

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет аграрних технологій та екології

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

на тему: «Дослідження процесу сепарації зернового матеріалу з модернізацією зерноочисної машини»

Виконав: студент 2 курсу, групи АІм-21
спеціальності 208 Агроінженерія
за освітньо-професійною програмою
«Агроінженерія»

Шимків Т.Ф.

(прізвище та ініціали)

Керівник Забродоцька Л.Ю.

(прізвище та ініціали)

Гарант ОП Хомич С.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Дударєв І.М.

(прізвище та ініціали)

Луцьк 2023

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет	<i>аграрних технологій та екології</i>
Кафедра	<i>аграрної інженерії ім. проф. Г.А.Хайліса</i>
Галузь знань	<i>20 Аграрні науки та продовольство</i>
Освітній ступінь	<i>магістр</i>
Спеціальність	<i>208 Агроінженерія</i>
Освітньо-професійна програма	<i>Агроінженерія</i>

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри аграрної інженерії
ім. проф. Г.А.Хайліса
доцент, к.т.н. _____ С.М. Хомич
«30» грудня 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ

Шимківу Тарасу Федоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження процесу сепарації зернового матеріалу з модернізацією зерноочисної машини

керівник роботи Забродоцька Людмила Юріївна, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом ЛНТУ від «30» грудня 2023 р. № 445/01-02

2. Термін здачі студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Титульний аркуш .
2. Завдання на роботу магістра.
3. Реферат.
4. Зміст.
5. Вступ.
6. Основну частину.
7. Загальні висновки.
8. Перелік джерел посилань.
9. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

	к-сть листів
1. Вихідні дані	1 лист
2. Теоретичні положення	1 лист
3. Апаратура та обладнання для експериментальних досліджень	1 лист
4. Результати експериментальних досліджень	1 лист
5. Планування та результати експерименту з використанням математичного методу планування	1 лист
6. Схема експериментальної установки чи досліджуваної машини (функціональна або принципова)	1 лист
7. Складальне креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	1 лист

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Юхимчук С..Ф., доцент		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою, формування завдань досліджень	15.06. – 01.07.2023 р.	
2	Обґрунтування конструкції і теоретичні дослідження	22.08 – 31.08.2023 р.	
3	Розробка схеми експериментальної установки чи досліджуваної машини	01.09 – 30.09.2023 р.	
4	Розробка програми і методики експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2023 р.	
5	Реалізація та обробка результатів експериментальних досліджень	01.10 – 15.10.2023 р.	
6	Експериментальні дослідження з використанням математичного методу планування	15.10 – 01.11.2023 р.	
7	Розробка креслення розроблюваного чи удосконаленого вузла	01.11 – 15.11.2023 р.	
8	Узагальнення результатів та оформлення пояснювальної записки	15.11 – 25.11.2023 р.	
9	Оформлення ілюстративного матеріалу для захисту магістерської роботи	15.11 – 25.11.2023 р.	
10	Нормоконтроль	до 09.12.2023 р.	
11	Представлення кваліфікаційної роботи на перевірку на плагіат	09.12.– 19.12.2023 р.	

Студент

_____ (підпис)

Шимків Т.Ф.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Забродоцька Л.Ю.

_____ (прізвище та ініціали)

Гарант ОПП

_____ (підпис)

Хомич С.М.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Шимків Т.Ф. Дослідження процесу сепарації зернового матеріалу з модернізацією зерноочисної машини. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Агроінженерія» спеціальності 208 Агроінженерія. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2024.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, чотирьох розділів, висновків і пропозицій, списку використаних джерел, додатків.

У кваліфікаційній роботі з метою інтенсифікації процесу сепарації зерна та насіння виявлено раціональну сукупність операцій та робочих елементів, що формують структуру зерноочисного агрегату для очищення зерна продовольчого призначення, яка включає повітряно-решітну зерноочисну машину. Розроблено математичну модель сепарації зернового матеріалу з урахуванням широкого варіювання вхідних параметрів матеріалу, що надходить на решета після попередньої очищення.

Ключові слова: зерновий ворох, сепарація, решето, рух, коливання, домішки.

ABSTRACT

T.F. Shymkiv Separation process study of grain material with the modernization of a grain cleaning machine. Manuscript.

Master's Degree Qualifying Research Paper in Programme Subject Area 0888 Inter-disciplinary programs and qualifications involving agriculture, forestry, fisheries, and veterinary under Agricultural Engineering Educational Program. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2024.

The master's qualification work includes an introduction, four sections, conclusions and proposals, a list of used sources, and appendices.

In the qualification work to intensify the grain and seed separation process, a rational set of operations and working elements was identified that form the structure of a grain cleaning unit for cleaning food grain, which includes an air-sieve grain cleaning machine. A mathematical model of grain material separation was developed, considering a wide variation in the input parameters of the material entering the sieve after preliminary cleaning.

Keywords: grain heap, separation, sieve, movement, oscillations, impurities.

ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ.....	2
РЕФЕРАТ.....	3
ВСТУП.....	6
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ, ФОРМУВАННЯ ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	9
1.1. Обґрунтування технології післязбиральної обробки зерна.....	9
1.2 Аналіз машин аналогів.....	10
Висновки до розділу.....	15
2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ.....	17
2.1 Структурно-параметрична модель очищення зерна та насіння на стаціонарних зерноочисних агрегатах.....	17
2.2 Інтенсифікація процесу сепарації зернового матеріалу на повітряно- решітних машинах зерноочисних агрегатах.....	19
2.3 Дослідження процесу руху зернівки по похилому сити.....	21
2.3 Опис запропонованої конструкції.....	22
Висновки до розділу.....	25
3 ПРОГРАМА, МЕТОДИКА І РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	26
3.1 Опис експериментальної установки та лабораторного обладнання.....	26
3.2 Методика визначення насипної щільності.....	28
3.3 Методика вивчення кута природного укусу.....	29
3.4 Методика визначення гранулометричного складу.....	30
3.5 Методика проведення процесу сушіння зерна гречки на експериментальній установці.....	31
4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	33
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	37
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	38
ДОДАТКИ.....	40

ВСТУП

Актуальність теми. Продовольча безпека країни нерозривно пов'язана з функціонуванням та розвитком агропромислового комплексу. Найзначніша та пріоритетна галузь сільського господарства – це виробництво зерна. Незважаючи на деякі позитивні зміни у функціонуванні агропромислового комплексу країни останніми роками, загальна ситуація в галузі продовжує залишатися складною. Незадовільний стан зернового господарства пояснюється відставанням технологічного та технічного рівня всього циклу робіт з виробництва зерна та насіння та, зокрема, їх післязбиральної обробки. В даний час продовжують використовуватися морально та фізично застарілі зерноочисні агрегати ЗАВ-20, ЗАВ-40 та ЗАВ-50. Тому проблема їхньої технологічної модернізації та технічного переобладнання є актуальною.

Ступінь розробленості теми дослідження. Очищення зерна та насіння в системі потокового технологічного процесу на зерноочисних агрегатах типу ЗАВ немає єдиної теоретичної бази, як і немає єдиної теорії системної сепарації гетерогенних сипучих середовищ, яких відносять зерновий матеріал. Це з різними фізико-механічними властивостями зернового матеріалу, які переважно описуються з допомогою різних ймовірнісних моделей приватних технологічних операцій сепарації сипучих середовищ.

Мета дослідження. Інтенсифікація процесу сепарації зернового матеріалу на стаціонарних зерноочисних агрегатах типу ЗАВ шляхом структурної модернізації та оптимізації параметрів роботи зерноочисних машин.

Завдання дослідження:

1. Провести структурний аналіз технологічних схем очищення зерна та насіння на стаціонарних зерноочисних агрегатах типу ЗАВ та обґрунтувати найбільш значні ланки технологічного ланцюжка.

2. Розробити математичну модель сепарації зернового матеріалу на повітряно-решітних машинах в умовах підвищеного навантаження та зміни параметрів матеріалу, що надходить на них після попереднього очищення.

3. Провести структурний синтез та обґрунтувати принципову схему модернізації зерноочисного агрегату з інтенсифікованою сепарацією зерна та насіння.

4. Провести експериментальні дослідження технології очищення зернового матеріалу в умовах стаціонарних зерноочисних агрегатів із застосуванням решіт, виготовлених з матеріалу.

Об'єкт дослідження. Поточний технологічний процес очищення зерна та насіння на стаціонарних зерноочисних агрегатах типу ЗАВ.

Предмет дослідження. Закономірності процесу сепарації зернового матеріалу на повітряно-решітних машинах в умовах підвищеного навантаження

Робоча гіпотеза. Інтенсифікувати процеси сепарації зерна та насіння на стаціонарних зерноочисних агрегатах можна шляхом зміни параметрів попереднього очищення зернового вороху та оптимізацією роботи наступних у технологічному ланцюжку повітряно-решітних зерноочисних машин.

Наукову новизну роботи становлять:

- математична модель сепарації багатокомпонентного зернового вороху при підвищеному навантаженні на решета зерноочисних машин;
- експериментальні дані щодо зміни травмованості зерна та насіння при використанні решіт з полімерних матеріалів;
- структурний синтез принципової схеми модернізованого зерноочисного агрегату типу ЗАВ.

Теоретична та практична значущість роботи: принципова схема модернізованого зерноочисного агрегату типу ЗАВ;

Методи дослідження. При виконанні теоретичних досліджень використовували структурний аналіз та синтез, математичного моделювання та класичної механіки, чисельні методи розв'язання систем диференціальних та алгебраїчних рівнянь, методи постановки та обробки результатів досліджень.

Експериментальні дослідження проводились за галузевими та розробленими методиками на стандартному обладнанні і приладах у лабораторних умовах. При проведенні експериментальних досліджень застосовувалися математичні методи

планування експерименту та їх обробка з використанням комп'ютерних технологій.

