

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії

Допущено до захисту
 “___” _____ 20__ р.
 Зав. кафедри д.т.н., професор
 (науковий ступінь, вчене звання)
Володимир ДІДУР
 (підпис) (ініціали, прізвище)

магістр

(освітній рівень)

тема роботи **«ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОЯРУСНОГО УДАРНОГО
СЕПАРАТОРА ДЛЯ СЕПАРАЦІЇ НАСІННЯ РІПАКУ
З ОБГРУНТУВАННЯМ ПАРАМЕТРІВ ЙОГО РОБОТИ»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 22м-ім
освітньої програми магістр
спеціальності Н7

«Агроінженерія»

Мироненко В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник к.е.н., доцент, Кутковецька Т.О.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

м. Умань – 2025 рік

РЕФЕРАТ

Мироненко В.В. Дослідження багатоярусного ударного сепаратора для сепарації насіння ріпаку з обґрунтуванням параметрів його роботи (Дипломна робота, Уманський національний університет, 2025: пояснювальна записка на 46 сторінках, у т.ч. 5 розділів, 30 рисунків, 5 таблиць, 21 джерело літератури).

В роботі здійснені теоретичні дослідження щодо існуючого обладнання для сепарації насіння ріпаку й самого виконання технологічної операції. А саме розглянуто процес взаємодії зерна з ударними поверхнями, які його сепарують. Також визначені залежності продуктивності багатоярусного ударного сепаратора від маси насіння ріпаку та кутів нахилу дек.

Удосконалено обладнання гравітаційного багатоярусного ударного сепаратора, що сприяє ефективному виконанню процесу сепарації насіння ріпаку. При цьому відбувається зменшення енергії на виконання технологічної операції та збільшується якість сепарації.

Мета даної роботи передбачає підвищення ефективності технологічної операції сепарації насіння ріпаку від важковідокремлюваних бур'янистих домішок за рахунок удосконалення конструкції обладнання багатоярусного ударного сепаратора.

Об'єкт дослідження: процес сепарації насіннєвої суміші ріпаку.

Предмет дослідження: взаємодія насіння ріпаку і бур'янів з ударною поверхнею сепаратора з їх наступним рухом.

Ключові слова: БАГАТОЯРУСНИЙ УДАРНИЙ СЕПАРАТОР, СЕПАРАЦІЯ, НАСІННЯ РІПАКУ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ПРОДУКТИВНІСТЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	5
1.1. Аналіз існуючих технологій очищення насіння.....	5
1.2. Способи та обладнання для сепарації насіння ріпаку.....	6
1.3. Мета і завдання дослідження.....	12
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	13
2.1. Дослідження пружності матеріалу насінини кулястої форми.....	13
2.2. Математичне моделювання сепарації насіння ріпаку на багатоярусному ударному сепараторі.....	15
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	24
3.1. Програма та методика експериментальних досліджень.....	24
3.2. Дослідження пружних властивостей насіння ріпаку та його важковідокремлюваних домішок.....	25
3.3. Обґрунтування конструктивних параметрів багатоярусного ударного сепаратора.....	28
3.4. Дослідження впливу параметрів сепарації на вихід очищеної фракції.....	32
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	37
4.1. Організація охорони праці в аграрному господарстві.....	37
4.2. Моделювання виникнення травматизму при роботі із сепаратором.....	38
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗРОБКИ	40
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	45

ВСТУП

В сучасному вирощуванні сільськогосподарських культур, все більшого щорічного виробництва набуває насіння ріпаку. Це пояснюється тим, що дана культура добре пристосована до кліматичних умов нашої країни. А також має місце висока продуктивність ріпаку, яка пов'язана з сучасною технологією його перероблення на різні потреби, і навіть на біопаливо.

Проте, існує проблема високого ступеня очищення ріпаку від важковідокремлюваних домішок, зокрема насіння різних бур'янів та рослин. Також ще є питання, які недостатньо вивчені відносно доочищення даного виду культури на пневморешітних сепараторах, після яких залишається великий відсоток засміченості насіння ріпаку.

