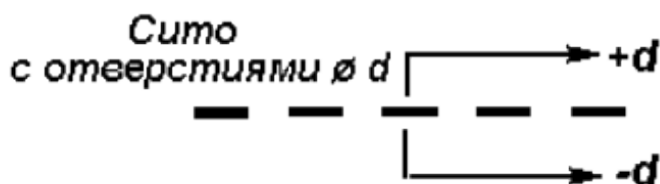


Рисунок 2.1 - Спосіб сортування просіюванням

Для маркування сортувальних сит використовують крім вітчизняної метричної системи маркування і дюймову американську.

Американські:

а) перевідна шкала Ріттенгера –  $\frac{aa}{bb} = 2$  і  $\frac{a}{b} = \sqrt{2}$ ;

б) перевідна шкала Річардсона –  $\frac{aa}{bb} = \sqrt{2}$  і  $\frac{a}{b} = \sqrt[4]{2}$ .

Для даних систем маркувань, номеру сита відповідає кількість просіваючих отворів на 1 см, а їх площа рівна 36 %. Коли  $m$  і  $l$  – номер решета і діаметр отвору, то

$$l \cdot m = \sqrt{F_{CB}} = \sqrt{36} = 6.$$

$$l = \frac{6}{m}.$$

Тоді

Вітчизняна система класифікації решіт поділяє їх на 6 класів [5].

## 2.2. Аналіз вібраційних сепараторів

Процес розділення зернових матеріалів на фракції з допомогою вібрації давно досліджується вітчизняними і зарубіжними вченими.

Для наших досліджень становить інтерес збільшення швидкості руху пластів зернового матеріалу, шляхом використання рифлених поверхонь, для збільшення сил тертя між нижнім шаром і рухомою поверхнею решета. Також цікаво дослідити вплив рифленої поверхні на показник швидкості переміщення верхнього і нижнього шарів зерна. Доцільним є також дослідити, як будуть мінятися швидкості цих шарів, залежно від співвідношення їх масових показників.

Розглянемо найпоширеніші решітні грохоти ( рис. 2.2 і 2.3).

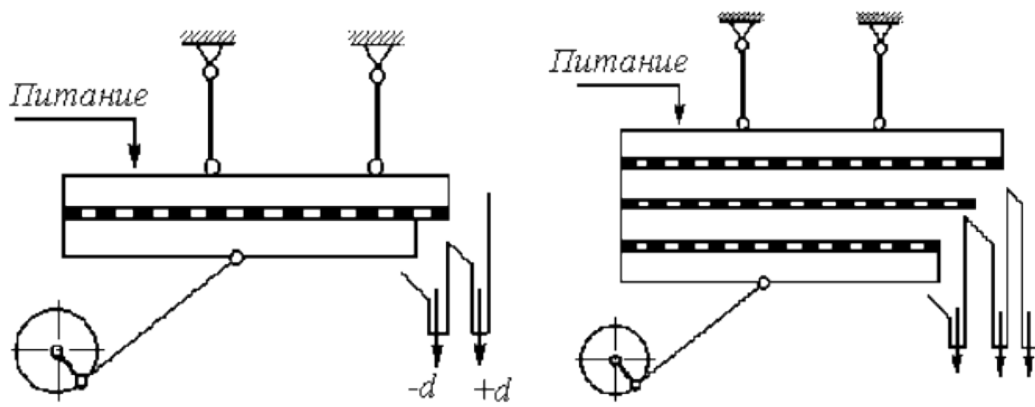


Рисунок 2.2 - Решітні грохоти: а – однорешітний; б – багаторешітний з вертикальною компоновкою решіт

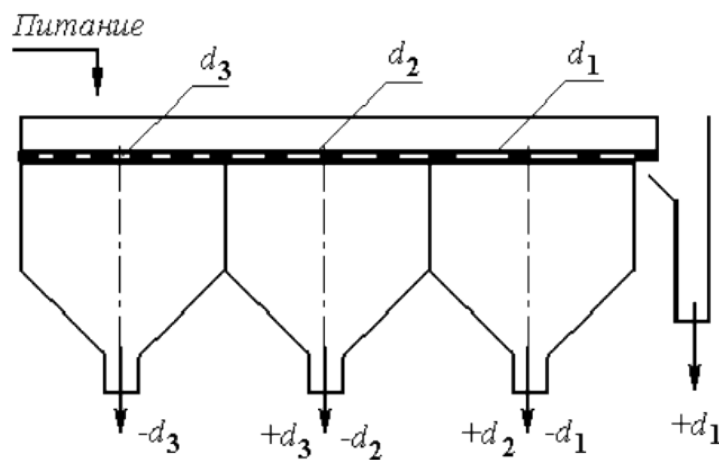


Рисунок 2.3 - Багаторешітний з горизонтальним розміщенням решіт

Розрахунок решітних грохотів. Щоб зерно пройшло через решето діаметром отвору  $d_0$ , воно повинне, переміститись з положення  $A$ , у положення  $B$  (рис. 2.4). Протягом часу  $\tau$ :

$$x = w\tau \cos \alpha \quad y = \frac{g\tau^2}{2}$$



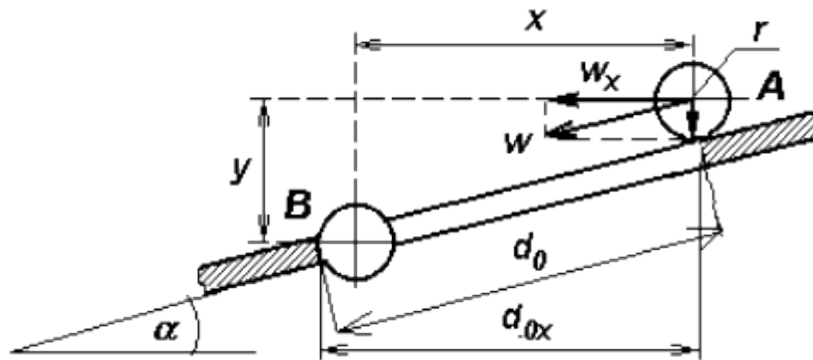


Рисунок 2.4 - Сил, діючі на зерно, що переміщається по решеті

Розглянув положення частинки в Декартовій системі координат, отримаємо координати точки положення частинки:

$$x = (d_0 - r - r \operatorname{tg} \alpha) \cos \alpha \quad (2.1)$$

$$y = (d_0 - r - r \operatorname{tg} \alpha) \sin \alpha + \frac{r}{\cos \alpha}.$$

З них випливає:

$$\begin{cases} \tau = \frac{d_0 - r - r \operatorname{tg} \alpha}{w}; \\ \tau^2 = \frac{2(d_0 - r - r \operatorname{tg} \alpha) \sin \alpha}{g} + \frac{2r}{\cos \alpha}. \end{cases}$$

Розв'язавши систему рівнянь відносно  $w$ , отримаємо:

$$w = (d_0 - r - r \operatorname{tg} \alpha) \sqrt{\frac{g \cos \alpha}{(d_0 - r - r \operatorname{tg} \alpha) \sin 2\alpha + 2r}}. \quad (2.2)$$

Отже,  $w = f(d_0, r, \alpha)$ .

Для  $\alpha = 0$  (робота горизонтального сепаратора)

$$w = (d_0 - r) \sqrt{\frac{g}{2r}}. \quad (2.3)$$

Щоб зерно попадало в отвори решета того ж розміру,  $d_0 = 2r$ , швидкість переміщення зерна по поверхні решета повинна становити:

$$w \leq r(1 - \operatorname{tg} \alpha) \sqrt{\frac{g \cos \alpha}{r(1 - \operatorname{tg} \alpha) \sin 2\alpha + 2r}}. \quad (2.4)$$

Для роботи горизонтального сепаратора

$$w \leq r \sqrt{\frac{g}{2r}}. \quad (2.5)$$

Швидкість переміщення зерна по поверхні решітного стану залежить від частоти коливань грохота за секунду і амплітуди коливань спричиненої ексцентриковим механізмом приводу. Силовий аналіз наведений на рис. 2.5.

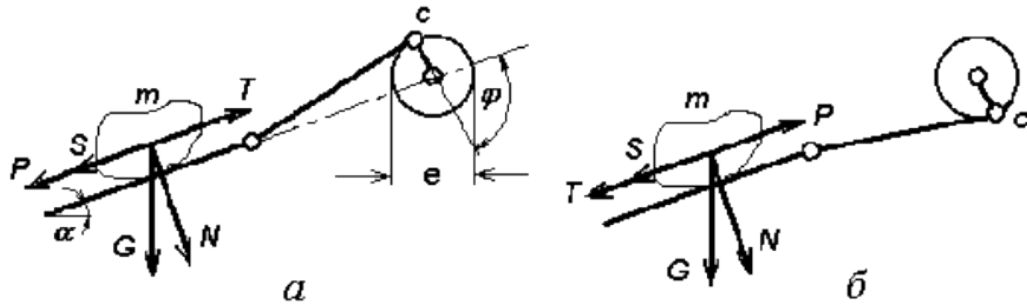


Рисунок 2.5 – Силовий аналіз переміщення зерна по поверхні решета:  
а – згори; б – вгору

Величину кута  $\alpha$  приймаємо з умови:

$$\operatorname{tg} \alpha \leq f, \text{ або } \alpha \leq \varphi.$$

Під дією ексцентрикових коливань зерно на решеті отримує змінні прискорення:

$$a = \left( \frac{\pi n}{30} \right)^2 e \cos \varphi, \quad (2.6)$$

де  $w$  – кутова швидкість ексцентрикового механізму;

$e$  – радіус ексцентриситету;

$\varphi$  – кут між поверхнею решета і приведеним радіусом ексцентрикового механізму (0-180 °).

При умові  $P + S > T$  зерно рухається вниз, а для  $P > S + T$  – ввєрх по решеті. Напряв прикладання сили  $P$  і  $T$  протилежний переміщенню, або зміні напряму. Для руху зерна вниз необхідно задовільнити умову:

$$\frac{G}{g} \left( \frac{\pi n}{30} \right)^2 e \cos \varphi + G \cdot \sin \alpha \geq f \cdot G \cdot \cos \alpha, \quad (2.7)$$

$$\left(\frac{\pi n}{30}\right)^2 \frac{e \cos \varphi}{g} + \sin \alpha \geq f \cos \alpha.$$

або

Найвищі сили інерції, що діють на зерно, виникають при його русі вниз по поверхні решета, коли  $\varphi = 0^\circ$ . Отже

$$n_1 > \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{(f \cos \alpha - \sin \alpha)g}{e}}. \quad (2.8)$$

З умови ( $P > S + T$ ),

$$n_2 < \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{(f \cos \alpha - \sin \alpha)g}{e}}. \quad (2.9)$$

Отже,

$$n_1 > n > n_2.$$

Результати дослідження свідчать, що кутову швидкість обертання ексцентрикового механізму для вібраційних грохотів можна розрахувати за формулою:

$$n \approx \frac{40}{\pi} \sqrt{\frac{(f \cos \alpha - \sin \alpha)g}{e}}. \quad (2.10)$$

Швидкість переміщення зерна по поверхні решета:

$$w = \frac{l \cdot n}{63,5} \text{ м/с.}$$

Продуктивність більшості інерційних грохотів залежить від виду оброблюваного матеріалу. Якість очистки зернового матеріалу, залежить від рівномірності подачі його на робочу поверхню решета. Шар зернового матеріалу, що знаходиться на поверхні решета за товщиною не повинен перевищувати товщини найкрупніших зернин:

$$Q = 3600 B w d \rho_{\text{н}} \mu, \quad (2.11)$$

де  $Q$  – продуктивність, т/год;

$B$  – ширина робочої поверхні решета, м;

$d$  – діаметр найбільших зернин, м;

$\mu$  – коефіцієнт сепарації (0,6-0,7).