Розрахунки виконували із застосуванням наступних програмного забезпечення: “MATLAB 6.5”, “Microsoft Office Excel 2007”, Mathcad.

Наукова новизна одержаних результатів: виявлено раціональну сукупність операцій та робочих елементів, що формують раціональні структури зерноочисного агрегату для очищення зерна продовольчого призначення, що включає повітряно-решітну зерноочисну машину.

Апробація результатів роботи. Шимків Т. Післязбиральна обробка зерна: тези IV студентської науково-технічної конференції «Сучасні технології у агровиробництві та природокористуванні». Луцьк: Факультет аграрних технологій та екології, ЛНТУ. – 2024. С. 109–111.

Структура й обсяг роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 14 назв та 2 додатків. Основна частина викладена на 40 сторінках, містить 26 рисунків.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ

1.1 Обґрунтування технології післязбиральної обробки зерна

На основі аналізу наукових праць встановлено, що основою зерноочисних агрегатів та комплексів є решітні машини, робота яких вимагає обов'язкового очищення, вирішує від застряглих зерен. Існуючі щіткові очищувачі решіт характеризуються високою метало- та енергоємністю та низькою надійністю, а простої техніки через ремонт у дні збирання призводять до втрат зерна на струмах, що досягають 12 %. Застосування інерційних та кулькових очищувачів вирішує малоефективно через неможливість регулювання сили удару.

У ряді робіт зроблено спробу встановити кінематичні параметри плоских решіт, при яких відбувається очищення отворів решіт від зерен, що застрягли в них. Було встановлено, що оптимальні режими сепарації зерна та очищення отворів решіт від зерен, що застрягли, не збігаються. Проте досліджено режими роботи тільки плоско-пробивних решіт при горизонтальних та вертикальних збудження. Самоочищення решіт з циліндричними перемичками не вивчалася.

Таким чином, у післязбиральній обробці зерна склалася проблемна ситуація. У дні збирання врожаю надходять великі маси зернового матеріалу, які вимагають його очищення. Але існуюча зерноочисна техніка через високі динамічні навантаження, малу продуктивність і низьку надійність нездатна переробити обсяг зернового матеріалу, що надходить, що наводить до втрат зерна, зниження якості насіннєвого матеріалу.

Невирішені питання обумовлені тим, що режими сепарації зерна, умови заклинювання частинок в отворах решета та динаміка зерноочисних машин вивчено недостатньо. Застосування в системах сепаруючих кругових коливань решіт з циліндричними перемичками з умовою самоочищення отворів від часток, що застрягли, дозволить підвищити якість насіння і знизити динамічні навантаження.

Перш ніж перейти до викладу матеріалу про нові підходи до створення машин для очищення та калібрування зерна, необхідно зробити огляд та аналіз машин, що пропонуються ринком сьогодні.

1.2 Аналіз машин аналогів

Починаючи з 30-х років минулого століття, в основу пристрою зерноочищувальних машин закладено двох ярусний ситовий кузов, що складається з двох сит, розташованих один над одним: верхнє просівне сито, яке пропускає через великі отвори все зерно на нижнє сито (при цьому сміття набагато більше зерна сходить з верхнього сита), через нижнє (підсівне) проходить дрібний сміття, а зерно з якоюсь часткою сміття, що залишилося, з нього сходить. Змінювався принцип коливання ситових кузовів (кругові коливання: БСХ, БІС, «Shmidt-zeeger»; плоскопаралельні «Petkus», «Cimbria» та ін.), змінювалися пристрої з очищення сит від зерен і сміття, що застрягли в них (вдаряючі молоточки, щітки, кульки і т.д.), але принцип поділу зернової суміші на велике сміття, зерно і дрібне сміття при проході зернової маси через верхнє сито на нижнє не змінюється (рис. 1.1).

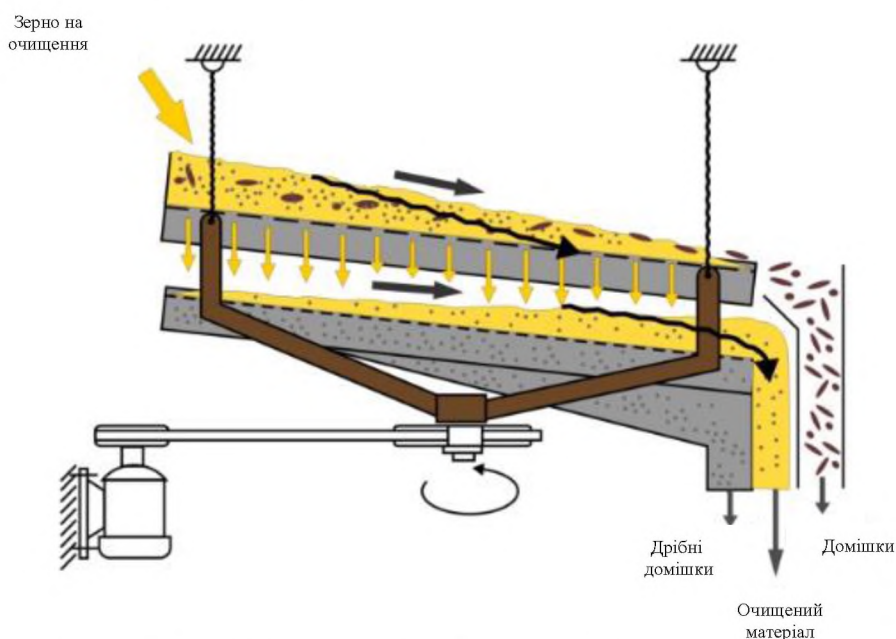


Рисунок 1.1 – Схема принципу роботи зерноочисних машин при плоскопаралельному русі зерна

Це можна пояснити як простотою такого пристрою для очищення зерна, так і інертністю, коли розробники опиняються в полоні прийнятої концепції. Ця інертність простежується у розробці машин сільського господарства, а й у більш інтелектуально ємних напрямках, зокрема у авіації.

На сьогоднішній день найбільша у світі за площею розсіву зерноочищувальна машина, побудована на принципі коливання плоскопаралельних кузовів «Shmidt-zeeger», з площею розсіву 48 м² і з шістьма ситовими кузовами, збудованими один над одним з дисбалансуючим приводом кругових коливань.

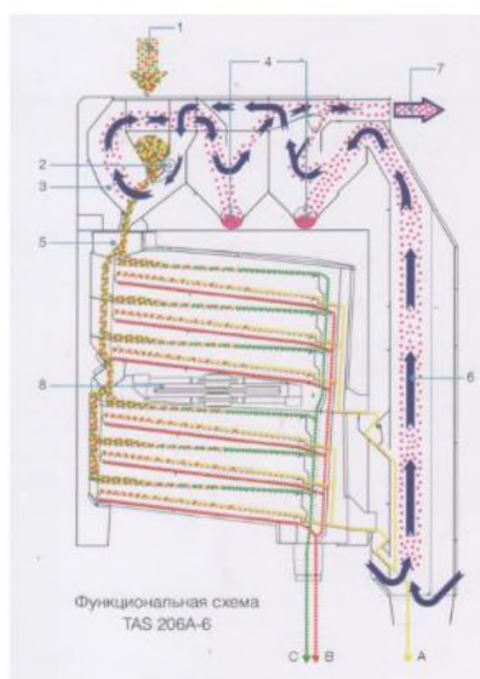


Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд та функціональна схема зерноочищувальної машини серії Schmidt-Seeger TAS™

Суть основного недоліку наступного. У другій половині розсівання дрібне сміття у складі зерна, що зсипається на підсівне сито з низькою проникністю, не встигає пройти через шар зерна до сита і сходиться із зерном (рис. 1.1).

Спробу створити зерноочищувальну машину, що видаляє зернову домішку, зробили розробники на ринок вийшла машина СВУ-60 (сепаратор вороха універсальний) (рис. 1.3) на чотири рівні потоки, проходить послідовно по трьох ситах з різними отворами. Функціональна схема очищення зерна при його русі

через відповідні сита наведена на малюнку 4. Але при цьому, розробникам машини, щоб не перемірювати загальну довжину розсіву, сита для проходу дрібного сміття, зернової домішки та зерна довелося робити відносно короткими.



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд сепаратора вороху універсального СВУ-60

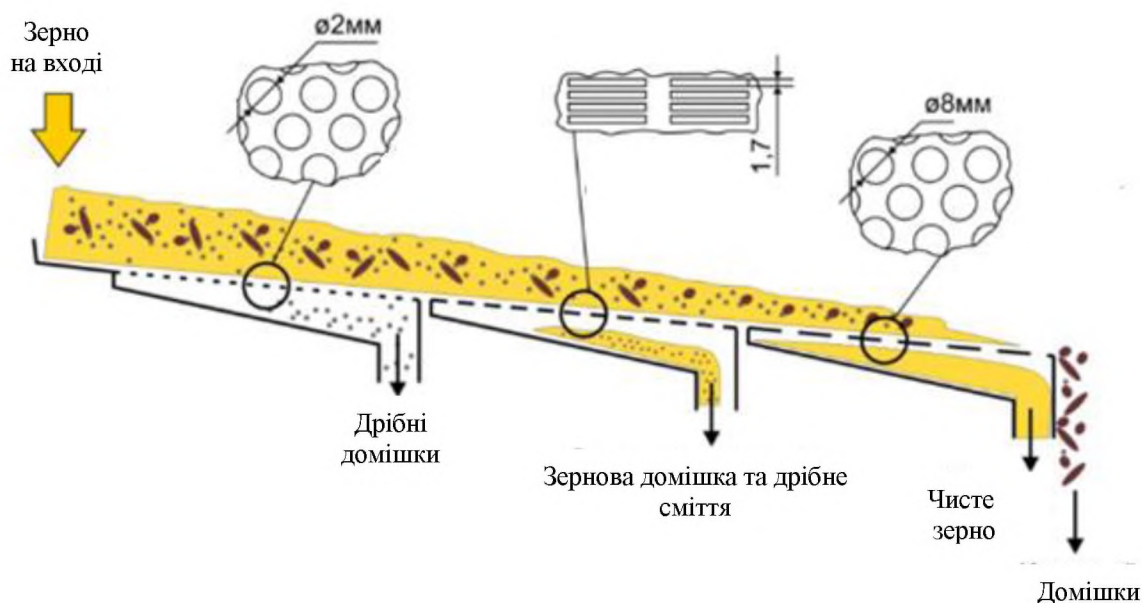


Рисунок 1.4 – Схема роботи розсіву сепаратора вороху універсального СВУ-60

Для проходу дрібного сміття, в цьому випадку, умови покращилися - не встигнувши примірятися до свого (першого по ходу зерна) сити, він проходить разом із зерновою домішкою через друге сито, тим самим, відокремлюючись від чистого зерна і засмічуючи зернову домішку.