Перспективним рішенням вказаної проблеми є необхідність в удосконаленні обладнання, що дозволить підвищити якісні показники виконання технологічного процесу відділення насінин ріпаку від різних засміченостей. Тому, тема дослідження на сьогодні є актуальним завданням.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Аналіз існуючих технологій очищення насіння.

Технології очищення насіння ріпаку включають попереднє очищення перед сушінням, коли пил та дрібні домішки вивітрюються при пересипанні, та післязбиральне очищення насіння від бур'янів та інших сторонніх домішків. Це важливий етап, який включає сепарацію та інші методи, оскільки ріпак може містити високу кількість бур'янів, а також домішків через неправильний збір.

Етапи технологічного процесу переробки ріпаку, що застосовуються на великих підприємствах, включають очищення насіння від бур'янів, подрібнення, вологотермічну обробку, пресування, екстракцію і очищення макухи від розчинників.

На цьому етапі використовуються методи очищення, що дозволяють видалити домішки, такі як бур'яни, пил, а також частинки інших олійних культур, які можуть бути присутніми у врожаї.

Ріпак особливо чутливий до бур'янів на ранніх стадіях розвитку, і вони можуть бути присутніми у врожаї, якщо не застосовувати гербіциди. Тому, має бути високий ступінь очистки насіння ріпаку. Так, як чистота насіння ріпаку необхідна для виробництва високоякісної олії та макухи.

Отже, зібране насіння ріпаку, що надходить від комбайна, потрібно негайно очищати в потоці зі збиранням. Навіть короткочасне зігрівання вороха призводить до різкого зниження посівних та технологічних (товарних) якостей насіння [17].

Для післязбирального обробітку насіння ріпаку використовують агрегати типу ЗАВ та пересувні машини для первинного очищення (ОВП-20, ОВС-25, СМ-4). Вони повинні мати набір решіт для дрібнонасінневих культур: для ріпаку – верхні з круглими отворами діаметром 2,6-2,8 мм, нижні – з довгастими отворами шириною 1,0-1,1 мм [1].

Насіння ріпаку підвищеної вологості після попереднього очищення необхідно висушити до кондиційного стану. Для цього краще використовувати

сушарки підлогового типу, бункера активного вентилявання або будь-які інші сушарки з попередньою герметизацією (СЗ-10, СЗ-16). Нагрівання насіння допускається не вище 30-35°C. При сушінні ріпаку на товарні цілі температуру нагріву насіння можна підвищити, але не більше ніж 40-45°C. За відсутності сушарок насіння піддається природному сушінню методом настилу на майданчику при шарі в 5-10 см і постійному перелопачуванні [3].

Остаточне очищення насіння ріпаку проводиться на машинах «Пектус-Селектра», ОС-4, 5А, СМ-4, К-531/1, К-218 з трієрними циліндрами. Діаметр осередків трієрних циліндрів виділення довгих домішок для ріпаку 3,0-3,6 мм, для сурепиці 2,5-2,8 мм, а коротких відповідно 1,6-2,0 мм.

Отримання високого врожаю залежить від якості посівного матеріалу. Насіння має відповідати вимогам посівного стандарту ГОСТ Р 52325-2005 [15].

Допускається в несприятливій за погодними умовами роки заготовляти та використовувати для посіву насіння з вологістю на 5% вище за норму встановленої для репродукційного насіння.

1.2. Способи та обладнання для сепарації насіння ріпаку.

Для сепарації насіння ріпаку використовуються різні типи сепараційного обладнання, такі як повітряні сепаратори (наприклад, Петкус К-531), які поділяють насіння за щільністю та розміром, а також сита (механічні або вібраційні), що відокремлюють домішки за формою та розміром. Вибір конкретного обладнання залежить від стадії очищення та необхідного ступеня поділу, але, в цілому, це машини для очищення насіння та зерна, такі як сепаратори та сита.