Сумарна потужність вібраційного грохота витрачається на привід вібраційного механізму решіт, з метою передачі від них частини кінетичної енергії зерновим масам і на подолання опорів, їх переміщенню по поверхні решета.

Кінетична енергія, що передається зерновому матеріалу:

$$E = \frac{mv^2}{2} = \frac{w^2 G}{2g}. \quad (2.12)$$

Затрати роботи на переміщення решета з одного крайнього положення в інше (знизу – в верх, зверху - в низ) рівні:

$$A_1 = \frac{w_1^2 G}{2g}; \quad A_2 = \frac{w_2^2 G}{2g}. \quad (2.13)$$

Для одного оберту привідного вала:

$$A = A_1 + A_2 = \frac{G}{2g} (w_1^2 + w_2^2),$$

де  $w_1$  – швидкість на підкидання;

$w_2$  – швидкість на опускання.

Для звичайного приводу кривошипного або ексцентрикового типу  $w_1 = w_2 = w_i$ :

$$A_k = \frac{w^2 G}{g}, \quad N_k = \frac{A_k n}{60 \cdot 102} = \frac{e^2 n^3 G}{55 \cdot 10^5} \text{ кВт}. \quad (2.14)$$

Затрати потужності, на подолання сил тертя:

$$A_T = f w_0 G_m, \quad (2.15)$$

де  $G_m$  – вага зернової суміші на решеті;

$w_0$  – швидкість переміщення зернової суміші по поверхні решета.

$$G_m = B L d \rho_n \mu. \quad (2.16)$$

де  $L$  – довжина поверхні решета.

але

$$B d \rho_n \mu w_0 = \frac{Q}{3600}, \quad (2.17)$$

Звідси 
$$A_T = \frac{fLQ}{3600} \quad \text{і} \quad N_T = \frac{A_T}{102} \text{ кВт.}$$

Значення отриманого параметру на третину завищене, тому

$$N_{\text{общ}} = \frac{A_k n}{60 \cdot 102} + \frac{2}{3} \cdot \frac{A_T}{102} \text{ кВт.} \quad (2.18)$$

Для кожного окремого сепаратора його робоча продуктивність є дослідною і розрахувати її точно неможливо.

### **Висновки**

1. Використання решіт з різним діаметром отворів, дозволяє розділити зернистий матеріал на любую кількість фракцій.
2. Співвідношення між площею поверхні решіт і площею їх отворів, є величина стала і рівна 36 %.
3. Сепаратори оснащені ситами переважно застосовується для розділення дрібнозернистого насіння.
4. Інерційні грохоти забезпечують сортування зернового матеріалу на фракції і забезпечують його переміщення з одночасним ворухінням.
5. Для задовільної роботи інерційного сепаратора необхідно, щоб товщина шару зернового вороху на решеті не перевищувала розміру найкрупнішого зерна.

### 3. ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Програма досліджень

Завдання експериментальних досліджень – дослідити зміну якісних показників сепарації зернового вороху на рифлених решетах вібраційних машин залежно від вибору їх конструктивних параметрів та режимів роботи.

Завдання експериментального дослідження:

1. Дослідити механіку процесу сепарації зернової суміші.
2. Отримати чисельні значення процесу сепарації зернової суміші.
3. Порівняти схожість результатів теоретичних досліджень з результатами дослідних даними.

#### 3.2. Обґрунтування необхідного числа вимірів

Щоб визначити необхідну кількість повторів експериментальних досвідів, для дослідження технологічних властивостей зернової суміші, щоб в подальшому їх можна було використати при проектування конструкцій сепараторів використовуємо формулу:

$$n_m = (t \psi / \delta_m) \quad (3.1)$$

де  $n_m$  - число вимірів шуканого випадкового фактора для очікуваної погрішності математичної  $m_x$ ,

$t$  — коефіцієнт закону нормального розподілу, і довірча ймовірність  $p_a$ .

$$P_\delta = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-t}^t \frac{t^2}{e^2} dt \quad (3.2)$$

$\psi$ - коефіцієнт варіації;

$\delta_m$  — відносна погрішність.

Враховуючи імовірну погрішність вимірювальних приладів  $\delta_m = 0,10 \dots 0,14$  і довірчу ймовірність  $P_a = 0,95$ , розраховуємо з формули (3.2) величину  $t = 1,96$ .

На основі формулою можемо знайти бажаний коефіцієнт варіації:

$$\Psi = \sigma / m_x, \quad (3.3)$$

де  $\sigma$  - середньоквадратичне відхилення, що на пряму залежить від кількості проведених дослідів. Маємо  $\Psi = 0,14$ .

Згідно з результатами розрахунків по (3.2) необхідна мінімальна кількість повторень дослідів повинна знаходитись в межах  $n = 5$ .

### 3.3. Фракційний аналіз

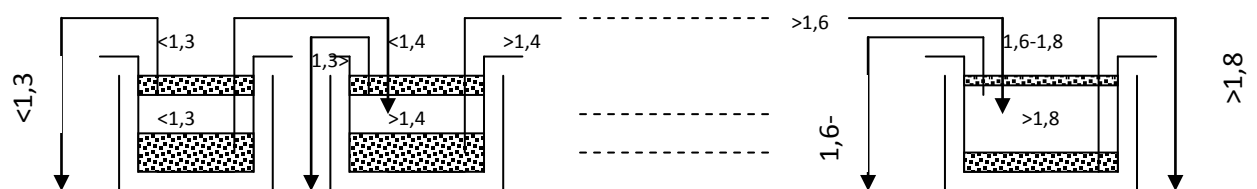
Для визначення фракційного складу зернової суміші відбирається наважеи зерна з загального масиву залежно від його сортових властивостей табл.3.1.

Перед сортуванням зерновий матеріал попереднь очищається від полови та пилоподібних домішок з допомогою повітряного потоку, використавши аеродинамічні властивості зерна.

Таблиця 3.1 - Класи зернового матеріалу для фракційного аналізу.

Клас, мм	7-10	5-7	3-5	1,5-3	1-1,5	0,6-1
Маса проби, кг	12	10	8	6	4	2

Для проведення фракційного аналізу зернового матеріалу використовують наступне обладнання, кілька ємкостей, переважно скляних заповнюють водним розчином хлористого цинку різної концентрації, щоб його



щільність відповідала наступним параметрам 1,1; 1,15; 1,2; 1,25 і 1,3.



За рахунок різної щільності, зерновий матеріал у розчині певної концентрації розшаровується на фракції. Важча фракція опускається, легша піднімається.

За результатами фракційного аналізу можна отримати кількісне співвідношення насінневого матеріалу, у тій чи іншій фракції, за питомою вагою.

### 3.4. Решітний аналіз

Для сортування зернового матеріалу за розмірними показниками (товщиною, шириною, довжиною) використовують решітний аналіз. Для проведення даних досліджень використовують лабораторну установку (рис.3.1.) укомплектовану наборами решіт з круглими та квадратними отворами. Їх називають шкалою решіт. Розміщення решіт в лабораторній установці здійснюється у наступній послідовності, у верхній частині встановлюють решета з найбільшим діаметром вічок, по мірі наближення до низу діаметр вічок зменшується. Встановлення решіт з порядком зменшення розмірів отворів утворює геометричну прогресію. На основі такого розташування любий досліджуваний матеріал можна розділити на необхідну кількість фракцій, і зважуючи їх, можна встановити процентне співвідношення зернового матеріалу у кожній фракції за масовим показником.

Для решітного аналізу використовують шкалу, за основу якої використовують решето з комірками 0,74 мм і модулем  $\sqrt{2}$ . Для експериментальних досліджень використовують "вужчу" шкалу з модулем  $\sqrt[4]{2}$ , тобто між кожні два решета вставляють ще одне решето.

Для решітного аналізу досліджуваного зернового ворху вагу наважки зерна вибирають залежно від його крупності. Рекомендована вага маси проб:

Розмір найкрупнішої зернини, мм ... 0,1; 0,3; 0,5; 1; 3; 5; 10.

Мінімальна вага проби, кг ... 0,025; 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 2,25; 10.



Аналіз зеренового матеріалу, за товщиною або шириною, здійснюють за допомогою решітного класифікатора ГР-50 (рис.3.1) оснащеного віброприводом. Результати розподілу зерна на фракції, отримані на решітному класифікаторі, можна застосувати для вибору решіт для вібраційних машин.

Решітний класифікатор ГР-50 має наступну будову, він складається з електромагнітного вібратора 7, пружин 1, комплексу каліброваних сит 3, дисків 6 і 4, ексцентрикового затискного важеля 5. До нижньої частини стану кріпиться якорь електромагнітного приводу закритий захисним кожухом. З допомогою електромагнітного вібратора решета наповнені дослідним зерновим матеріалом, приводяться в рух. Електромагнітний вібратор створює високочастотні коливання заданої амплітуди, що сприяє перерозподілу зернового матеріалу між решетами. Автотрансформатором можна регулювати напругу амплітуду коливань.

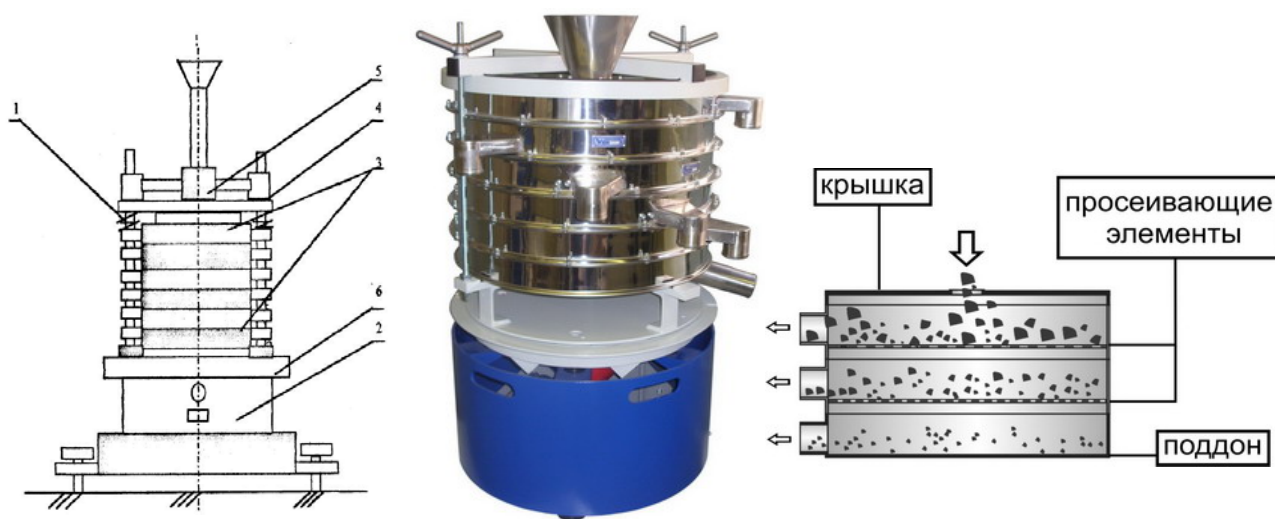


Рисунок 3.1 - Решітний класифікатор ГР-50

1-пружини; 2-електромагнітний вібратор; 3-калібровані решета; 4,6-притискні диски, 5-притискний ексцентриковий важіль

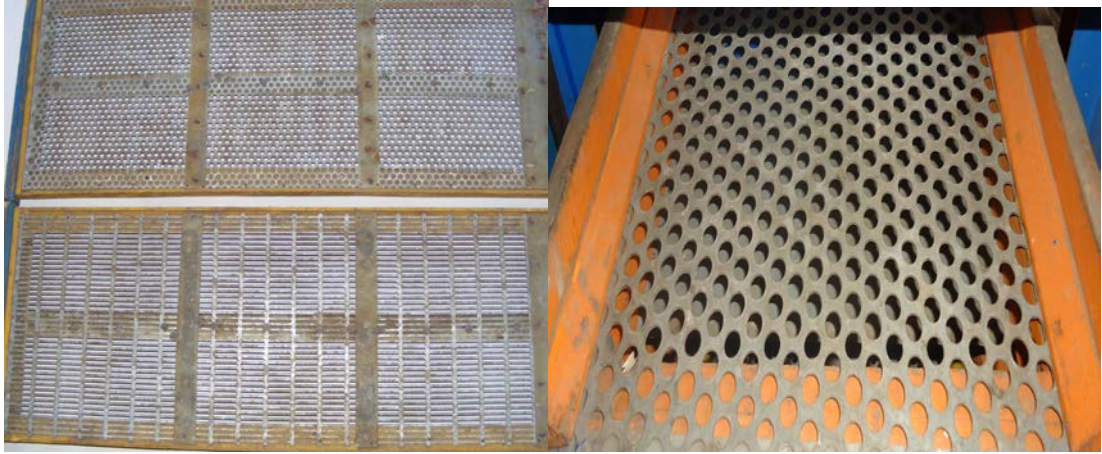


Рисунок 3.2 - Вигляд решіт

### 3.6. Методика обробки результатів експериментальних досліджень

В процесі сортування зернового матеріалу, часто відбувається його травмування. Це пов'язано з недоліками конструкторських рішень і неправильним вибором режимів роботи сортувального обладнання. Для того щоб уникнути таких ситуацій необхідно знати технологічні показники зерна, його міцність, опір руйнуванню тощо.