Для видалення зернової домішки залишилися ті ж труднощі - пройти через весь шар зерна до свого (короткого) сити вдається не всієї домішки, тим більше, що зернова домішка, як легша фракція, при вібророзсіві в результаті самосепарування виявляється вгорі зернового шару, а при плоско-паралельному коливанні примусового ворошення (масообміну) у шарі зерна не відбувається, так що більша частина зернової домішки проходить разом із «чистим» зерном. Для проходу «чистого» зерна через третє сито по ходу зерна воно повинно мати набагато більше зерна, щоб встигнути без залишку пропустити все зерно на короткій ділянці розсіву, а значить разом із зерном проходить і частина великої сміття пропорційного з отворами сита. Саме тому підвищення якості очищення на такій машині вимагає зниження продуктивності в три і більше разів, про що і вказують виробники машини в документах, що супроводжують. На рис. 1.5 показано взаємозв'язок ефективності очищення та продуктивності СВУ-60.

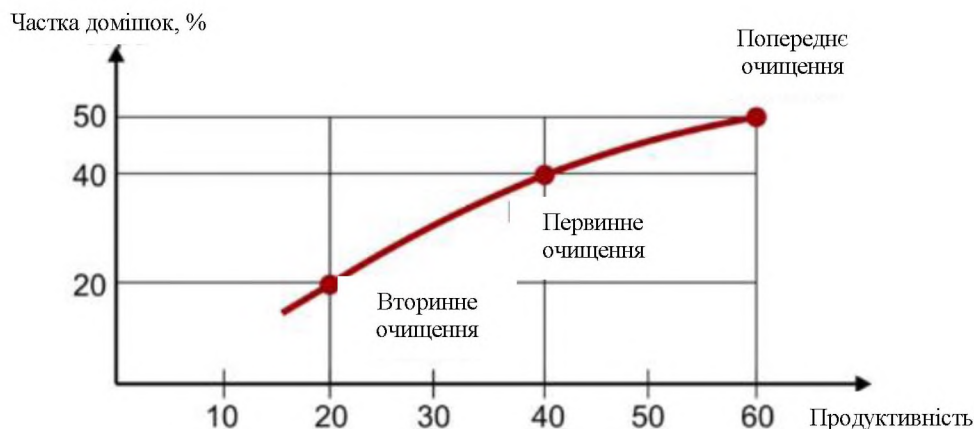


Рисунок 1.5 – Зниження продуктивності СВУ-60 у разі підвищення якості очищення зерна

Свою нішу на ринку серед зерноочисних машин займають машини барабанного типу з горизонтальною віссю обертання барабана. Принцип роботи такої машини простий - безперервне пересипання зерна на внутрішній поверхні циліндричного барабана, що обертається, що складається з сит з отворами різної

форми і розміру, дозволяє відібрати дрібне сміття, пропустити зерно і забезпечити сход великого сміття. На рис. 1.6 показано схему роботи такого сепаратора.

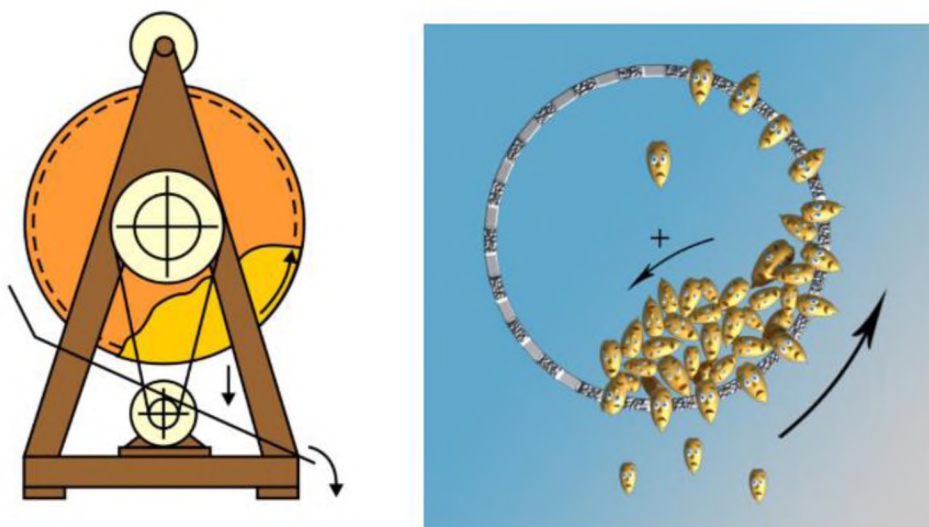


Рисунок 1.6 – Розсівання барабанного типу (горизонтальна вісь обертання)

Переваги:

- Простота експлуатації;
- Висока надійність;
- Відсутність вібраційних навантажень;
- можливість роботи із зерном підвищеної вологості.

Недоліки:

- низька ефективність через низький коефіцієнт використання сита (30-35%), нерівномірної товщини шару на ситі і відсутності очищення сит від застряглих отворах сита зерен і бур'янів у нижній частині, тобто. саме там, де йде пробудження;

- час перебування окремих зерен під час ворошіння зернової маси на внутрішній поверхні барабана може відрізнятись на 30%;

- травмування зерен;
- недостатнє регулювання режиму роботи.

Машини барабанного типу із горизонтальною віссю обертання великої продуктивності почали робити у Франції. Найбільші за габаритами зерноочищувальна машина у світі КБС (об'єм $\sim 51 \text{ м}^3$). На рис. 1.7 показаний

зовнішній вигляд цих машин.



Рисунок 1.7 – Зерноочисні машини з горизонтальною віссю обертання барабана.

В даний час, коли ми отримуємо посівний матеріал попередньо очищений на будь-якій машині в господарстві, то після пропуску його на очищувально-калібруючих машинах всі огріхи попередніх зерноочисних машин чітко виявляються. Як приклад наведу дані щодо очищення гречки на відцентровому сепараторі типу БЦС.

Висновки до розділу

1. Розглянуто проблеми виробництва зерна та його післязбиральної обробки та, зокрема, очищення, застосовувані технології та технічні засоби. Виконано структурний аналіз технологічних схем очищення зерна та насіння на стаціонарних зерноочисних агрегатах типу ЗАВ.

2. Проведено аналіз відомих засобів механізації та теоретично-експериментальних досліджень, представлено класифікацію основних структурних та технологічних схем зерноочисних агрегатів типу ЗАВ. Дослідження в області очищення зерна та насіння відображені у багатьох роботах вчених. Встановлені ними закономірності показали шляхи інтенсифікації зерноочищення в потокових технологічних лініях, проте не були вивчені моделі

сепарації зернового матеріалу в умовах підвищеного навантаження на решета зерноочисних машин з урахуванням зміни параметрів зернового матеріалу, що надходить, а також застосування інноваційних матеріалів у конструкції зерноочисних агрегатів. Відповідно до вищевикладеного, сформульовані цілі та завдання досліджень.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ І ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ

2.1 Структурно-параметрична модель очищення зерна та насіння на стаціонарних зерноочисних агрегатах

У загальному вигляді структурно-параметричну модель очищення зерна та насіння на стаціонарних зерноочисних агрегатах типу ЗАВ можна подати у наступному вигляді (рис. 2.1).