Існують наступні типи обладнання для очищення насіння ріпаку:

1) Пневматичні сепаратори – це сепаратори, що працюють на повітряній основі (наприклад, машина Петкус К-531), розділяють насіння за вагою та аеродинамічними властивостями, видаляючи легкі домішки (пил, порожнє насіння). Вони використовуються для попереднього та основного очищення насіння.

2) Ситові сепаратори – це машини використовують механічні сита для поділу насіння за розміром, відокремлюючи більші домішки та дрібне насіння.

3) Комбіновані сепаратори – це більш складніші машини, що поєднують повітряне та ситове очищення для більш високої ефективності поділу.

Найбільш ефективним способом підвищення якості посівного матеріалу ріпаку є його очищення пневмовібраційними сепараторами (Рис. 1.1). За даними дослідження використання сепаратора такого типу для очищення насіння ріпаку підвищує потенціал його продуктивності на 10-25 %.

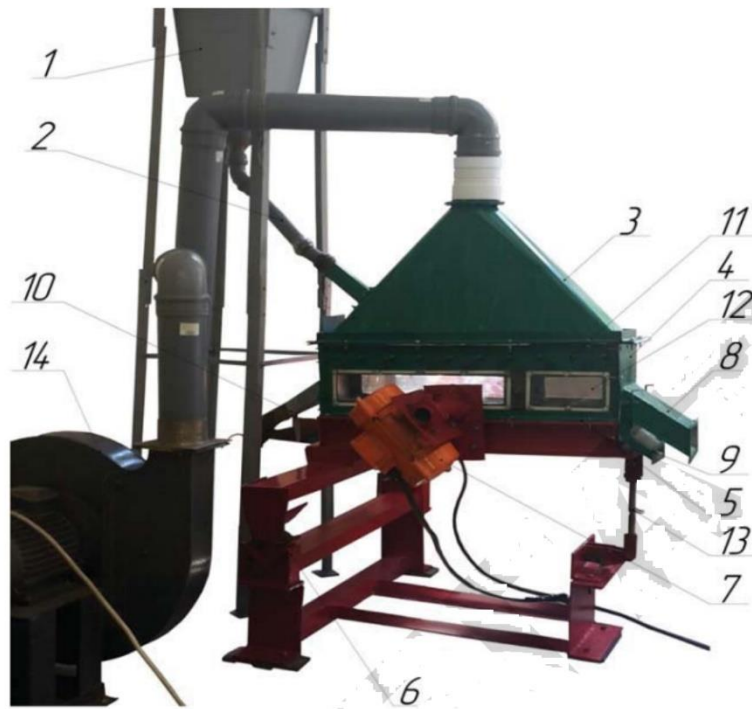


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд прямотокового пневмовібраційного сепаратора:

1 – бункер; 2 – приймальний патрубок; 3 – конфузор; 4 – робоча камера;
5 – сітчасте деко; 6 – віброопори; 7 – електровібратор; 8, 9, 10 – вихідні патрубки
для середньої, більш щільної та менш щільної фракції; 11 – заслінки; 12 – вікно;
13 – вертикальна стійка; 14 – вентилятор.

Даний вентилятор рекомендується використовувати для підготовки насіння ріпаку з метою відділення насіння з високим потенціалом урожайності.

Серед сепараторів пневматичного типу заслуговує на увагу гравітаційний сепаратор, вигляд якого показано на Рис. 1.2. Гравітаційні столи призначені для сепарації сировини шляхом тертя матеріалу в потоці повітря та під дією вібрації. Дані моделі складаються з вібростола, дерев'яної рами, семи повітряних камер, віброприводу й вентилятора. Матеріали з великими та дрібними частинками

поділяються допомогою регулювання напору повітряного потоку, амплітуди та інших параметрів.