Для визначення міцності зерна використовуємо експериментальне обладнання, що включає механічний копр і мірну лінійку для фіксації його положення (рис. 3.3).

Для визначення роботи, що затрачається на руйнування оболонки зерна використаємо формулу:

$$A = mgh , \quad (3.5)$$

де  $m$  – вага копрової частини, г;

$g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>;

$h$  – висота падіння копрової частини, м.

Обладнання, що використовується для визначення енергії руйнування зерна складається (рис.3.3) складається з платформи 1, до якої закріплена підставка 2 з колбою 3, завдання якої полягає в забезпеченні прямолінійності удару копровою частиною 5, до стінки колби кріпиться мірна лінійка 4 з допомогою якої фіксуємо висоту нанесення удару, дослідний зразок насіння

10 розміщують у виємці підставки 2. Копрова частина 5 ливною 6 з допомогою катушки і фіксатора 8 фіксується на певній висоті, після чого наноситься удар по досліджуваному зразку. Елементи дослідного обладнання закріплені у штативі 9.

Енергію руйнування зерна досліджували з допомогою копра, положення висоту падіння, якого змінюють залежно від міцності матеріалу.

На копрову частину обладнання діють дві сили: маса копра і сила тертя ливни у поліспасти. При ударянні копра, на поверхні зерна, утворюються тріщини, завдання визначити енергію їх руйнування.

Згідно закону збереження енергії, сумарна енергія копрової частини рівна:

$$E = E_n + E_\kappa = mgh + \frac{mV^2}{2} = const. \quad (3.6)$$

Енергія  $mgh$  вихідного положення копра перетворюється у кінетичну  $\frac{mV^2}{2}$ . В нижній точці, копр набуває кінетичну енергію  $E_\kappa = \frac{mV^2}{2}$ , що затрачається на утворення тріщин та руйнування зерна:

$$E_n = E_\kappa \quad \text{або} \quad \frac{mV^2}{2} = mgh \quad (3.7)$$

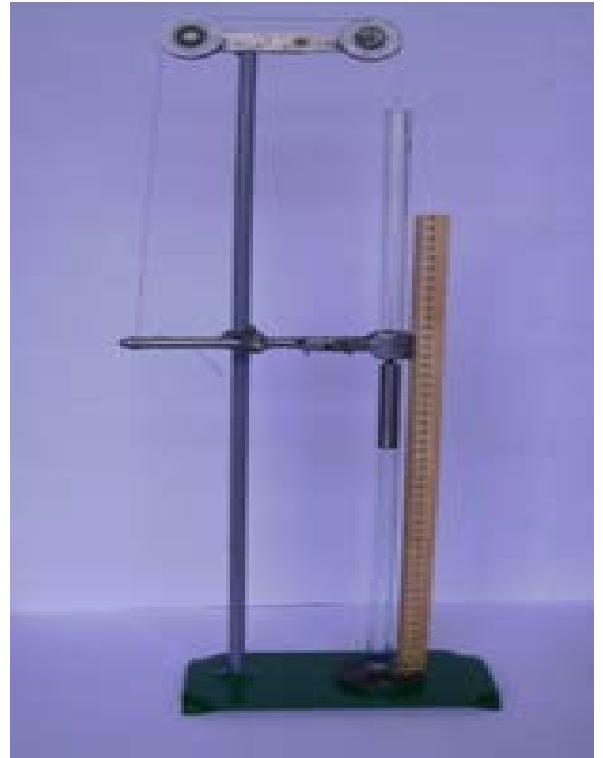
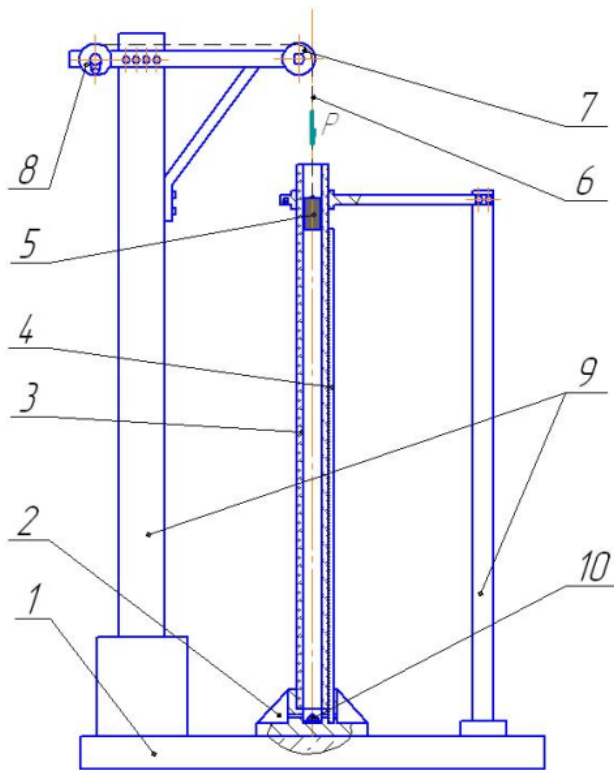


Рис.3.3. Стенд для визначення енергії руйнування зерна: 1 - платформа; 2 - підставка; 3 - колба; 4- мірна лінійка; 5 - копр; 6 - шнур; 7 - поліспаст; 8 - фіксатор; 9 - штатив; 10 - зерно.

Робота, витрачена на руйнування поверхні зерна, це зміна енергії, і її запишемо:

$$A = \Delta E = RS, \quad (3.8)$$

де  $\Delta E$  - зміна енергії;

$R$  - сила руйнування оболонки зерна, Н;

$S$  - шлях руйнування, це товщині насінини мм.

Для нашого випадку  $\Delta E_k = A$ , отже:

$A$  - енергія падіння копра, мм;

$m$  - маса копра, г;

$h$  – висота падіння копра, мм.

$$R = \frac{mgh}{S}, \quad (3.9)$$

Це і є кінцева формула для розрахунку ударної міцності зерна.

## 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 4.1. Результати фракційного аналізу

Таблиця 4.1 - Результати фракційного аналізу зерна класу (2,5...5) мм.

Вага фракції	Вихід фракцій		Зольність і вміст S у фракціях		Добуток $\gamma A^c$	Сумарні дані					
						Вспливші фракції		Потонувші фракції			
	$K_2$	$(\gamma)\%$	$A^c$	$S_{об}^c$		$\Sigma\gamma A, \%$	$\Sigma\gamma, \%$	$A^c_{cp}$	$\Sigma\gamma A^c$	$\Sigma\gamma, \%$	$A^c_c$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
< 1,3	9,55	15,35	3,20	-	49,12	49,12	15,35	3,20	1523,48	100,0	15,23
1,3-1,4	31,97	51,23	6,19	-	317,11	366,23	66,58	5,50	1474,36	84,65	17,42
1,4-1,5	5,52	8,71	13,67	-	119,07	485,30	75,29	6,45	1157,25	33,42	34,63
1,5-1,6	3,57	5,74	25,50	-	136,37	621,67	81,03	7,67	1038,18	24,71	42,01
1,6-1,8	5,77	9,27	36,58	-	349,10	970,77	90,30	10,75	901,81	18,97	47,54
>1,8	6,04	9,70	56,98	-	552,71	1523,4	100,0	15,23	552,71	9,70	56,98
Всього...	62,22	100,0	15,23	-	-	-	-	-	-	-	-

На підставі даних таблиці 4.1 можна встановити:

а) сумарний вихід (фракцій, що спливли), і сумарний вихід потоплених фракцій;

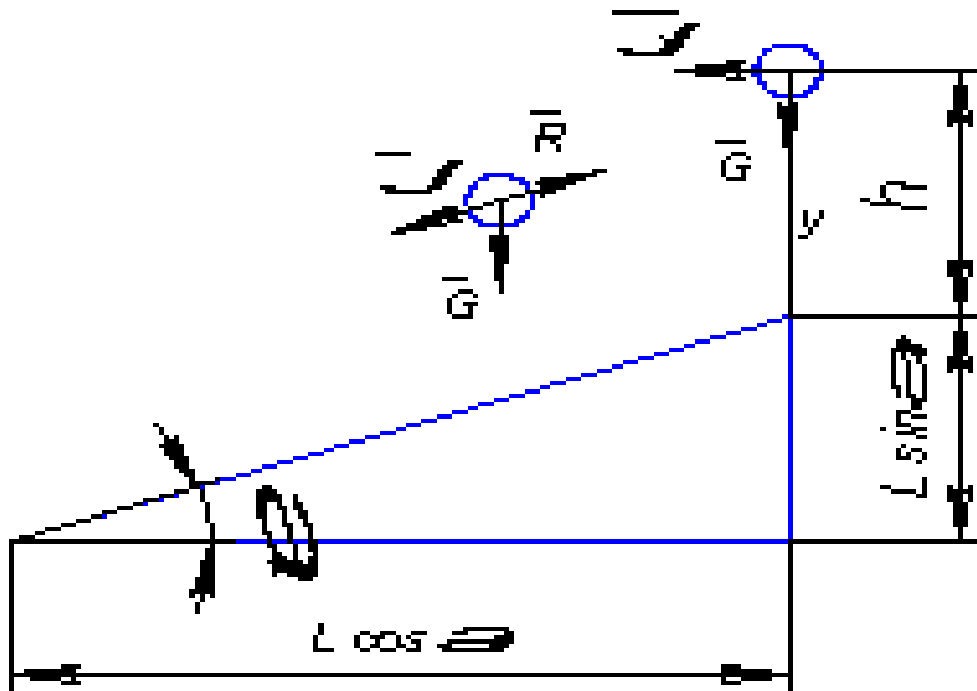
в) теоретично якісно-кількісні результати розділення: насінневий матеріал, фуражне зерно, відходи.

### 4.2. Закономірності сортування зернових сумішей

Вдосконалення сортувального обладнання вимагає досконалого вивчення технологічних властивостей зернових сумішей. Їх властивості, впливають на характер поведінки зерна на решетах, в одному випадку позитивна робота реші спостерігається при переміщенні зернового матеріалу вниз, у другому до гори. Дослідження цих процесів допомагає вибору правильного кута встановлення решіт сепараторів, з метою зменшення їх енергоємності, забезпечення надійності роботи, та збільшення продуктивності.