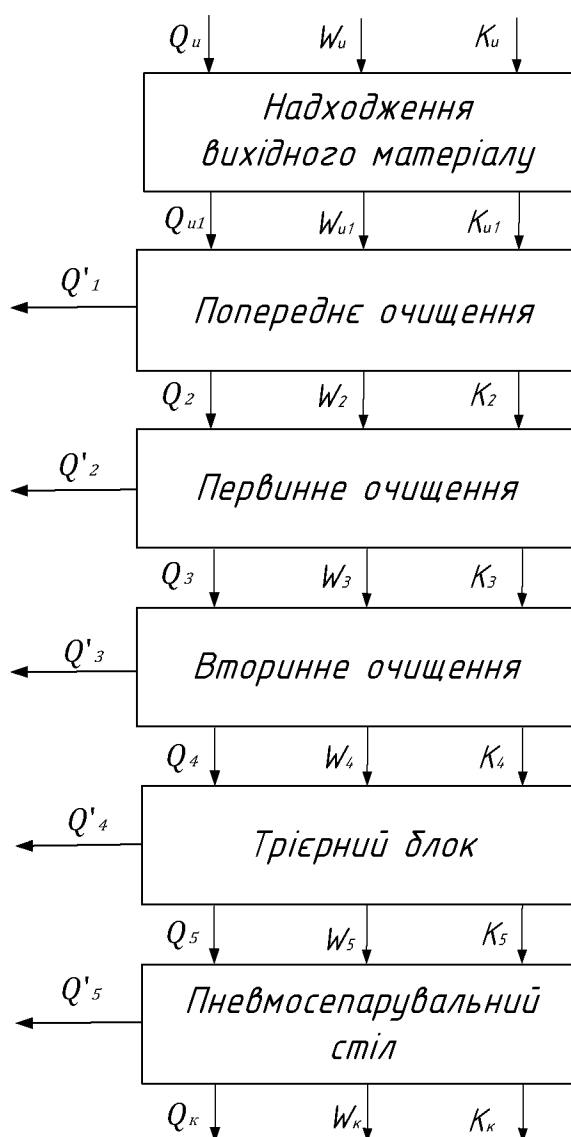


Рисунок 2.1 – Структурно-параметрична модель очищення зерна та насіння на стаціонарних зерноочисних агрегатах типу ЗАВ

Умови функціонування зерноочисних машин у поточній технології очищення зерна та насіння з використанням агрегатів типу ЗАВ можна записати у загальному вигляді. Для будь-якої зерноочисної машини її продуктивність Q_i та показники якості очищення K_i пов'язані залежностями:

$$Q_i = f(Q_u, K_u, W_u), \quad (2.1)$$

де Q_u – продуктивність (подача) вихідного матеріалу, т/год;

K_u – якість вихідного матеріалу (узагальнений показник, що включає бур'ян, макро- та мікротравмування), %;

W_u – вологість вихідного матеріалу, %.

У свою чергу:

$$K_i = f(Q_i, K_i, W_i). \quad (2.2)$$

Продуктивність Q_i та показники якості очищення K_i зерноочисних машин є взаємозалежними параметрами, при цьому очевидно, що якщо

$$Q_u \rightarrow \max, \text{ то } Q_i \cong Q_o, \quad (2.3)$$

де Q_o – паспортна продуктивність зерноочисної машини при $K_i \cong$

K_o ; K_o – допустимі показники якості вихідного матеріалу.

Аналіз роботи зерноочисних машин дозволяє стверджувати, що якщо

$$K_i > K_o, \text{ то } Q_i > Q_o, \quad (2.4)$$

тобто, якщо показники K_u зернового матеріалу, що надходить на зерноочисну машину, більш високі, то продуктивність зерноочисної машини збільшується.

Найважливішою умовою роботи зерноочисного агрегату є узгодження продуктивності машин у поточній технологічній лінії.

2.2 Інтенсифікація процесу сепарації зернового матеріалу на повітряно-решітних машинах зерноочисних агрегатах

Інтенсифікацію процесу сепарації зернового матеріалу на повітряно-решітних машинах зерноочисних агрегатів у взаємозв'язку з параметрами машин попереднього очищення можна представити в наступному вигляді.

Ймовірність просівання частинки через решето $P(t)$ за час t та ймовірність виділення її протягом наступного малого проміжку часу Δt є умовною ймовірністю, що визначається виразом:

$$P(\Delta t; t) = \frac{P(\Delta t)}{R(t)}, \quad (2.5)$$

де $R(t) = 1 - P(t)$ - ймовірність знаходження частинок на решеті до моменту t .

Межа відношення ймовірності просівання частинки за малий проміжок часу Δt до величини цього проміжку при прагненні його до нуля є інтенсивністю процесу просівання $\mu(t)$:

$$\bar{\mu}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(\Delta t) - dp(t)}{R(t)\Delta t} (1 - P(t))^{-1}. \quad (2.6)$$

Інтенсивність просівання як локальна характеристика процесу може бути визначена як ймовірність просівання:

$$\bar{P}(t) = 1 - e^{-\int_0^t \mu(s) ds + \mu(h) dh}, \quad (2.7)$$

де S – площа решета; h – товщина шару.

Якщо частка переміщається по решеті з постійною швидкістю v , то ймовірність та інтенсивність просівання її можуть бути визначені через параметр довжини решета x заміною t на x у виразах (2.4) – (2.7):

$$t = xv^{-1}. \quad (2.8)$$

$$\mu(x) = \frac{dp(x)}{dx} (1 - P(x))^{-1}, \quad (2.9)$$

$$P(x) = 1 - e^{-\int_0^x \mu(s) ds}, \quad (2.10)$$

де $\mu(x) = \mu(t)V^{-1}. \quad (2.11)$

Інтенсивність просівання в загальному випадку залежить від багатьох факторів, визначених як властивостями частинок, і решета.

Інтенсифікація процесу поділу на решеті може відбуватися за рахунок збільшення товщини шару оброблюваного матеріалу та за рахунок збільшення швидкості його руху за решетом.

Чим більша товщина шару h_c на решеті зерноочисного агрегату, тим більше сила тертя F_{mp} , сила удару F_k і весь спектр сил, які діють зерновий матеріал, цим відбувається збільшення травмування зерна. Принципову схему взаємодії зернового матеріалу з решетом повітрянорешітної машини наведено на рис. 2.2.

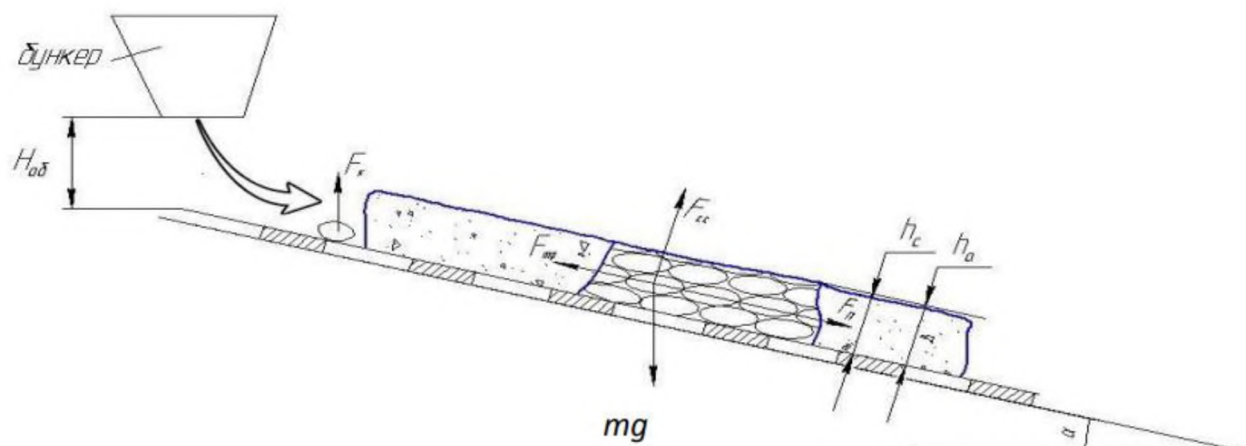


Рисунок 2.2 –Схема сил, що діють на зерновий матеріал на решеті:

$H_{об}$ – висота від вікна бункера до решета; h_c – висота шару; h_a – амплітуда шару;

F_{cc} – сила опору шару; F_{mp} – сила тертя; F_n – сила потоку; mg – сила тяжіння

Для зниження рівня травмування зерна при технологічному процесі очищення зернового вороху необхідно використовувати інноваційні матеріали, що дозволяють значно зменшити коефіцієнт зовнішнього тертя зерна по поверхні, що контактується.

2.3 . Дослідження процесу руху зернівки по похилому сити

Дослідження процесу руху зернівки по похилому сити, що здійснює кругові (поступальні) коливання у горизонтальній площині (рис. 2.3)

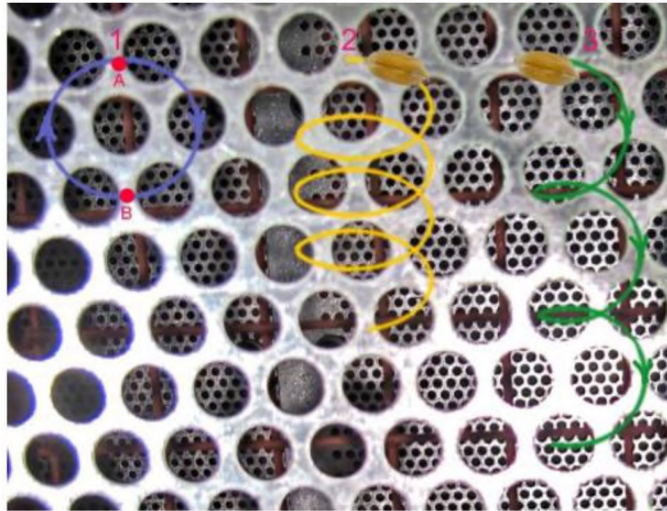


Рисунок 2.3 – Траєкторія зернівки в залежно від кута нахилу сита

Траєкторія 1. Колове коливання решета (БСХ100, радіус $R= 11\pm 2$ мм, частота $6,25\text{ c}^{-1}$ - за 1 секунду решето здійснює 6,25 повних обороту).

Траєкторія 2,3. Траєкторія зернівки в залежно від кута нахилу сита. На початку руху – верхня точка А, зерно нерухомо. Під впливом сил тертя та сили тяжіння (проекції сили на площину решета) зерно починає розганятися, долаючи силу інерції (при цьому сито випереджає зернівку). У кінці відрізка АВ зерно досягає максимальної швидкості. На початку відрізка ВА, сито, силою тертя починає гальмувати зерно, долаючи силу тяжіння і силу інерції, що набрало швидкість зерна. В якийсь момент дії різних сил на зернівку зрівнюються і вона зупиняється і починає рухатися вгору разом із решетом наприкінці відрізка ВА. На яку відстань зернівка підніметься, залежить від коефіцієнта тертя пари решето-зернівка та кута нахилу вирішує. Траєкторія 2 – кут 4° , траєкторія 3-кут 7° .