Рисунок 1.2 – Сепаратор гравітаційний

За допомогою гравітаційного сепаратора відбувається сортування пророслих або пошкоджених зернових культур, вівсюга, бур'янів, дрібних зерен, і т.д.

Проте, в даного сепаратора є недолік він повністю не замінює повітряний аспіратор, а є додатковим обладнанням для більш точного сортування за питомою вагою.

Ситові сепаратори для насіння ріпаку використовуються для очищення та калібрування, видаляючи бур'яни, пил, соломку та неповноцінне насіння. Такі сепаратори працюють на основі різниці у розмірі насіння та домішок, просіюючи їх через сита з різними розмірами осередків.

Сепаратори такого типу використовуються для очищення великих домішок (солома, стебла) та дрібних фракцій (пил, бур'яни). При цьому, сита відокремлюють насіння ріпаку від більших та дрібніших домішок. В результаті отримується очищене та каліброване насіння ріпаку, що готове до посіву або зберігання.

Сепаратор вороху універсальний СВУ-60 (Рис. 1.3) призначений для очищення та сортування зернових, колосових, зернобобових, технічних та олійних

культур та насіння трав, що використовуються як для посіву, так і на продовольчі цілі.

Сепаратор призначений для роботи у складі технологічного обладнання зерно та зерноочисних агрегатів (типу ЗАВ) та комплексів (Типу КЗС) продуктивністю 20, 30 і 80 т/год. а також у складських приміщеннях у складі спеціальних ліній у всіх сільськогосподарських зонах країни.