Перспективним шляхом цих досліджень є вдосконалення процесу грохочення з застосуванням матеріалів з різною шорсткістю поверхні, що сприяє більш ефективній передачі інерційних сил від робочої поверхні решета до робочого матеріалу.

Поведінка окремої зернини, під впливом діючих на неї сил, можна зобразити схемою.



Рісунк 4.1 - Визначення параметрів зерна, що знаходиться на решеті сортувального обладнання

Опір переміщення зерна при зіткненні:

$$R = Z \cdot F_{y\partial} = \frac{N_k^2}{2V^2} \cdot \pi^2 \cdot r_{cp}^4 \cdot g^3 \cdot m_{cp} \cdot g \cdot \Delta t ; \quad (4.1)$$

де  $F_{y\partial}$  – сила співударяння зерен;

$Z$  – кількість співударянь частинок;

$N_k$  – кількість зерен, що знаходяться на решеті;

$V$  – об'єм зерна, що перебуває на решеті;

$r_{cp}$  – середній радіус зерна;

$V$  - швидкість переміщення зерна по поверхні решета;

$m_{cp}$  – середня маса зерна;

$g$  – прискорення вільного падіння;

$\Delta t$  – час, перебування зерна на решеті.

$$m \cdot \bar{a} = \bar{R} + \bar{G} \quad (4.2)$$

де  $G$  – вага зерна.

Знаючи прискорення ( $a$ ), можна визначити швидкість переміщення зерна по поверхні решета.

Затрати потужності для переміщення зерна по поверхні решета:

$$N = R \cdot Q = \frac{4 \cdot m_{cp} \cdot (\sin \alpha - \cos \alpha)}{t \cdot \sin 2\alpha} + \frac{\pi^2 \cdot N_k^2 \cdot r_{cp}^4 \cdot m_{cp}}{V^2} \quad (4.3)$$

Отримані рівняння дозволяють описати взаємодію зернового матеріалу з робочою поверхнею коливного решета і посторове розташування зернини на ньому.

$x'$ ,  $y'$  – проекції руху зерна на осі поверхні решіт:

$$\begin{aligned} x' &= \cos(\alpha + \beta) \cdot A \cdot \sin \omega t \\ y' &= \sin(\alpha + \beta) \cdot A \cdot \sin \omega t \quad ; \end{aligned} \quad (4.4)$$

$A$  – амплітуда коливань решета;

$\omega$  – частота коливань частинки на решеті;

$m_i$  – маса зерна на рншеті:

$$m_i = \left( 1 - \frac{b^2 \left( 1 - \frac{d}{b} \right)^2}{(b + a_1)^2} \right) \frac{\ell \cdot \pi \cdot Q \cdot \gamma \cdot (2 - C_H \cdot E)}{1,48 \cdot (A \cdot \omega - 0,23)} \quad ; \quad (4.5)$$

де  $b$  – параметри отвору, мм;

$a_1$  – товщина ниток решета, мм;

$d$  – розмір зерна, мм;

$l$  – робоча довжина решета, м;

$Q$  – секундна продуктивність решета, м<sup>3</sup>/с;

$\gamma$  – щільність зернового вороху, кг/м<sup>3</sup>;

$\omega$  – кутова швидкість вала вібратора, м/с<sup>2</sup>;

$C_H$  – вміст нижнього класу зерна у вихідному матеріалі, %;

$E$  – ефективність сепарації, %.

Дослідження спрямовані для створення умов максимальної пропускної здатності решіт. Цього можна досягнути за умови подачі оптимальної кількості зерна відповідної товщини на решето, як уже раніше відзначалось, товщина шару зернового матеріалу, що піддається сортуванню не повинна перевищувати товщини найбільшої зернини.

Встановлено, шляхи оптимізації процесу сепарації на інерційних грохотах:

- збільшення амплітуди і частоти поверхні сепаратора позитивно впливає на швидкість переміщення зерна по ньому, зростають інерційні сили, що діють на відрив зерна і його швидкість руху (рис.4.1);

- зернова маса набирає оптимальної швидкості руху по решетах, при їх частоті коливань  $f = 15 \dots 25$  кол/с (рис. 4.2);

- чим вищі частоти коливань, тим менший опір діє на зерно при його переміщенні по поверхні решета (рис.4.2);

- змінюючи кут нахилу коливної поверхні до горизонту з  $\alpha = 2^\circ$  до  $35^\circ$  отримали результати: збільшуючи кута нахилу коливної поверхні з  $13^\circ$  до  $35^\circ$ , протікання процесу сепарації набуває більш плавного характеру ніж при  $2^\circ$  до  $12^\circ$ ;

- встановлена залежність між затратами потужності і розмірними та конструктивними параметрами сепаратора (рис.4.3).

Підбивши підсумки на основі теоретичних та експериментальних досліджень, зробимо такі висновки – математично встановлена залежність між конструктивними параметрами вібраційного сепаратора і його режимами роботи (частотою та амплітудою коливань), досліджено вплив шорсткості рифленої поверхні на швидкість руху зерна по решеті, обґрунтовано умови взаємодії віброуючої поверхні з зерновим матеріалом та описані умови його проходження через отвори решіт.



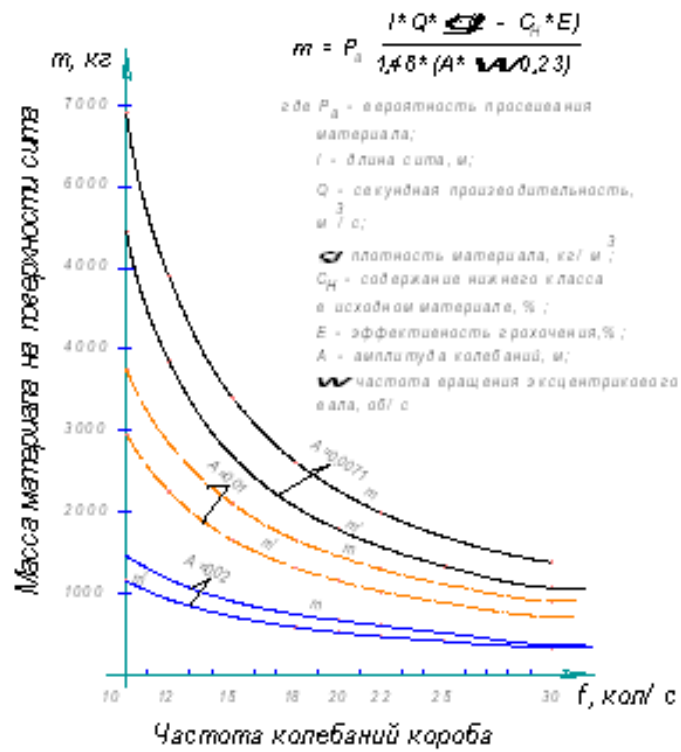


Рисунок 4. 2 - Графічна залежність між зміною частоти коливань і кількості зерна на на поверхні решета

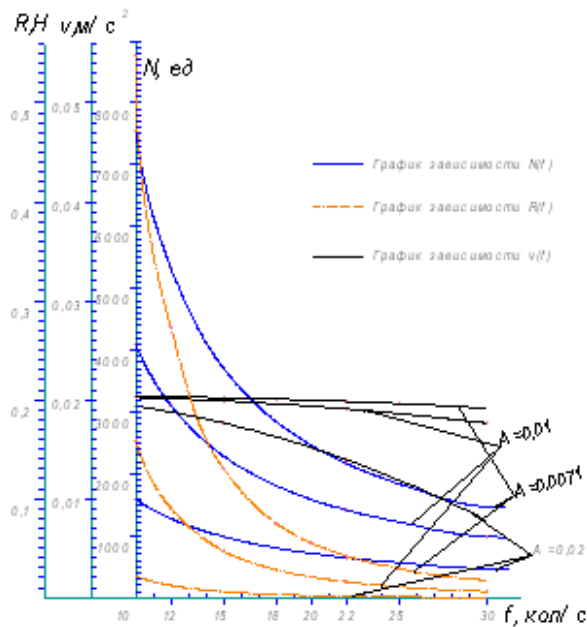
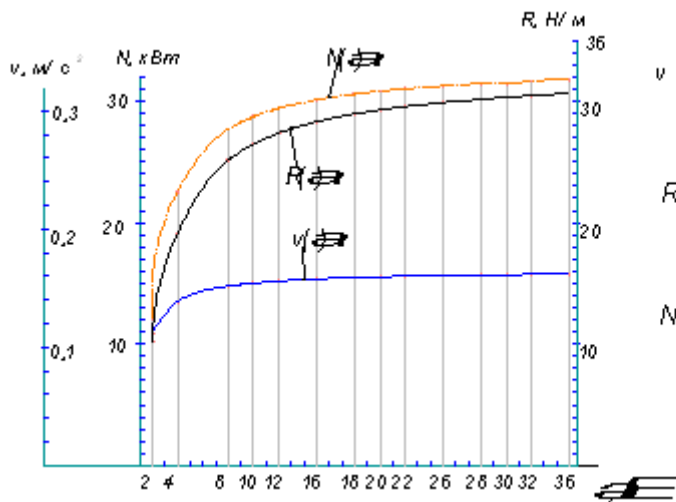


Рисунок 4. 3 - Графічна залежність опорних сил переміщення зерна по поверхні решета від його концентрації



$$v = \frac{4 \cdot V^2 \cdot (\sin \alpha \cos \phi)}{N_k^2 \cdot P \cdot r_{cp}^4 \cdot g \cdot t^2 \cdot \sin(2 \phi)} + \frac{2}{g \cdot t^2}$$

$$R = \frac{N_k^2 \cdot P \cdot r_{cp}^4 \cdot m_{cp} \cdot g \cdot t}{2 \cdot V^2}$$

$$N = \frac{N_k^2 \cdot P \cdot r_{cp}^4 \cdot m_{cp}}{V^2} + \frac{4 \cdot m_{cp} \cdot (\sin \alpha \cos \phi)}{t \cdot \sin(2 \phi)}$$

Рисунок 4.4 - Графічна залежність основних показників від кута встановлення решета.

### 4.3. Принцип роботи та будова запропонованого інерційного сепаратора

Модель запропонованого інерційного сепаратора відрізняється від базових, наступним, для розділення зерна на фракції в конструкцію решіт пропонується включити рифлені поверхні. Особливістю даних поверхонь, є те, що під час сепарації насіння з гладкою поверхнею не буде проковзувати по поверхні решета і зменшувати відповідно продуктивність. Наявність рифів сприяє збільшенню шорсткості робочої поверхні решета, кращій передачі сил інерції зерну, його підкиданню і проходженню через отвори робочої поверхні.

З метою розширення діапазону очистки насінневого матеріалу, інерційний сепаратор пропонує обладнати дебалансним вібратором замість електромагнітного. Перевага дебалансних вібраторів у плавності роботи, вони не бояться короткострокових перевантажень і ним безпечніше регулювати статичний момент, що діє на насінневий матеріал.

Під час роботи дебалансного вібратора, внаслідок його обертання виникають відцентрові сили інерції, що заставляють коливатись решета, а відповідно і зерновий матеріал на них. Амплітудно частотні характеристики їх

роботи залежать від конструктивних параметрів вібраційного сепаратора.

#### 4.4. Конструктивні параметри вібраційного сепаратора

З метою зменшення металомісткості конструкції вібраційного сепаратора, необхідно вибрати оптимальні його параметри, що забезпечать високу якість сепарації, пропускну здатність і не високу енергемність процесу, пропонується для нього прийняти наступні вихідні параметри: кут встановлення коливних поверхонь –  $\alpha = 25^{\circ}$ , коефіцієнт сепарації зерна на решеті –  $\mu = 0,6$ .

Вибираєм частоту обертання дебалансного механізму вібратора:

$$n \geq \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{g \cdot \cos \alpha}{\pi^2 \cdot r}} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{9,81 \cdot \cos 25^{\circ}}{3,14^2 \cdot 0,005}} = 6,71 \text{ с}^{-1}, \quad (4.8)$$

де  $r$  – амплітуда коливань сепарувальної поверхні,  $r = 0,003$  м.