Круговий поступальний рух, який здійснюють решета сепаратора, допомагає очистити зерно від домішок ефективно та якісно, оскільки шлях зерна по решету дорівнюватиме $2\pi R$. Зворотно-поступальний рух передбачає рух зерна

по прямій, тому виробники збільшують площу сепараторів для ефективної роботи. Отже, це призводить до збільшення маси, металоемності та розмірів.

Рух зерна у процесі сепарування характеризується – переносним, абсолютним та відносним рухом.

Переносний рух – рух сита по відношенню до підлоги або рами сепаратора. У нашому випадку круговий рух ситового кузова з $R=11$ мм. (Траєкторія 1).

Абсолютний рух (рух зерна по відношенню до підлоги, рами сепаратора) – саме його ми бачимо, коли дивимося на роботу сепаратора. (Траєкторія 2,3)

Відносний рух - рух зерна по відношенню до сити (Визначається розрахунковим шляхом).

Головне – відносний рух, але його взаємозв'язок із переносним – прямий.

Чим більший шлях точки самого решета за одиницю часу (за коливання), тим більший шлях (щодо решета) пройде точка (зерно) на решеті (з поправками, на коефіцієнт тертя), відповідно зерно пройде над великою кількістю отворів решета, і ймовірність просіювання буде вищою.

Шлях, який долає точка решета за 1 період коливань:

- для кругового руху – це довжина кола. $S=2\pi R = 6,28R = 0,069$ м (для $R=11$ мм за 1 оборот.)
- для зворотно-поступального руху – це довжина прямої. $S = 4A = 0,044$ м (для амплітуди $A = 11$ мм - за 1 оберт кривошипного механізму приводу решета радіусом 11 мм).

При однакових параметрах частоти та амплітуди коливань, точка решета, що здійснює кругові рухи, пройде шлях в 1,568 рази більше, ніж точка на вирішуєте зі зворотно-поступальним рухом. Це не означає, що ефективність сепарування буде в 1,568 рази кращим, але те, що краще – безсумнівно.

2.4 Опис запропонованої конструкції

Зерноочисна машина складається з решітного сепаратора, пневмосепарувального каналу та допоміжного обладнання (магнітно-аспіраційна

камера, перехідник і збірник зерна). Решітний сепаратор (рис. 2.4) складається з станини, кузова з решітними рамами, підвішеного до станини на гнучких підвісках, приводу, траверси з балансирними механізмами. Решітні рами вставлені у кузов нерухомо по направляючих.

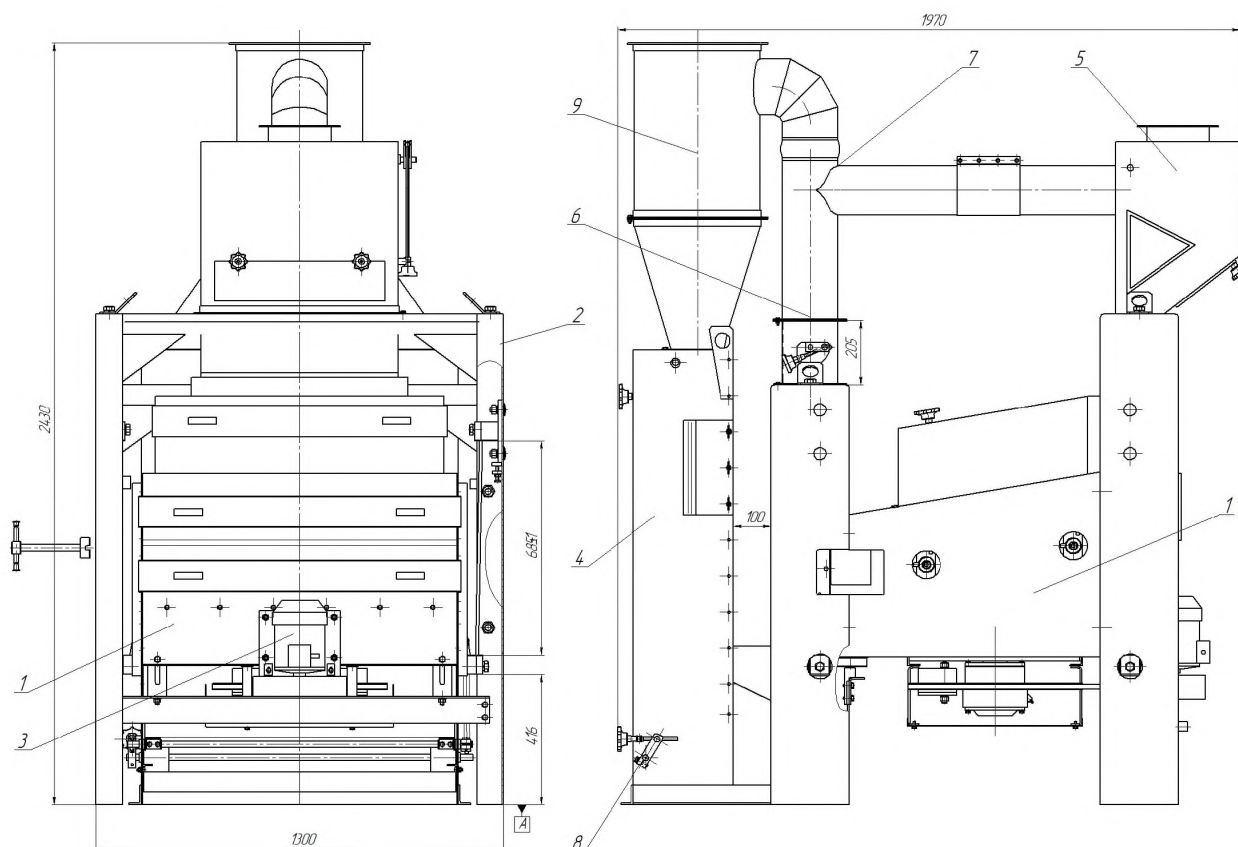


Рисунок 2.4 – Принципова схема очисної машини: 1 – ситовий корпус; 2 – станина; 3 – електродвигун; 4 – аспірацій на колонка; 5 – розподільник; 6 – патрубок аспіраційної системи; 7 – патрубок оглядовий; 8 – живильник вібраційний; 9 – циклон

Рами з ситами розділені поздовжніми і поперечними перегородками на осередки, в яких розміщуються гумові кульки, призначені для очищення решіт. На передній стінці ситового кузова встановлено електродвигун, який через клинопасову передачу приводить в обертання шків із закріпленням на ньому дисбалансним вантажем, що забезпечує рух решітного стану. Зверху ситового кузова розташована магнітно-аспіраційна камера, на вході кої камери

розташований розподільний лоток. Станина сепаратора складається з передньої і задньої стійок, які з'єднані між собою боковинами. На задній стінці кріпиться патрубок для під'єднання до аспіраційної мережі.

Принцип роботи (рис. 2.5): засмічене зерно через приймальний патрубок подається в магнітно-аспіраційну камеру, розподіляється по всій ширині робочої камери і рухається в ситовий кузов.

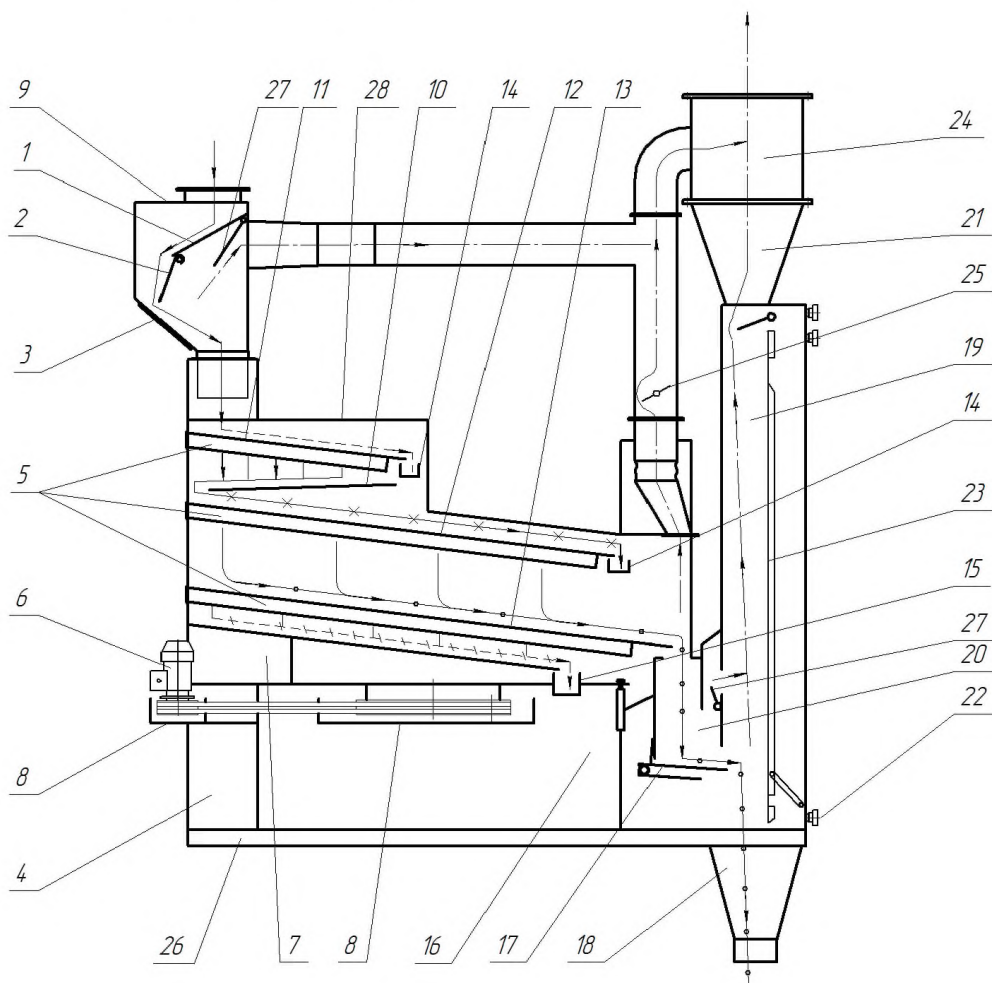


Рисунок 2.5 – Функціональна схема зерноочисної машини: 1 – відбійник;
 2 – заслінка; 3 – магніти; 4 – станина; 5 - решетні рами; 7 – траверса;
 8 – огороження; 9 - магнітно-аспіраційна камера; 10 – розподільний лоток;
 11 – решето; 12 – решето сортувальне; 13 – решето підвісне; 14, 15 – лотки для
 крупних і дрібних домішок; 16 – обмежувач; 17 – лоток; 18 – збірник;
 19 – пневмосепарувальний канал; 20 – коробка приймальна; 21 – перехідник;
 22 – регульовальна рукоятка; 23 – стійка; 24 – трійник аспірації; 25 – дросель;
 26 – рама; 27 – клапан аспірації