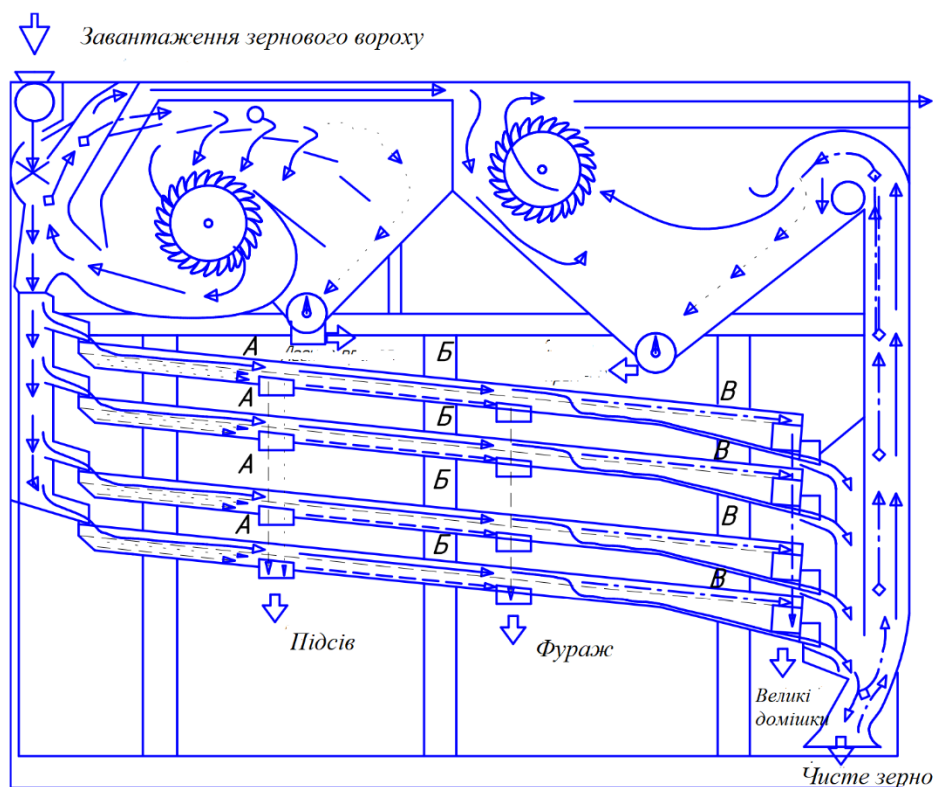


Рисунок 1.3 – Технологічна схема роботи сепаратора СВУ-60

Технологічна операція очищення насіння відбувається наступним чином: зернова суміш направляється в пристрій живлення, яке рівномірно розподіляє зерновий матеріал по ширині приймальної камери сепаратора. Бітер живильного пристрою вкидає зернову суміш в повітряний канал камери 1-ої системи аспірації, де висхідний потік повітря виносить легкі домішки (солому, легкі колосся, головки бур'янів і т. д.) у відстійну камеру. У камері відбувається їх осадження, а повітря, що бере участь у робочому циклі, направляється у вентилятор для повторного використання в робочий цикл. Швидкість повітряного потоку регулюється жалюзійною заслінкою. Надлишки запиленого повітря (близько 15%) прямують у

камеру другої системи аспірації.

Очищена від легких домішок зернова суміш подається на решітку очищення. Легкі домішки шнеком виводяться з відстійної камери вертикальний канал.

Пройшовши часткове очищення в камері 1-ої системи аспірації зернова суміш розділяється на дві частини і надходить у розподільний пристрій, де у свою чергу кожна з частин також ділиться на дві рівні частини та подається на решета А чотирьох паралельно працюючих решітних станів.

Очищений матеріал виводиться в приймач (бункер). Регулювання швидкості повітряного потоку здійснюється жалюзійною заслінкою. Щупле та травмоване зерно з легкими домішками шнеком виводиться із відстійної камери у вертикальний канал.

Комбіновані зерноочисно-сортувальні машини СМ-4 (Рис. 1.4) призначені для очищення та сортування зернових, зернобобових, технічних, олійних культур та насіння трав, що використовуються як для посіву, так і для продовольчих цілей.

Машина очищає та сортує зерновий матеріал (кучу) засміченістю до 10% та вологістю до 15%, отриманий після комбайна або після попереднього очищення, наприклад, на ворохоочисних машинах.

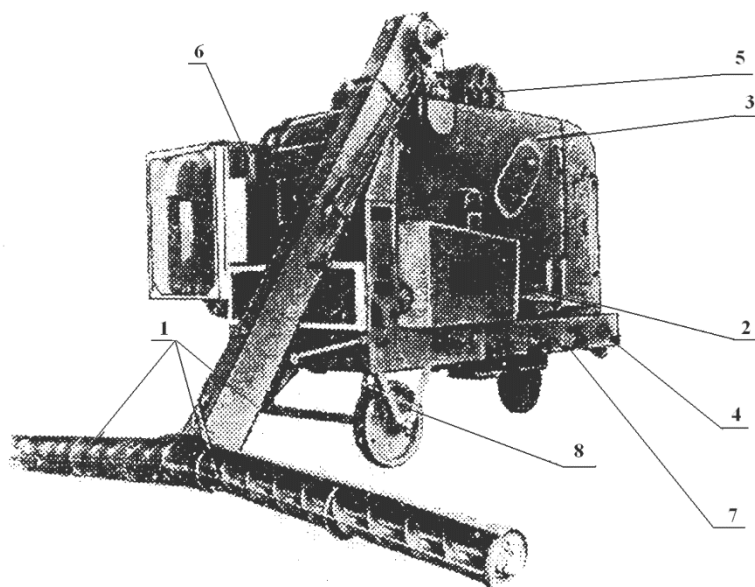


Рисунок 1.4 – Загальний вигляд машини СМ-4

- 1 – завантажувальний транспортер з живильниками; 2 – решітний стан;
3 – повітроочисна частина; 4 – шнек чистого зерна; 5 – елеватор; 6 – трієрні
циліндри; 7 – рама; 8 – механізм самопересування.