Приймаємо частоту обертання дебалансного механізму вібратора

$$n = 10 \text{ с}^{-1} (600 \text{ хв}^{-1}).$$

Розрахуємо конструктивні параметри вібраційного сепаратора:

- ширина решета:

$$B = \frac{P_{\rho}}{7200 \cdot D'_{\text{сеп.}} \cdot r \cdot n \cdot \rho \cdot \mu \cdot \tan \alpha} = \frac{60}{7200 \cdot 0,08 \cdot 0,005 \cdot 10 \cdot 2,4 \cdot 0,6 \cdot \tan 25^{\circ}} = 3,1 \text{ м.}$$

- довжина решета:

$$L = 2 \cdot B = 2 \cdot 3,1 = 6,2 \text{ м.}$$

Маса сепаруючої поверхні і зернового матеріалу, що одночасно перебуває на ній:

$$m = B^2 \cdot D'_{\text{сеп.}} \cdot \rho \cdot \mu = 3,1^2 \cdot 0,08 \cdot 2,4 \cdot 0,6 = 1,109 \text{ т.} \quad (4.9)$$

Вага дебалансного механізму вібратора:

$$m_{\circ} = \frac{m \cdot r}{r_{\circ}} = \frac{1,109 \cdot 0,005}{0,25} = 0,022 \text{ т.} \quad (4.10)$$

Радіус обертання дебалансного механізму приймаємо:  $r_\delta = 0,25$  м.

Зусилля, що передається на одну підпружинену опору:

$$m_0 = \frac{m}{z} = \frac{1,109}{4} = 0,277 \text{ т.} \quad (4.11)$$

Для приводу запропонованої моделі інерційного вібратора, необхідно використати двигун потужністю:

$$N = \frac{4 \cdot \pi^3 \cdot n^3 \cdot m_\delta \cdot r_\delta \cdot d_e \cdot f}{\eta_y} = \frac{4 \cdot 3,14^3 \cdot 10^3 \cdot 0,022 \cdot 0,25 \cdot 0,16 \cdot 0,01}{0,8} = 1,375 \text{ кВт,} \quad (4.12)$$

де  $\eta_y$  – ККД приводу,  $\eta_y = 0,8$ ;

$f$  – коефіцієнт тертя підшипниках приводу,  $f = 0,01$ ;

$d_e$  – діаметр вала дебалансного механізму,  $d_e = 0,16$  м.

Для роботи запропонованого вібраційного сепаратора приймаємо двигун моделі 4А160S43, потужністю  $N_\delta = 1,5$  кВт, з частотою обертання  $n_\delta = 935$  хв<sup>-1</sup>.

Отримані залежності диференціальних рівнянь, що описують рух одномасової системи, дозволяють точно описати рух зернового матеріалу:

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= \frac{1}{M} \left[ -k_x \dot{x} - k_{x\varphi} \dot{\varphi} - c_x x - c_{x\varphi} \varphi + \sum_{i=1}^n m_i \varepsilon_i (\ddot{\varphi}_i \sin \varphi_i + \dot{\varphi}_i^2 \cos \varphi_i) \right], \\ \ddot{y} &= \frac{1}{M} \left[ -k_y \dot{y} - k_{y\varphi} \dot{\varphi} - c_y y - c_{y\varphi} \varphi + \sum_{i=1}^n m_i \varepsilon_i (\dot{\varphi}_i^2 \sin \varphi_i - \ddot{\varphi}_i \cos \varphi_i) - F_{уд} \right], \\ \ddot{\varphi} &= \frac{1}{J} \left[ -k_{x\varphi} \dot{x} - k_{y\varphi} \dot{y} - k_\varphi \dot{\varphi} - c_{x\varphi} x - c_{y\varphi} y - c_\varphi \varphi + \right. \\ &\quad \left. + \sum_{i=1}^n m_i \varepsilon_i r_i [\dot{\varphi}_i^2 \sin(\varphi_i - \delta_i - \varphi) - \ddot{\varphi}_i \cos(\varphi_i - \delta_i - \varphi)] + M_{уд} \right], \\ \ddot{\varphi}_i &= \frac{1}{J_i} I_i [L_i(\dot{\varphi}_i) - R_i(\dot{\varphi}_i)] + \frac{m_i \varepsilon_i}{J_i} (\ddot{x} \sin \varphi_i - \ddot{y} \cos \varphi_i - \\ &\quad - g \cos \varphi_i - r_i \ddot{\varphi} \cos(\varphi_i - \delta_i - \varphi) - r_i \dot{\varphi}^2 \sin(\varphi_i - \delta_i - \varphi)), \quad (i = 1, \dots, n). \end{aligned} \quad (4.13)$$

де  $n$  – кількість віброзбуджувальних механізмів, на вібраційному сепараторі;

$I_i$  – індекс, що характеризує напрям переміщення зерна;

$g$  – прискорення вільного падіння;

$d_i$  – кути, встановлення дебалансних механізмів;

$F_{уд}$  і  $M_{уд}$  – сили і моменти ударної дії, що прикладаються до центру мас коливної поверхні. Вигляд ударного імпульсу сили приймаємо прямокутним (П - подібним). Отже величина прикладеного ударного зусилля стала, впродовж всієї взаємодії, і розраховується:

$$F_{уд} = \frac{m\sqrt{2gh}}{\tau} , \quad (4.14)$$

де  $\tau$  - час удару;

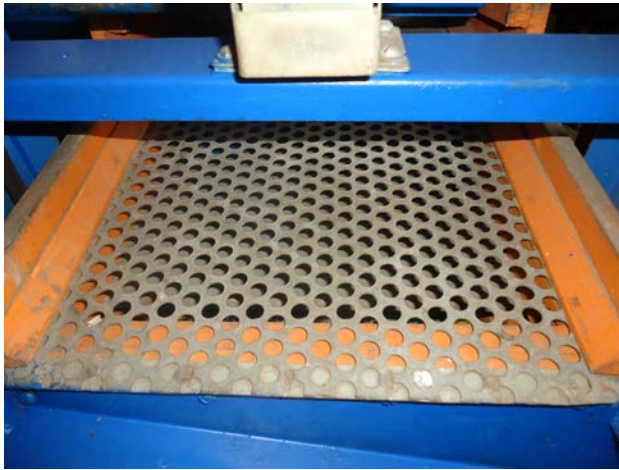
$m$  - маса підкинутої зернового вороху;

$h$  - висота підкидання.



Рисунок 4.5 - Зовнішній вигляд лабораторної установки

У розділі вказемо результати експериментальних досліджень динамічних навантажень моделі вібраційного сепаратора, що є одномасовим вібратором ВТМ. За своїми габаритних лабораторна установка у 5 разів менша діючого прототипу (рис.4.5).



Приводиться в дію лабораторна установка з допомогою одного дебалансного вібратора, що приводиться в дію з допомогою асинхронного електродвигуна потужністю 150 Вт, під'єднаного до рами вібростенду.

У роботі наведені графіки пускового і післяударного процесу, що відбуваються на вібраційному стенді (рис.4.6).

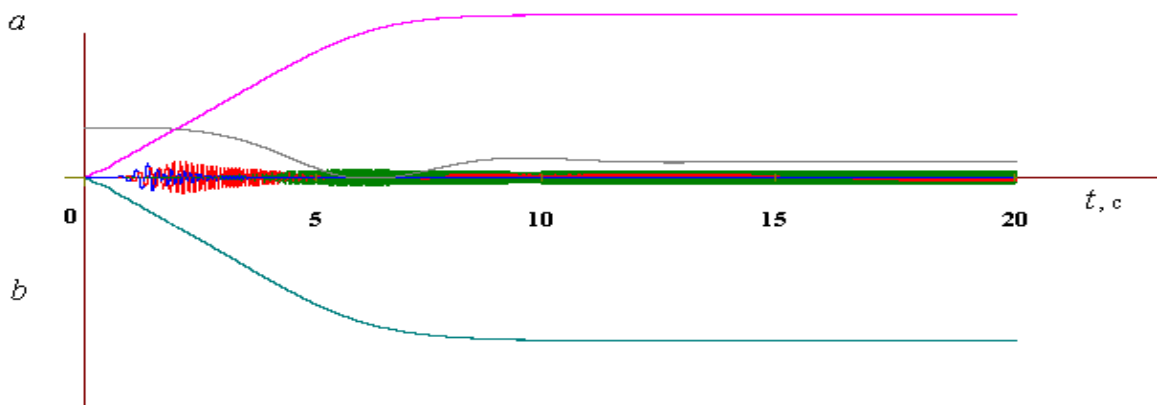


Рисунок 4.6 - Динаміка перехідних процесів (а), струми статора і ротора (b) двигуна вібраційного стенду

Точність побудованої моделі підкреслює постійність напрямку збудюючого зусилля, воно не залежить від початкових положень дебалансів і місцезнаходження матеріалу, що піддається сепарації.

Даний результат з високою достовірністю ( $\pm 0,1^\circ$ ) співпадає з результатами отриманими в процесі проведення експериментальних досліджень.

## Висновки

1. Перспективним шляхом цих досліджень є вдосконалення процесу грохочення з застосуванням матеріалів з різною шорсткістю поверхні, що сприяє більш ефективній передачі інерційних сил від робочої поверхні решета до робочого матеріалу.

2. Із збільшенням частоти коливань і амплітуди коливань решіт, відрив матеріалу і швидкість перемішування збільшується, а також її проходження до бункера по ситі знижує кількість і масу матеріалу на ситі.

3. Зернова маса набирає оптимальної швидкості руху по решетах, при їх частоті коливань  $f = 15 \dots 25 \text{ c}^{-1}$ .

4. При збільшенні амплітудно-частотних коливань робочої поверхні сепаратора, сили опору переміщенню зернового матеріалу мінімізуються.

5. Змінюючи кут нахилу коливної поверхні до горизонту з  $\alpha = 2^\circ$  до  $35^\circ$  отримали результати: збільшуючи кута нахилу коливної поверхні з  $13^\circ$  до  $35^\circ$ , протікання процесу сепарації набуває більш плавного характеру ніж при  $2^\circ$  до  $12^\circ$ .

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1. Техніка безпеки при роботі з грохотом

а) До роботи з грохотом можуть бути допущені лише особи, що витримали випробування в об'ємі технімуму, з техніки безпеки і що пройшли інструктаж.

б) Для уникнення порушення правил техніки безпеки необхідно:

- забезпечити в приміщенні для грохоту належну загальну вентиляцію і відсмоктування пилу (якщо грохот встановлений в приміщенні);

- очищати сітку дерев'яними шуровочними пристосуваннями і дерев'яними молотками лише після зупинки грохоту;

- заземлити раму сталевим дротом діаметром не менше 5 мм, приваривши один кінець дроту до рами, а іншою під'єднавши до заземлюючого контура цеху;

- заземлити електродвигун за допомогою заземлюючої жили силового кабелю;

- змащувати підшипники лише під час повної зупинки грохоту;

- вести постійний контроль за грохотом.

в) Забороняється:

- виконувати які б то не було роботи на грохоті, піднятому на стробах;

- включати грохот без обгородження;

- регулювати, змащувати або ремонтувати грохот на ходу;

- включати електродвигун грохоту без заземлення і при несправних електропускових пристроях;

- встановлювати на рухомих частинах грохоту додаткові деталі або складальні одиниці, завантажувальні або розвантажувальні лотки, кожухи, оскільки це може привести до небажаної зміни режиму роботи грохоту - зменшенню амплітуди коливань, поломкам;

- подавати матеріал на грохот з висоти більше 0,5 м, оскільки це збільшить інтенсивність зносу сит і деталей грохоту;



- допускати висипання матеріалу через борти короба - це може викликати заштабовку зазорів між рухомими частинами і нерухомими конструкціями;

- залишати працюючий грохіт без нагляду.