Висновки до розділу

Подано теоретичне обґрунтування сепарації зернового матеріалу на повітряно-решітних машинах, розроблено математичну модель сепарації зернового матеріалу з урахуванням широкого варіювання вхідних параметрів матеріалу, що надходить на решета після попередньої очищення. Обґрунтовано найбільш значні ланки технологічного ланцюжка зерноочисних агрегатів.

3. ПРОГРАМА, МЕТОДИКА І РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Опис експериментальної установки та лабораторного обладнання

Досліди проводилися на розроблених експериментальних установках, що імітують фрагменти зерноочисної машини (рис. 3.1), зі стандартними та виготовленими із пластику решетами (рис. 3.2).

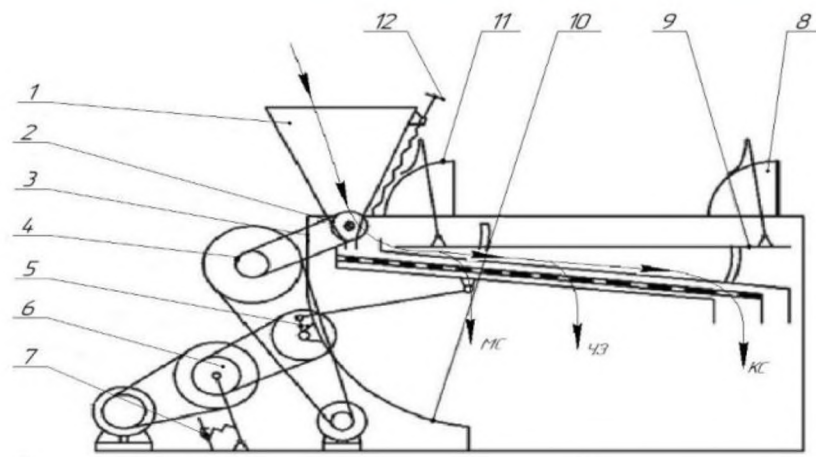


Рисунок 3.1 – Схема лабораторної установки: 1 – засипний бункер; 2 – живильний валик; 3 – рама; 4 – решітний стан; 5 – кривошип; 6 – варіатор; 7 – рукоятка зміни числа коливань решітного стану; 8, 9, 10, 11 – сектор; 12 – рукоятка регулювання завантаження решета

Під час проведення дослідів визначалися такі характеристики роботи решітного стану за заданих умов:

- просівання компонентів зернового матеріалу через решето;
- розмірні характеристики зернового матеріалу, що просівається через решето;
- маса 1000 зерен (визначення маси 1000 зерен проводилася відповідно до ГОСТ 12042-80);
- насипна щільність (визначення насипної щільності проводилося в відповідно до ГОСТ 12044-80);
- якість компонентів зернового матеріалу, що пройшли через решето.



Рисунок 3.2 – Стандартний блок решіт (б) і модернізований (а), виготовлений з полімерного матеріалу

Додатковим етапом досліджень щодо вивчення впливу решітних сепараторів на показники якості було визначення коефіцієнта тертя зернового вороху за матеріалами, що застосовуються для виготовлення решіт (Ст35).



Рисунок 3.3 – Лабораторна установка для вимірювання кута тертя

3.2 Методика визначення щільності зерна гречки

Від структури, хімічного складу та вологості залежить щільність сипучих матеріалів. Дослідження з вивчення щільності насіння гречки проводилися з використанням пікнометра методом гідростатичного зважування (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Пікнометр

У кожній наважці обсяг V , м^3 , розраховували як:

$$V = \frac{m_n - m_z}{\rho_{ж}}, \quad (3.1)$$

де m_n, m_z – маса наважки та матеріалу, кг;

$\rho_{ж}$ – щільність ефіру (етилового) при 20 °С, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Щільність матеріалу визначали:

$$\rho = \frac{m_n}{V}, \quad (3.2)$$

де m_n і V – маса та обсяг наважки.

Вплив вологості W^c на щільність матеріалів наведено на рис. 3.5.

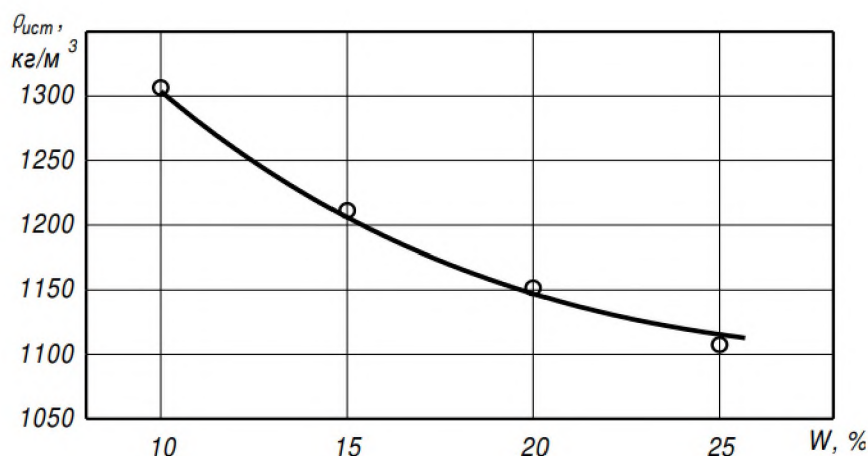


Рисунок 3.5 – Вплив вологості на щільність насіння гречки

В результаті проведеної роботи встановлено, що при підвищенні вологості густина знижується. Цей факт пояснюється якісним та кількісним її станом.

3.3 Методика визначення насипної щільності

Величина насипної щільності зерен гречки визначається відношенням одиниці маси до одиниці об'єму. Дана величина залежить від вологості матеріалу і його щільності, а також від форми зернівки, фракційного складу та їх шорсткості.

Визначення насипної щільності здійснювали за допомогою літрової пурки (при температурі навколишнього повітря $293 \pm 1,5$ К) і розраховували як [11]:

Експериментальні дослідження проводився під впливом сили гравітації для маси частинок. Розрахункова формула мала такий вигляд:

$$\rho_n = \frac{G}{V} \quad (3.3)$$

де G – маса наважки, кг;

V – об'єм наважки, м³.

Вплив вологості на насипну щільність матеріалу представлено на рис. 3.6.

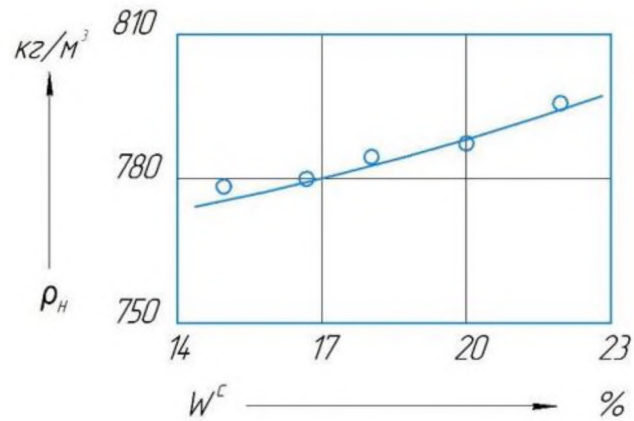


Рисунок 3.6 – Залежність насипної щільності зерна гречки ρ_n від вологості W_c

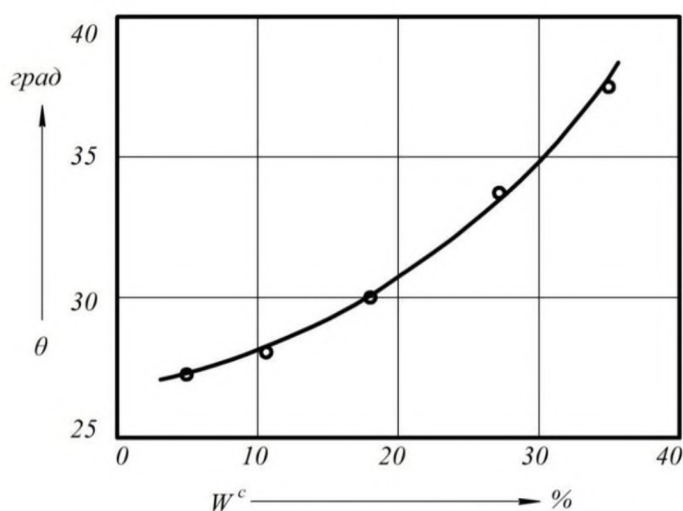
Дослідженнями встановлено, що зі збільшенням вологості насипна щільність об'єктів сушіння збільшується, що зумовлено підвищенням коефіцієнта внутрішнього тертя.