Технологічний процес представлений на Рис.1.4, протікає в такий спосіб. При русі машини вздовж бурта вороха шнекові живильники захоплюють зерновий матеріал і підводять до скребкового завантажувального транспортера, який подає його до розподільного завантажувального шнека 3, встановленого в приймальній камері 2. Шнек 3 розподіляє зерновий матеріал по ширині приймальної камери та подає його в повітряний канал 5 першої аспірації.

У каналі 5 першої аспірації висхідний потік повітря відносить у відстійну камеру 6 легкі домішки (включаючи соломку, колосся, головки бур'янів і т.д.).

Пройшовши очищення в каналі першої 5 аспірації зерновий матеріал надходить на решето Б1 решітного стану, на якому вся зернова суміш ділиться на дві приблизно рівні частини.

Очищене від коротких домішок зерно, надходить у циліндр 11 для виділення довгих домішок. Осередки цього трієра вибирають зерно і перекидають у жолоб, звідки вони подаються до другої гілки відвантажувального елеватора, сходом йдуть довгі домішки (вихід IV).

При очищенні продовольчого зерна трієри вимикають. Зерно, що сходить з решета Г, минаючи трієрне очищення, надходить у головку другої гілки відвантажувального елеватора.

Залежно від обраної схеми технологічного процесу очищення та сортування підбирають необхідні решета і за допомогою лабораторних решіт уточнюється, (причому для кожної партії матеріалу, що надходить, решета підбирають заново), керуючись такими міркуваннями.

Оптимальна частота коливань решіт з прямокутними та круглими отворами різна, і, отже, небажано встановлювати їх у один сітчастий стан. Тому відповідно до обраної схеми очищення доцільно в машину встановлювати решета тільки з довгастими отворами, або тільки з круглими. Попередньо форму та розміри отворів решіт вибирають на основі рекомендацій.

Розміри вибраних отворів вирішує стосовно кожної партії вихідного матеріалу уточнюють та коригують, користуючись набором лабораторних решіт або решітним класифікатором.

1.3. Мета і завдання дослідження.

Таким чином, застосовані технології та способи очищення насіння ріпаку від різни важковідокремлюваних засміченостей не можуть забезпечити високу якість сепарації. Серед ефективного вирішення даної проблеми є використання багатоярусних ударних сепараторів, що виконують найбільшу ступінь очищення насіння.

Мета даного дослідження передбачає підвищення ефективності технологічної операції сепарації насіння ріпаку від важковідокремлюваних бур'янистих домішок за рахунок удосконалення конструкції обладнання багатоярусного ударного сепаратора.

Для визначеної мети сформовані наступні задачі досліджень:

- провести аналіз існуючих технологій, способів та технічних засобів сепарації насіння ріпаку;
- дослідити процес сепарації насіння ріпаку за пружними властивостями й здійснити математичне моделювання його сепарації на багатоярусному ударному сепараторі;
- обґрунтувати конструктивні параметри багатоярусного ударного сепаратора й дослідити їх вплив на сепарацію з виходом очищеного насіння;
- визначити економічну ефективність запропонованого технічного рішення.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Дослідження пружності матеріалу насінини кулястої форми.

Провівши теоретичні дослідження було визначено, що оскільки насіння ріпаку мають кулясту форму, то їх середній розмір становить з точністю до 0,01 мм. В результаті вимірів діаметрів насінин кожену партію насіння ріпаку вологістю від 6,5 до 13,8% поділявся на 6 фракцій з інтервалом варіювання з кроком 0,2 мм. Потім зважувалася кожна фракція та розраховувалася середня маса однієї насінини.

Для досліджень розраховували середню питому роботу руйнування A_c , кожної фракції за наступною залежності [7]:

$$A_c = H_p P, \quad (2.1)$$

де H_p – робоча висота падіння, м; P – вага гирки, кг.

Потім розраховували середню питому роботу руйнування одного кілограма i -ї фракції A_i по формулі:

$$A_i = 1000 A_c / m_i, \quad (2.2)$$

де m_i – маса i -ї фракції насіння ріпаку.