г) живильні і приймальні пристрої повинні задовольняти наступним вимогам:

- живильні пристрої, що підводять матеріал, повинні рівномірно розподіляти його по всій ширині короба і подавати на грохіт по ходу руху;

- завантаження грохоту повинне здійснюватися через рівномірні проміжки часу так, щоб матеріал, що подається, не скупчувався в завантажувальній частині короба;

- конструкція завантажувального пристрою повинна унеможливити утворення затору що подається на сито - грохотом матеріалу;

- завантажувальні пристрої мають блокуватися з пусковим пристроєм грохоту так, щоб при включенні першим включався грохіт, а при виключенні першим вимикався завантажувальний пристрій.

## **5.2. Заходи щодо охорони довкілля**

Основними забрудниками довкілля при роботі грохоту є: шум, вібрації і пил.

Важливою проблемою сучасного виробництва є захист довкілля від викидів пилу в атмосферу. Висока концентрація пилу у викидах завдає величезної шкоди природному середовищу, наводить до безповоротної втрати великої кількості сировини і готового продукту. Виробничий пил – це найдрібніші тверді частки, що виділяються при дробленні, помолі і механічній обробці зерна.

Приміщення, де встановлений грохіт повинно забезпечуватися пиловловлюючими апаратами, дозволяючими запобігти забрудненню довкілля.

Механічні коливання машин приводять до коливань повітряного середовища, яке є причиною шумів. Сильний і тривалий шум негативно впливає на стан здоров'я.

Понизити рівень шуму до норм, що гранично допускаються, можна такими технологічними і конструктивними рішеннями, які дозволяють ослабити шум в джерелі його виникнення. Крім того, слід використовувати конструктивні заходи з звукопоглинання виникаючого шуму або ізолювати саме джерело шуму. Нерідко всі ці рішення застосовують у поєднанні.

Ослаблення шуму в джерелах його виникнення можна досягти різними конструктивними заходами. До них відносяться наступні: заміна ударних дій неударними, демпфування співударних металевих частин пружними матеріалами.

Одним з шляхів зниження рівня шуму є звукоізоляція механізмів машини або в цілому машини за допомогою кожухів. Їх виготовляють із сталевих листів з внутрішнього облицювання з повсті, пінопропилену або шловати. Вживання кожухів знижує шум до 3 дБ.

Шум можна понизити, якщо грохот розмістити на території підприємства з підвітряного боку у відношенні до інших будівель.

Коливання машин з частотою до 15 – 18 Гц сприймаються організмом людини ізолювано одне від іншого і відчуваються, як поштовхи або струс. Ці відчуття викликають нервові збудження. Інтенсивність поштовхів і струсів можна зменшити установкою амортизаторів.

Коливання з більшою частотою (понад 18 Гц) і невеликою амплітудою сприймаються злито і відчуваються як вібрація. В результаті тривалої вібрації виникає вібраційна хвороба.

Зменшувати вібрацію і шум грохоту в джерелі їх формування можна наступними заходами: виключенням в конструкції ударної взаємодії деталей, виключенням резонансного явища, вживанням мінімальних допусків в зчленуваннях деталей, використання полімерних сит.

### **5.3. Вимоги безпеки до виробничих процесів**

5.3.1. Безпека процесів, пов'язаних з виробництвом продукції, повинна відповідати вимогам державних стандартів, технологічної та експлуатаційної документації, інструкцій з вимог безпеки до технологічних процесів.

5.3.2. Мікроклімат виробничого середовища не повинен чинити несприятливого впливу на працівників. У виробничих та допоміжних приміщеннях мікроклімат повинен відповідати ВНТП-СГіП-46-1.94. У виробничих приміщеннях, де неможливо встановити допустимі нормативні показники мікроклімату через технологічні вимоги до виробничого процесу, повинен бути забезпечений колективний або індивідуальний захист працівників.

5.3.3. Санітарно-гігієнічні параметри умов праці на робочих місцях повинні відповідати Державним санітарним нормам виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку, затвердженим постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.99 за N 37 (va037282-99) (ДСН 3.3.6.037-99), Державним санітарним нормам виробничої загальної та локальної вібрації, затвердженим постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.99 за N 39 (va039282-99) (ДСН 3.3.6.039-99), та СНиП II-4-79.

5.3.4. Небезпечні місця та зони на комплексах необхідно позначати попереджувальними знаками згідно з ГОСТ 12.4.026-71. Знаки безпеки повинні бути розміщені на видному місці.

5.3.5. Сигнальні пристрої, які попереджують про небезпеку, розміщують таким чином, щоб сигнали були помітними або добре прослуховувались під час виконання виробничого процесу.

5.3.6. Над стійлами агресивних тварин слід вивішувати попереджувальні знаки відповідно до ГОСТ 12.4.026-71 з пояснювальним написом типу "Обережно! Корова б'ється" тощо.

5.3.7. Поводження з тваринами має бути спокійним, упевненим, але не грубим.

5.3.8. Працівники, які мають незначні рани, садна, захворювання шкіри допускаються до роботи лише з дозволу медичного працівника і за умови виконання ними необхідних захисних заходів.

#### **5.4. Вимоги до приготування та сортування зернових матеріалів**

5.4.1. Дробарки, вальцеві верстати, жорна та інші подрібнювачі встановлюються на фундаментах відповідно до експлуатаційної документації на обладнання. При використанні цих машин у складі комплекту обладнання їхнє місце і спосіб установки визначаються проектом.

5.4.2. Під час підготовки до роботи подрібнювачів необхідно перевірити балансування робочого органу, справність і надійність кріплення кришки дробильної камери, наявність захисних огорожень на передачах та рухомих частинах машин.

5.4.3. Під час підготовки до роботи живильників та подрібнювачів слід перевірити кріплення болтових з'єднань, натягнення ременів і ланцюгів. Рухомі та нерухомі ножі подрібнювачів повинні бути закріплені болтами з контргайками, а зазори між ними - відповідати значенням, вказаним у паспорті машини.

5.4.4. Перед пуском подрібнювача потрібно впевнитися у відсутності сторонніх предметів усередині нього і на живильниках.

5.4.5. Подача продуктів у подрібнювач здійснюється тільки після виходу його ротора у робочий режим.

Продукт необхідно подавати в машину рівномірно, використовуючи для цього спеціальні дерев'яні прошовувачі з ручкою довжиною не менше 1 м.

5.4.6. Очищати від забивання робочі органи потрібно тільки при виключеному і повністю зупиненому обладнанні з ужиттям заходів, які запобігають його випадковому пуску (знімання приводних пасів, відключення муфти, навішування на пусковий пристрій попереджувальної таблички "Не вмикати!" тощо).

5.4.7. Робочі місця та приміщення, де встановлені подрібнювачі, необхідно щоденно прибирати від пилу і бруду.

## **5.5. Розрахунок захисного заземлення**

Металеві неструмоведучі частини електрообладнання і електроустановок при порушенні ізоляції між ними і їхніми струмоведучими частинами можуть опинитись під напругою. У таких аварійних умовах дотик до неструмоведучих частин установок рівнозначний дотику до струмоведучих частин.

Усунення небезпеки ураження електричним струмом при такому переході напруги на неструмоведучі частини електроустановок у мережах з ізольованого нейтраллю здійснюється за допомогою захисного заземлення.

При зміні заземлюючих пристроїв, що вийшли з ладу, а також при їх проектуванні разом з розробкою проектів реконструкції ремонтних майстерень, кормоцехів, пунктів технічного обслуговування сільськогосподарської техніки та в інших випадках інженер-енергетик повинен бути досконало обізнаний як з методикою розрахунку заземлюючих пристроїв, так і тими питаннями, що стосуються замовлення і придбання необхідних для цього матеріалів.

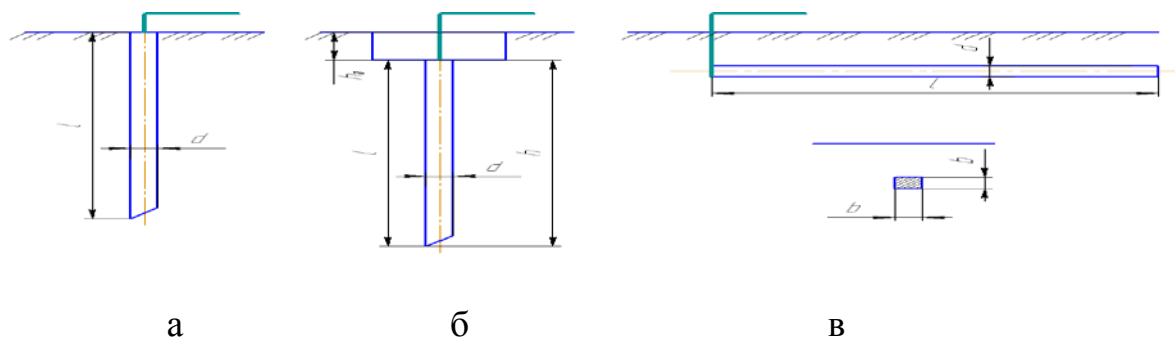


Рисунок 5.1 - Схеми одиночних заземлювачів: а – трубчастий заземлювач біля поверхні ґрунту; б – трубчастий заземлювач в ґрунті; в – заземлювач із металевого квадрату в ґрунті

Основним параметром, що характеризує заземлюючий пристрій, є його опір розтіканню струму, який залежить від опору землі. Опір розтіканню штучних заземлювачів залежить від ґрунту, в якому вони прокладені, їх довжини, глибини закладання, форми і ступеня прилягання заземлювача до землі. Наявність у ґрунті солей і кислот знижує опір розтікання. При промерзанні і висиханні ґрунту такий опір зростає.

Опір розтіканню струму для стержня, заглибленого на певну глибину від поверхні ґрунту, визначаємо за формулою:

$$R_o = 0,036 \frac{\rho}{l} \cdot \left[ \lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4h-l}{4h-1} \right], \quad (5.1)$$

$$R_o = 0,036 \frac{140}{150} \cdot \left[ \lg \frac{2 \cdot 150}{4} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 100 - 150}{4 \cdot 100 - 150} \right] = 0,60892 \text{ Ом}$$

де  $h$  - відстань від поверхні землі до середини заземлювача, см.

Складний заземлювач (див. рис. 5.2) має певну кількість електродів (стержнів) і одну штабу. Необхідну кількість вертикально розміщених заземлювачів (стержнів) визначають за формулою:

$$n = \frac{R_o}{R_o \cdot \eta_c}, \quad (5.2)$$

$$n = \frac{0,60892}{4 \cdot 0,5} = 0,188498,$$

Так як  $n - 0,188498 < 1$ , то в даному розрахунку приймаємо один електрод (стержень), якого буде достатньо для створення опору захисного заземлення в даному приміщенні.

## Висновок

Проведено і визначено причини появи травматизму, який виникає у раз недотримання людиною правил і вимог техніки безпеки. На основі цього розроблено карту технологічних операцій для переробки зернового матеріалу, а також подано до кожної операції травмонебезпечні та аварійні ситуації, що виникають під час виробничого процесу.

Подано вимоги щодо виробничого обладнання та засобів механізації для подрібнення матеріалу.

Розроблено для працівників інструкцію з охорони праці під час роботи на механізованих комбінатах.

Проведено розрахунки:

- Захисного заземлення дробарки;
- Віконних отворів і подано схему їх розміщення;
- Необхідної кількості світильників та схему їх розташування у приміщенні;
- Необхідний повітрообмін і систему вентиляції, зображено схему вентиляції.