3.4 Методика вивчення кута природного укосу

Сипучість дисперсних продуктів обумовлюється вільним переміщенням однієї частинки щодо іншої при пересуванні всього шару і визначається кутом природного укосу. Кут природного укосу визначали на експериментальній установці (рис. 3.7) способом обвалення (статичний кут). Матеріал поміщали в ємність прямокутного типу, а потім прибирали одну з бічних поверхонь. Відбувалося обвалення шару продукту, а кут, утворений схилом обрушився продукт і горизонталлю і є статичний кут природного укосу. Результати досліджень наведено на рис. 3.8.



Рисунок 3.7 – Експериментальна установка

Рисунок 3.8 – Залежності кутів природного укосу зерна гречки від вологості W^c

З наведеного графіку видно, що величина кута природного укосу підвищується зі зростанням вологості: 5 до 25 % – 34° до 46° (динамічний від 27° до 40°).

3.5 Методика визначення гранулометричного складу

При дослідженні фракційного складу застосовується еквівалентний діаметр, що дорівнює діаметру кулі середньої частки продукту:

$$d_s = \sqrt[3]{\frac{6V_m}{\pi}}, \quad (3.4)$$

де $V = G/n\rho_c$ – об'єм частинки матеріалу, м³;

G – маса довільної наважки, кг;

n – кількість частинок у наважці.

Найбільш поширеним є метод розсіву на сита. Розміри частинок одержаних фракцій обмежені розмірами отворів сит.

Результати гранулометричного складу подаються у вигляді графіку на рис. 3.9.

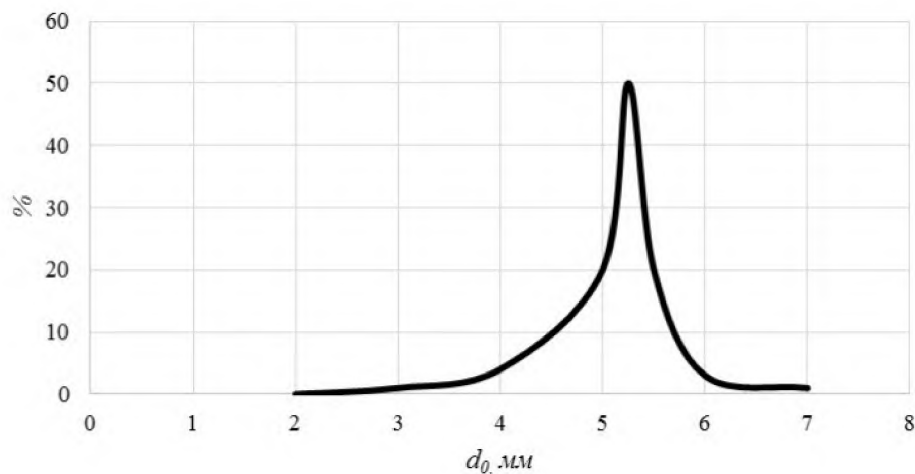


Рисунок 3.9 – Гранулометричний склад насіння гречки

Висновок до розділу

У даному розділі представлено програму лабораторних досліджень, описано приватні та загальні методики, експериментальні установки та результати дослідження технології очищення зернового матеріалу в умовах стаціонарних зерноочисних агрегатів типу.

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Проведені дослідження дозволили встановити, що вихідна засміченість зернового матеріалу a_0 для решіт з шириною отвору $2b_1 = 2,2$ мм становить 8%.

Результати оцінки впливу коефіцієнта тертя f , питомої початкового навантаження на решето q , кута нахилу решета α та кінематичного режиму $A\omega^2$ на швидкість руху зерна по решеті з циліндричними поперечними перемичками при кругових коливаннях площині решета показані рисунку 4.1.

Після обробки результатів багатофакторного експерименту було отримано рівняння регресії

$$y = 0,289 - 0,019x_1 - 0,004x_2 + 0,011x_3 - 0,026x_4 - 0,035x_1x_3 + 0,028x_1x_4 + 0,005x_2x_3 + 0,010x_2x_4 + 0,004x_1^2 - 0,001x_2^2 - 0,004x_3^2 + 0,002x_4^2, \quad (4.1)$$

де x_1 – питома початкове навантаження на решето, кг/см;

x_2 – вихідна забруднення зернового матеріалу, %;

x_3 – кінематичний режим коливань решітного стану, м/с²;

x_4 – кут нахилу решітного стану, град.

Найбільш характерні результати дослідження представлені на рис. 4.1 при вихідній засміченості зернового матеріалу $a_0 = 8\%$. Дослідження показали, що збільшення навантаження на решето призводить до зниження повноти поділу зернового матеріалу. Збільшення кінематичного режиму дозволяє збільшити повноту розподілу. При зменшенні кута нахилу решета повнота поділу збільшується. Кут спрямованості кругових коливань $\beta=0$ не сприяє збільшенню повноти поділу зернової суміші.

Відомо, що за ГОСТ 5888 – 74 для машин первинного очищення повнота поділу зернової суміші повинна бути не нижчою за $E = 0,6$. В досліджуваній області значень факторів максимальна повнота поділу зернової суміші $E = 0,563$ досягається при кінематичному режимі $A\omega^2 = 41,73$ м/с² ($A = 0,002$ м, $\omega = 144,44$ с⁻¹) та питомого початкового навантаження $q = 0,4$ кг/с·м, що відповідає продуктивності $Q = 4,6$ т/год (рис. 4.1).

Експерименти проводилися при кругових коливаннях у площині решета, тобто кут спрямованості коливань $\beta=0$.

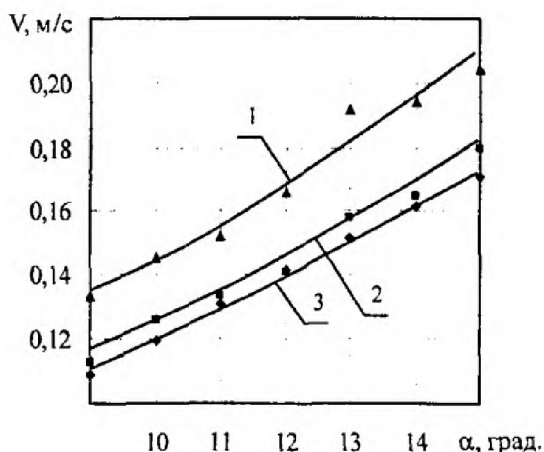


Рисунок 4.1 – Залежність швидкості руху зерна по решітці від кута нахилу та кінематичного режиму при питомому початковому навантаженні $q = 0,4 \text{ кг/с}\cdot\text{м}$
 (Кінематичний режим: 1 – $A\omega^2 = 41,73 \text{ м/с}^2$; 2 – $A\omega^2 = 36,51 \text{ м/с}^2$;
 3 – $A\omega^2 = 31,29 \text{ м/с}^2$)

На решітках із поперечними циліндричними перемичками збільшення кута спрямованості кругових коливань, за інших рівних умов, веде до збільшення повноти поділу зернової суміші (рис. 4.2 – 4.5).

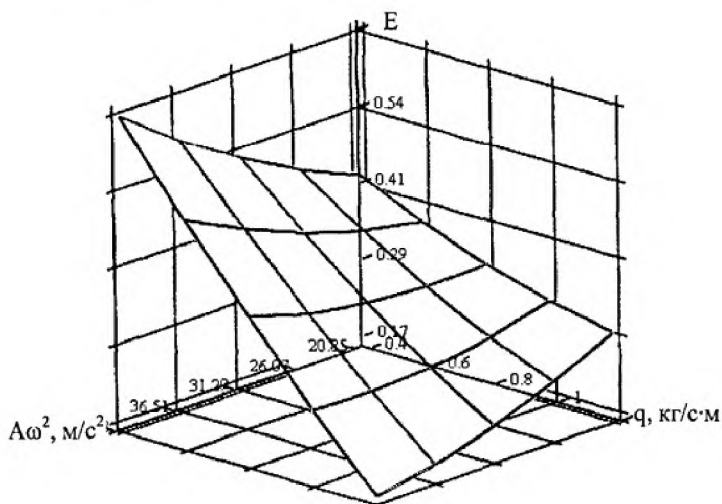


Рисунок 4.2 – Залежність повноти поділу зернової суміші від кінематичного режиму та початкового навантаження при куті нахилу решета $\alpha = 6^\circ$

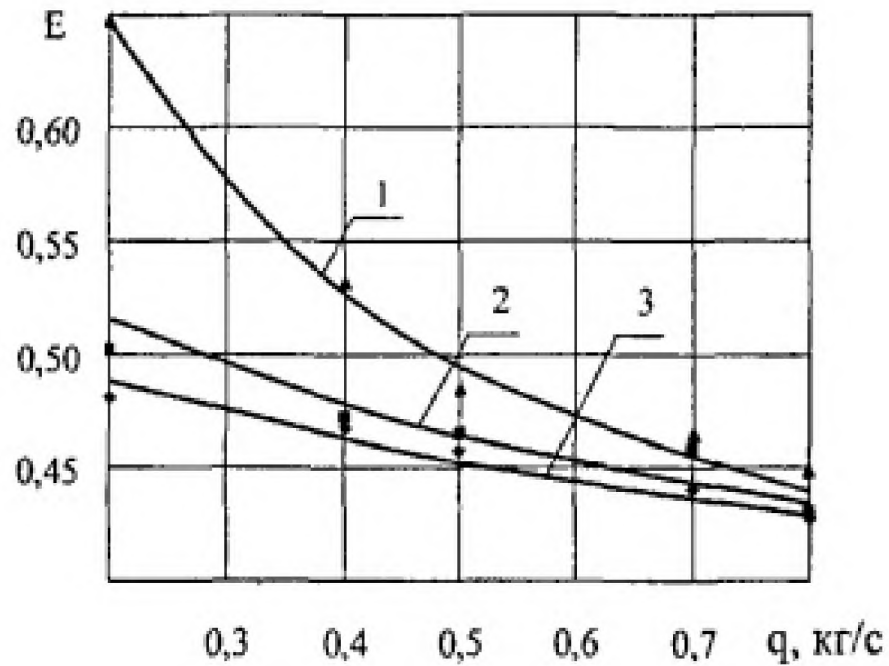


Рисунок 4.3 – Залежність повноти поділу зернової суміші від питомого початкового навантаження та кінематичного режиму при спрямованості коливань $\beta = 10^\circ$ (Кінематичний режим: 1 – $A\omega^2 = 21,66 \text{ м/с}^2$; 2 – $A\omega^2 = 18,73 \text{ м/с}^2$; 3 – $A\omega^2 = 14,93 \text{ м/с}^2$)