Середню питому роботу руйнування суміші насіння ріпаку відповідної вологості A_{cm} визначали за рівнянням:

$$A_{cm} = \sum_{i=1}^{n_\Phi} A_i x_i, \quad (2.3)$$

де x_i – масова частка i -ї фракції у суміші насіння ріпаку; n_Φ – число фракцій у суміші насіння ріпаку.

В розрахунках ситових сепараторів для обґрунтування вибору пробивних сит з круглими отворами та обладнання для обрушування необхідно використовувати достовірну інформацію про розміри насіння ріпаку та залежності для визначення їх середньої питомої роботи руйнування.

З використанням статистичного методу дослідження фізико-механічних

властивостей насіннєвих сумішей [6, 8] були проведені дослідження щодо основних фізико-механічних властивостей насіння ріпаку як об'єкта обрушення. Для визначення ступеня відмінності фактичного розподілу частот середнього діаметра насіння ріпаку від теоретичного за їхніми класами варіаційного ряду використовували критерій χ^2 -квадрат. Розрахунком встановлено, що у цьому випадку критерій χ^2 -квадрат менше критичного значення критерії χ^2 -квадрату при довірчій ймовірності 0,95 та числі ступенів свободи $k = 3$ ($k = m - s - 1$, де m – кількість інтервалів; s – число параметрів розподілу, що оцінюються, для нормального розподілу $s = 2$). Так, у вивченому інтервалі вологостей 6,5 – 13,8% отримані варіаційні криві середнього діаметра насіння ріпаку підпорядковуються закону нормального розподілу з довірчою ймовірністю 0,95.

При дослідженні вологості насіння ріпаку найбільший вихід цих фракцій становить 61-67% і припадає на два класи в інтервалі їх діаметрів від 18 до 22 мм.

Із збільшенням середнього діаметра насіння ріпаку від 1,5 до 2,5 мм їх середньої маси середня робота руйнування зменшується у вивченому інтервалі вологості. При ударному зовнішньому силовому впливі на частку сферичної форми в її обсязі виникає напружено-деформуючий стан, що обумовлює необхідні граничні напруги та руйнування, які зростають із зменшенням її діаметра [1]. Таким чином, насіння ріпаку доцільно фракціонувати за розміром з урахуванням величини середньої питомої роботи руйнування та наступним роздільним обрушенням кожної фракції.

Таким чином, в результаті теоретичних досліджень середньої питомої роботи насіння ріпаку у вивченому інтервалі вологостей показав, що зі збільшенням їхнього середнього діаметра від 1,5 до 2,5 мм середня робота руйнування зменшувалася, оскільки при зовнішньому силовому ударі вплив на сферичну частинку при зменшенні її розміру відбувалося збільшення створюваних граничних напруг та руйнувань у її обсязі.

Зі збільшенням вологості насіння ріпаку від 6,5 до 7,6% спостерігалось значне збільшення середньої роботи руйнування, що зумовлено підвищенням еластичності їхньої кулястої форми. Виявлено, що максимальне значення середньої

питомої роботи руйнування заводської суміші насіння ріпаку сорту Едімакс досягалося за вологості 11,04%.

Таким чином, при розробці обладнання для очищенні насіння ріпаку, необхідно враховувати вище наведені показники щодо його фізико-механічних властивостей, щоб досягти якісних показників сепарації.

2.2. Математичне моделювання сепарації насіння ріпаку на багатоярусному ударному сепараторі.

Дослідження показали, що коефіцієнт в'язкості зернової суміші, що рухається, змінюється по товщині шару. Він збільшується у міру переміщення від вільної поверхні шару, де швидкість руху максимальна, в глибину [3, 5]. Нами розглянуто випадок статичної залежності коефіцієнта в'язкості від поперечної координати, що добре узгоджується з експериментальними даними. Таким чином, псевдо зріджена потоком повітря зернова суміш відноситься до не Ньютонівських рідин, а до рідин, при перебігу яких в'язкість залежить від градієнта швидкості [7]. Для опису перетікання таких середовищ можна використовувати емпірично встановлену статичну залежність напруги від швидкості зсуву.