## **6. ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ**

### **6.1. Економічна ефективність і область застосування сепарувальної машини**

Як зазначалося у 1 розділі для отримання різних фракцій зерна застосовують різноманітні сепарувальні машини, які відрізняються між собою можливостями використання, конструктивно – технологічними ознаками, техніко-економічними показниками тощо. В сучасних умовах актуального значення набуває розробка енергозберігаючих машин та технологій.

Зараз у період реформування сільського господарства в Україні перед виробниками стоїть задача випуску обладнання для середніх спеціалізованих підприємств. Які потребують універсальних машин, що поєднують у собі декілька технологічних операцій і мають порівняно невеликі габаритні розміри.

### **6.2. Показники порівняльної економічної ефективності**

Економіка процесу подрібнення матеріалів визначається багатьма чинниками: технологічними характеристиками машини, способами подрібнення, вартістю обладнання, витратами на обслуговування, стану робочих органів машини тощо.

Для визначення очікуваної економічної ефективності використовувалась порівняльна характеристика середньої витрати потужності на сепарування в грохоті (див. табл. 6.1).

### **6.3. Економічні показники**

Завдання і мета, які ставляться перед розрахунком ефективності є визначення реалізаційної ціни продукції, величини прибутку та строку окупності додаткових капіталовкладень. Для цього розраховуємо показники, які характеризують ефективність запропонованого механізму.

Вихідні дані (станом на 1.01.2024 р) для розрахунків економічної ефективності нашого грохота наведені в таблиці 6.1. де враховані тільки показники, що відносяться до технологічного процесу і впливають на економічний ефект.



Таблиця 6.1 - Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності спеціалізованої техніки.

Показники	Позначення	Агрегат	
		базов	нова
1	2	3	4
Продуктивність агрегату за годину часу/т	$W_2$	37,8	39
Балансова вартість т.грн; - сепаратора.	$B_T$	250	255
Річне завантаження, год: - сепаратора.	$T_T$	1400	1400
Чисельність виробничого персоналу, чол.: - основного.	$L_{осн.}$	3	3
Коефіцієнт, що враховує доплати: - основного персоналу.	$K_{осн}$	1,1	1,1
Годинні тарифні ставки, грн/люд.год.: - основного персоналу,	$\Gamma_{осн}$	15	15
Коефіцієнт відрахувань на реновацію: - сепаратора.	$Q_{р.т.}$	12,5	12,5
Коефіцієнт відрахувань на потоковий ремонт і технічне обслуговування: - сепаратора.	$Y_{п.т.}$	22	22
Коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт: - сепаратора.	$Y_{к.т.}$	6	6
Витрата паливо-мастильних матеріалів, кВт/год.	$G$	200	200
Ціна 1 кВт енергії грн.	$\mathcal{C}$	0,37	0,37
Нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.	$E$	0,15	
Коефіцієнт гарантії споживачу економічного ефекту.	$\tilde{O}$	0,8	
Коефіцієнт переведення оптової ціни в	$\ddot{Y}$	1,1	

балансову.		
------------	--	--

Продуктивність дробарки визначають за формулою:

$$Q = K_1 \cdot \gamma \cdot D^2 \cdot L \cdot n, \quad (6.1)$$

де  $K_1$  - емпіричний коефіцієнт, який залежить від типу і розмірів отворів поверхні, фізико-механічних властивостей матеріалу;

$\gamma$  - об'ємна маса подрібнювального продукту, кг/м<sup>3</sup>;

$D^2$  - діаметр ротора сепаратора, м;

$L$  - довжина полотна сепаратора, м;

$n$  - частота обертання вібратора, рад/с.

$$W_{зм} = 8Q = 312 \text{ т/зм.}$$

Річний економічний ефект від експлуатації нової машини ( $E_p$ ) у грн. визначаємо за формулою:

$$E_p = (\Pi_б - \Pi_n + E') W_2 T_p. \quad (6.2)$$

де  $\Pi_б$ ,  $\Pi_n$  - зведені затрати на одиницю напрацювання для базової та нової машини, грн/од.напр.

$E'$  - економічний ефект від змін витрати основних матеріалів і якості продукції, що отримується під час експлуатації нової машини, од. напр/рік.

$$E_p = (54,05 - 47,65) 9 * 1400 = 80640 \text{ грн.} \quad (6.3)$$

Економічний ефект від виробництва і використання за строк експлуатації нової машини ( $E_{ec}$ ) у грн.:

$$E_{ec} = E_p (Q_u + E), \quad (6.4)$$

де  $Q_u$  - коефіцієнт відрахувань на реновацію нової машини;

$E$  - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

$$E_{ec} = 80640 / (0,125 + 0,15) = 293236 \text{ грн.}$$

Лімітна ціна нової машини ( $Ц_l$ ) у гривнях:

$$Ц_l = Ц_{в.м.} * \tilde{O}, \quad (6.5)$$

де  $Ц_{в.м.}$  - верхня межа нової машини, грн;

$\tilde{O}$  - коефіцієнт гарантії споживачу ефекту використання нової машини.

$$Ц_{в.м.} = [ E_p / (Q_u + E) + B_m ] (1/\dot{Y}), \quad (6.6)$$

де  $\dot{Y}$  – коефіцієнт переведення оптової ціни в балансову;

$B_m$  – балансова ціна нової машини, грн.

$$Ц_{в.м.} = [80640 / (0,125 + 0,15) + 255000] (1/1,1) = 498397 \text{ грн.}$$

Річна економія праці під час експлуатації нової машини в людино-годинах визначають за формулою:

$$Z_p = (Z_{лб} - Z_{лн}) T_m. \quad (6.7)$$

де  $Z_{лб}$ ,  $Z_{лн}$  – затрати праці на одиницю напрацювання базової і нової машин, люд.-год./т.

$$Z_p = (0,38 - 0,33) 1400 = 70 \text{ люд.год.}$$

Зведені затрати на одиницю напрацювання ( $\Pi$ ) у гривнях визначаємо за формулою:

$$\Pi = U + KE, \quad (6.8)$$

де  $U$  – прямі експлуатаційні затрати на одиницю напрацювань, грн/т.

$$\Pi_{б} = 52,80 + 1,1 * 0,15 = 54,05 \text{ грн/т;}$$

$$\Pi_{н} = 46,4 + 1,1 * 0,15 = 47,65 \text{ грн/т.}$$

Прямі експлуатаційні затрати рівні:

$$U = Z + \Gamma + P + A + Z_3 + K, \quad (6.9)$$

де  $Z$  – затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу, грн/т,

$\Gamma$  – затрати на паливо-мастильні матеріали, грн/т,

$P$  – затрати на технічне обслуговування, потоковий і капітальний ремонт, грн/т,

$A$  – затрати на ренувацію, грн/т,

$Z_3$  – затрати на зберігання, грн/т.

$$U_{б} = 6,35 + 9,47 + 11,22 + 2,86 + 0,0083 + 22,89 = 52,80 \text{ грн/т,}$$

$$U_{н} = 5,5 + 8,2 + 9,92 + 2,53 + 0,0072 + 20,24 = 46,4 \text{ грн/т.}$$

Затрати на оплату праці обслуговуючого персоналу становлять:

$$З = (1/W_{зм}) \sum * L_i \tau_i * K_{jd}, \quad (6.10)$$

де  $W_{зм}$  – продуктивність машини за одну годину змінного часу, т/год.;

$L_i$  – чисельність виробничого персоналу, чол.;

$\tau_i$  – годинна тарифна ставка оплати праці обслуговуючого персоналу, грн/т.

$K_{jd}$  – коефіцієнт доплати.

$$З_{\delta} = (1/7,8) 3 * 15 * 1,1 = 6,35 \text{ грн/т,}$$

$$З_u = (1/9) 3 * 15 * 1,1 = 5,5 \text{ грн/т.}$$

Затрати на електроенергію:

$$F = g * Ц, \quad (6.11)$$

де  $g$  – витрата електроенергії, кг/од.напрацюв. ( $g_{\delta}=25,6$  кВт/т,  $g_n=22,2$  кВт/т)  $Ц$  – ціна 1 кВт в грн.

$$Г_{\delta} = 25,6 * 3,7 = 94,7 \text{ грн/т,}$$

$$Г_n = 22,2 * 3,7 = 82 \text{ грн/т.}$$

Затрати на технічне обслуговування, потоковий і капітальний ремонт за нормативами відрахувань від балансової ціни машини:

$$P = B_m (Y_m + Y_k) / W_{зм} * T_p. \quad (6.12)$$

де  $B_m$  – балансова вартість машини, грн.;

$Y_m$  – коефіцієнт відрахувань на потоковий ремонт і технічне обслуговування машини;

$Y_k$  – коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт;

$T_p$  – річне завантаження машин, год.

$$P_{\delta} = 250000 (0,22 + 0,27) / 7,8 * 1400 = 11,22 \text{ грн/т;}$$

$$P_n = 255000 (0,22 + 0,27) / 9 * 1400 = 9,92 \text{ грн/т.}$$

Затрати на реновацію машин:  $A = v * q / W_{зм} * T_p$ ;

де  $q$  – коефіцієнт відрахувань на реновацію машини:

$$A_{\sigma} = 250000 * 0,125 / 7,8 * 1400 = 2,86 \text{ грн/т,}$$

$$A_{\mu} = 255000 * 0,125 / 9 * 1400 = 2,53 \text{ грн/т.}$$

Затрати на зберігання:

$$Z_z = Z_{z\sigma} / W_{zm}, \quad (6.13)$$

де  $Z_{z\sigma}$  – затрати на зберігання машини, що припадають на 1 год. експлуатаційного часу, грн/год.

$$Z_{z\sigma} = 0,065 / 7,8 = 0,0083 \text{ грн/т,}$$

$$Z_{z\mu} = 0,065 / 9 = 0,0072 \text{ грн/т.}$$

Капітальні вкладення  $K$  на 1 напрацювання становлять:

$$K = B_m / W_{zm} * T_p, \quad (6.14)$$

$$K_{\sigma} = 250000 / 7,8 * 1400 = 22,89 \text{ грн/т;}$$

$$K_{\mu} = 255000 / 9 * 1400 = 20,24 \text{ грн/т.}$$

Затрати праці ( $Z_l$ ) в людино-годинах на 1 напрацювання під час виконання машиною або робітниками робочого процесу:

$$Z_l = L / W_{zm}, \quad (6.15)$$

де  $L$  – чисельність виробничого персоналу, чол.

$$Z_{l.\sigma} = 3 / 7,8 = 0,38 \text{ люд.год/т;}$$

$$Z_{l.\mu} = 3 / 9 = 0,33 \text{ люд.год/т.}$$

Річна економія затрат праці:

$$Z = (Z_{l.\sigma} - Z_{l.\mu}) * T_m; \quad (6.16)$$

$$Z = (0,38 - 0,33) * 1400 = 70 \text{ люд.год.}$$

Таблиця 6.2 - Економічна ефективність використання нового грохота

Показники	Машина	
	Базова	Нова
1	2	3
Річне напрацювання, год	1400	1400
Прямі затрати на:		
• оплати праці, грн/т	6,35	5,5
• паливо-мастильні матеріали, грн/ т	9,47	8,2
• технічне обслуговування і ремонт, грн./т	11,22	9,92
• реновація, грн/ т	2,86	2,53
Інші прямі затрати, грн/ т	22,89	20,24
Всього прямих затрат, грн/ т	52,80	46,4
Економічний ефект від зміни кількості та якості продукції, грн/т	-	-
Річний економічний ефект від експлуатації нової машини, грн	-	80640
Економічний ефект від виробництва і використання за строк служби нової машини, грн	-	293236
Верхня межа машини, грн	-	498397
Лімітна ціна машини, грн	-	398717
Річна економія затрат праці, люд.год.	-	70

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В роботі встановлені залежності технологічних показників сепарування зернової маси різної вологості від режимних та конструктивних параметрів віброгροхотів, обґрунтованні на цій основі їх раціональні параметри.