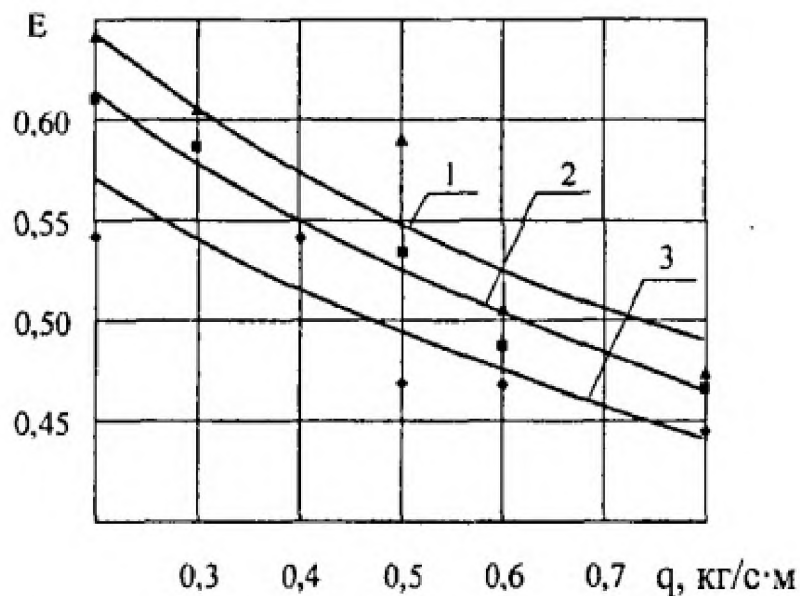


Рисунок 4.4 – Залежність повноти поділу зернової суміші від питомого початкового навантаження та кінематичного режиму при спрямованості коливань $\beta = 16^\circ$ (Кінематичний режим: 1 – $A\omega^2 = 28,15 \text{ м/с}^2$; 2 – $A\omega^2 = 23,14 \text{ м/с}^2$; 3 – $A\omega^2 = 18,73 \text{ м/с}^2$)

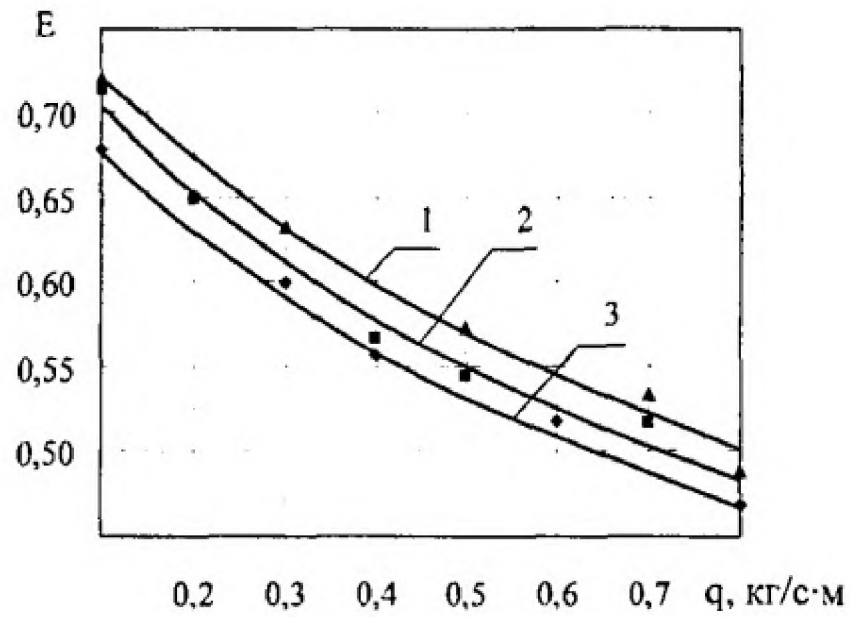


Рисунок 4.5 – Залежність повноти поділу зернової суміші від питомого початкового навантаження та кінематичного режиму при спрямованості коливань $\beta = 19^\circ$ (Кінематичний режим: 1 – $A\omega^2 = 25, 15 \text{ м/с}^2$; 2 – $A\omega^2 = 23,14 \text{ м/с}^2$; 3 – $A\omega^2 = 18,73 \text{ м/с}^2$)

ВИСНОВКИ

1. Зерноочисні агрегати типу ЗАВ залишаються основним технологічним засобом очищення зерна та насіння в сільгосп підприємствах.

2. Розроблено математичну модель сепарації зернового матеріалу на повітряно-решітних машинах, що встановлює залежність інтенсивності просіювання $\mu(t)$ від параметрів решіт L та його засміченості K , а також щільності розподілу $\rho = \varphi(\alpha)$ та висоти шару h_c на решеті.

3. Обґрунтовано критерії оцінки структурно-технологічної модернізації зерноочисних агрегатів типу ЗАВ та обрано як тестовий варіант перевірки робочої гіпотези модернізовану машину типу Р1-БДЗ-50 зі замкнутим аспіраційним циклом та підвищеною якістю очищення зернового вороху від легких та соломистих домішок.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Технологія вирощування озимої пшениці: етапи, нюанси та відмінності залежно від регіону. Superagronom.com: веб-сайт. URL: <https://superagronom.com/articles/290-tehnologiya-viroschuvannya-ozimoyi-pshenitsi-etapi-nyuansi-ta-vidminnosti-zalejno-vid-regionu>
2. Посівна озимої пшениці. Kurkul.com: веб-сайт. URL: <https://kurkul.com/spetsproekty/614-posivna-ozimoyi-pshenitsi>
3. Универсальный сепаратор зерна с циклоном ОВС-355Ц. ВІМ: РАМ: веб-сайт. URL: <https://bim-agritech.com/ru/zernovoy-separator-s-ciklonom-ovs-355c-universalnyy>
4. Машины і обладнання для зберігання та комплексної обробки зерна / А.С.Кобець, Ю.О. Чурсінов, С.А.Черних, М.П. Сабадаш, Н.В. Грекова, В.П. Канунніков – Дніпропетровськ: ДДАУ, 2013.
5. Рекомендації до збирання ранніх зернових та зернобобових. Агробізнес: веб-сайт. URL: <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/582-rekomendatsii-do-zbyrannia-rannikh-zernovykh-ta-zernobobovykh.html>
6. Котов Б.І. Дослідження шляхів підвищення ефективності віброрешітних сепараторів зерна і насіння // Б.І. Котов, С.П. Степаненко, М.Г. Пастушенко //Вибрации в технике и технологиях. – 2004. – № 3 (35). – С.61–63.
7. Котов Б.І. Теоретичні аспекти сепарації зернових матеріалів на ступінчасто- 102 № 2 (85) 2017 Вібратії в техніці та технологіях конічному решеті вібровідцентрових машин // Б.І. Котов, І.А. Деревенько, С.П. Степаненко, М.Г. Пастушенко //Вибрации в технике и технологиях. – 2016. – № 3 (83). – С.175–180.
8. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл / Рудь Юрій Савелійович. – Кривий Ріг: Видавець ФО-П Чернявський Д.О., 2015. – 492 с.

9. Дерев'янку Д. А. Вплив травмування на якість насіння зернових культур : монографія / Д. А. Дерев'янку, О. П. Тарасенко, В. І. Оробінський. – Житомир, 2012. – 439 с.

10. Дерев'янку Д. А. Вплив технічних засобів та технологічних процесів на травмування і якість насіння : монографія / Д. А. Дерев'янку. – Житомир, 2015. – 772 с.

11. Stepanenko S. Experimental study in a pneumatic microbiocature separator with apparatus camera / S. Stepanenko, Rogovskii, I., Titova, L., Trokhaniak, V., Trokhaniak, O. // In: Bulletin of the Transilvania University of Brasov, Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering, vol. 12 (61), No. 1 – 2019. pp. 117-128.

12. Stepanenko S.P. Experimental studies on drying conditions of grain crops with high moisture content in lowpressure environment / Stepanenko S.P, Rogovskii I.L., Titova L.L., Trokhaniak V.I., Solomka O.V., Popyk P.S., Shvidia V.O. // INMATEH - Agricultural Engineering . Jan-Mar 2019, Vol. 57 Issue 1, p141-146. 6p.

13. Research into the process of loading the surface of a vibrosieve when a loose mixture is fed unevenly /Piven, M., Volokh, V., Piven, A., Kharchenko, S. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. - VOL 6, v 1 (96). - P.62-70. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.14973>

14. The influence of basic parameters of separating conveyor operation on grain cleaning quality / O.Vasylkovskyi, K. Vasylkovska, S. Moroz, M. Sviren, L. Storozhyk // INMATEH - Agricultural Engineering – Romania, Bucharest: INMA. Vol. 57, No.1. 2019, 63-70.