Основні наукові результати, висновки та рекомендації:

1. Аналіз виконаних досліджень з вібраційного грохочення зернової маси підвищеної вологості виявив недостатнє вивчення впливу різних параметрів сепараторів на підвищення показників сепарації, а в модельних зображеннях роботи грохота не врахована можливість впливу всіх його регульованих параметрів на показники процесу, які під час підвищення вологості зернової маси до 20 % знижуються на 25-30 %, що створює труднощі при переробці і порушує її технологічний цикл.

2. Установлено, що підвищення до 30 % показників віброгροхочення зернової маси вологістю до 20 % досягається зміною таких параметрів сепаратора, як кут нахилу, розмір вічок і довжини решіт, частоти коливань, питомого навантаження та амплітуди коливань решіт.

3. З збільшенням вологості матеріалу процес просіювання ускладнюється. Просіювання деяких нерудних матеріалів, практично неможливий при їхній вологості більше 6 %, тому що волога в основному подана поверхневими плівками, в той самий час галька просіюється навіть при вологості до 45 %.

4. Максимальний розмір зерен, що проходять через круглий отвір складає в середньому біля (80...85)% від розміру зерен, що проходять через квадратний перетин того ж розміру.

5. На практиці приймають, що для отримання матеріалу такої ж крупності, як і при круглих отворах, ширина прямокутних отворів повинна складати (65...70) % діаметра круглого отвору.

6. Зернова маса набирає оптимальної швидкості руху по решетах, при їх частоті коливань  $f = 15 \dots 25 \text{ c}^{-1}$ .

7. При збільшенні амплітудно-частотних коливань робочої поверхні сепаратора, сили опору переміщенню зернового матеріалу мінімізуються.

8. Змінюючи кут нахилу коливної поверхні до горизонту з  $\alpha = 2^\circ$  до  $35^\circ$  отримали результати: збільшуючи кута нахилу коливної поверхні з  $13^\circ$  до  $35^\circ$ , протікання процесу сепарації набуває більш плавного характеру ніж при  $2^\circ$  до  $12^\circ$

9. Очікуваний ефект на один грохот складе 80640 грн. за рік.



## БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

- 1 Приймачук Т. Ю. Розвиток галузі в Україні / Т. Ю. Приймачук, Т. А. Штанько, В. Б. Ковальов // Вісник аграрної науки. — 2017. — № 7. — С. 68-75.
- 2 Білявський Г. О., Падун М. М., Фурдуй Р. С. Основи загальної екології, вид. 2-ге. —Київ : 1995. — 368 с.
- 3 Винокуров Л. Е.; Васильчик М. В.; Гаман М. В. Основи охорони праці. - Київ : Вікторія. -2001. — 254 с.
- 4 Войтюк Д. Г., Гаврилюк Г. Р. та ін. Сільськогосподарські машини. — Київ : Урожай, 2004. — 448 с.
- 5 Гряник Г. М., Лехман С. Д., Бутко Д. А. Охорона праці. — Київ: Урожай, 1994. — 272 с.
- 6 Ільченко В. Ю., Карасьов П. І. та ін. Експлуатація машинно-тракторного парку в агрегатному виробництві. — Київ: Урожай, 1993. — 286 с.
- 7 Лехман С. Д. та ін. Довідник з охорони праці в сільському господарстві (запитання і відповіді). — Київ: Урожай, 1990. — 400 с.
- 8 Операційна технологія виробництва зернових культур. Довідник. / Сайко В. Ф., Сокоренко Н. В. і ін.; під ред. В. Ф. Сайко. — Київ: Урожай, 1991. — 160 с.
- 9 Сільськогосподарські машини. Практикум з розрахунку і досліджень робочих процесів. / Рибарук В. Я., Ріпка І. І. — Львів, ЛДАУ, 1998. — 264 с.
- 10.ДСТУ 3008 – 95. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. — Київ: Держстандарт України, 1995. —36 с.
- 11.Стандарт підприємства: дипломні і курсові проекти (роботи), загальні вимоги до оформлення /Укл.: В. М. Боярчук, С. М. Онисько, В. Т. Дмитрів.- Львів: ЛДАУ, 2003. — 28 с.
- 12.Каленська С.М., Таран В.Г., Данилів П.О. Особливості формування урожайності гібридів проса залежно від удобрення, густоти стояння рослин та погодних умов. Таврійський науковий вісник. 2018. № 101. С. 42-49. 30.
- 13.Каленська С. М., Таран В. Г., Данилів П. О. Розвиток кореневої системи проса на ранніх етапах розвитку. Науковий вісник НУБІП України. 2017. Вип.

269. Сер. Агрономія. С. 10-17.

14. Ківер В.Х., Галечко І.Д. Реакція гібридів проса на способи та строки внесення азотних добрив при різних рівнях мінерального живлення. Вісник аграрної науки. 1994. № 8. С. 18-21.

15. Крамарьов С., Красенков С., Пащенко Ю., Коцюбан А., Підгорна Л., Шевченко В., Ісаєнко В., Андрієнко А. Урожайність і якість зерна гібридів проса різних груп стиглості залежно від рівня мінерального живлення в північному Степу України. Вісник Львівського національного аграрного університету: Агрономія. 2009. №13. С. 306-320.

16. Крамарьов С.М., Красенков С.В., Пащенко Ю.М. Оптимізована система добрив гібридів проса різних груп стиглості і їх родинних форм в умовах степної зони України. Основи формування продуктивності сільськогосподарських культур за інтенсивних технологій вирощування : зб. наукових праць Уманського державного аграрного університету. Київ. 2008.

17. Лехман С.Д., Кубльов В.І., Рябцев Б.І. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві. Київ: Урожай, 1993. 270 с. 40.

18. Лихочвор В.В. Мінеральні добрива та їх застосування. Львів : Українські технології, 2008. 312 с.

19. Лихочвор В.В. Петриченко В.Ф., Іващук П.В. Зерновиробництво. Львів: НВФ «Українські технології», 2008. 624 с.

20. Лихочвор В.В. Петриченко В.Ф. Фізіологічна роль елементів живлення та системи удобрення польових культур. Підручник. 3-тє видання, перероблене. Львів: Растр-7, 2021. 288 с.

21. Лісовал А.П., Макаренко В.М., Кравченко С.М. Системи застосування добрив : підручник. Київ: Вища шк., 2002. 317 с.

22. Лісовал А.П. Методи агрохімічних досліджень. Київ: 2001. 246 с.

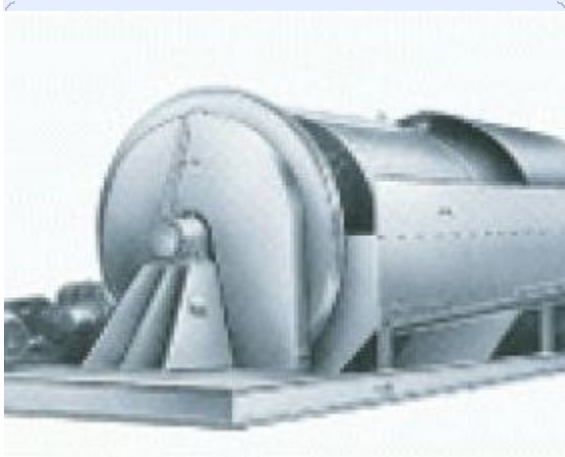
23. Лопушняк В.І., Шевчук М.Й., Полюхович М.М., Пархуць Б.І., Пархуць І.М. 555 запитань і відповідей з агрохімії та агрохімсервісу : навч.-довід. посіб. / за ред. В.І. Лопушняка. Львів : Простір М, 2018. 488 с.



Віброгрохоти вільних коливань



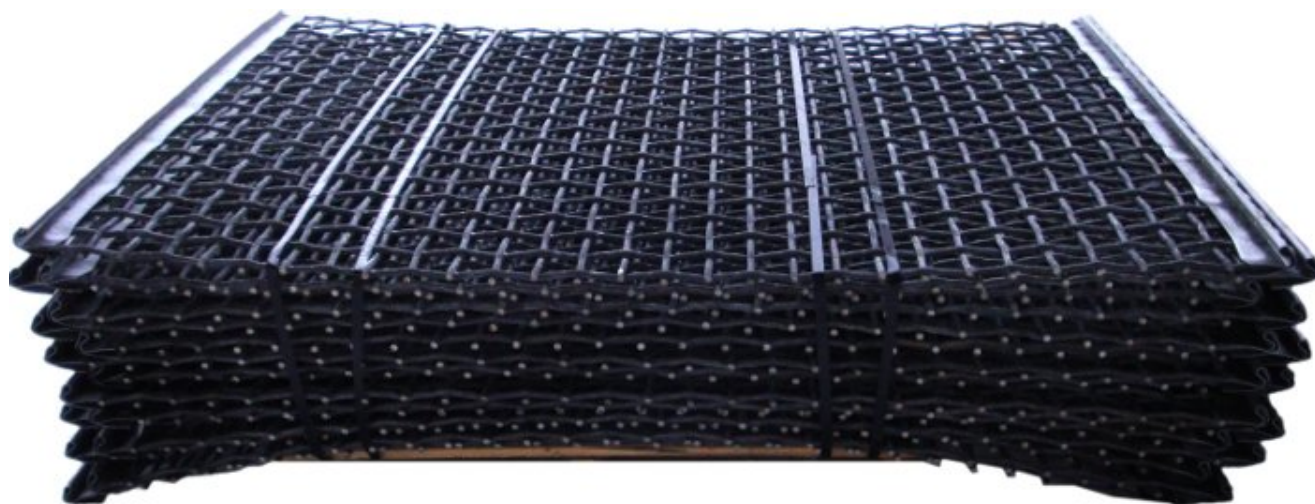
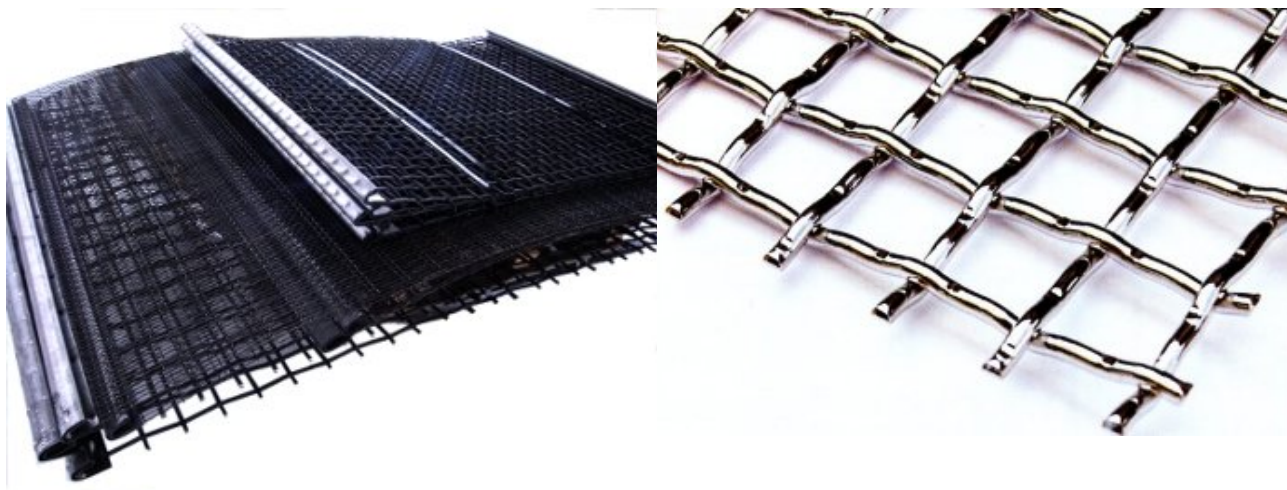
Віброгрохоти звязаних коливань



Ротаційний грохот



Дводисковий грохот



Сита вібраційних грохотів