Дослідження моделі у вигляді матеріальної точки дозволило у багатьох випадках розглянути сутність явища ударної та віброударної сепарації й визначити ступінь впливу на нього різних факторів. Однак моделювання процесу багаторазового зіткнення частинки ідеалізованої у вигляді матеріальної точки з похилими в подовжньо-поперечному напрямку робочими поверхнями з багаторазовими зіткненнями дослідниками не розглядались. Тому, розглянемо моделювання процесу сепарації насіння ріпаку сепаратором ударної дії з багаторазовими зіткненнями насіння ріпаку ідеалізованого у вигляді матеріальної точки з похилими деками багатоярусного ударного сепаратора [5].

Розглянемо схему роботи одного модуля сепаратора ударної дії (рис. 2.2).

Маємо вісі x і z , вісь y в горизонтальній площині перпендикулярна до вісі x . Визначаємо час t_1 , який пройде насіння масою m_1 до деки:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2h_1}{g}}, \text{ c} \quad (2.6)$$

Швидкість в точці A для насіння масою m_1 буде:

$$v(t) = v_0 + g \cdot t, \quad (2.7)$$

де v_0 – початкова швидкість, $v_0=0$.

Враховуючи рівняння (2.7), отримуємо:

$$v_1 = \sqrt{2gh_1}. \quad (2.8)$$

Залежність (2.8) – швидкість опускання насіння на 1-у деку, і в точці дотикання (A) – швидкість удару.

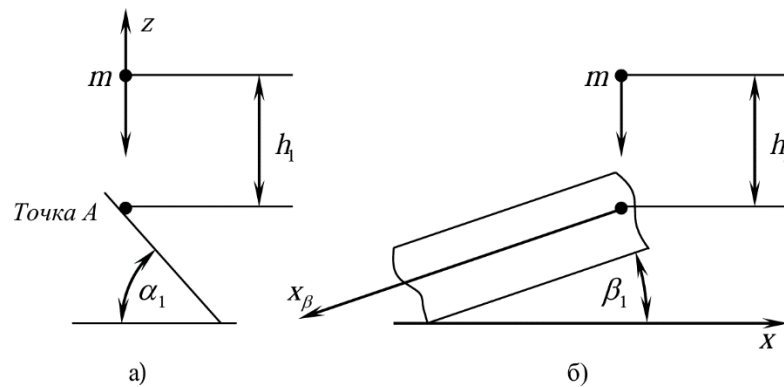


Рисунок 2.2 – Схема руху насіння з виходу бункера на деку:

а – вид спереду; б – вид з боку; α_1 – кут нахилу деки у горизонтальній площині;

β_1 – кут нахилу деки у повздовжній вісі x до горизонту

Коефіцієнт відновлення K_v для розрахунку швидкості після удару:

$$K_v = -\frac{v'_n}{v_n} = -\frac{v'_1 \cos \varphi}{-v_1 \cos \alpha}. \quad (2.9)$$

Тоді

$$v'_1 \cos \varphi = K_v v_1 \cos \alpha. \quad (2.10)$$

З рівняння (2.10) визначаємо модуль швидкості матеріальної точки після удару:

$$v'_1 = v_1 \sqrt{\sin^2 \alpha + K_v^2 \cos^2 \alpha}.$$

Кут нахилу вектора швидкості до нормалі n :

$$\varphi = \text{arctg}(-K_v \cdot \text{ctg} \alpha).$$

Модуль ударного імпульсу дорівнює:

$$S = m \cdot v_1 \cdot \cos \alpha (K_v - 1).$$

Розраховуємо рух насіння, яке відбилося від першого дека і падає на другу деку.

Схема векторів сил і швидкостей буде наступною (рис. 2.3):

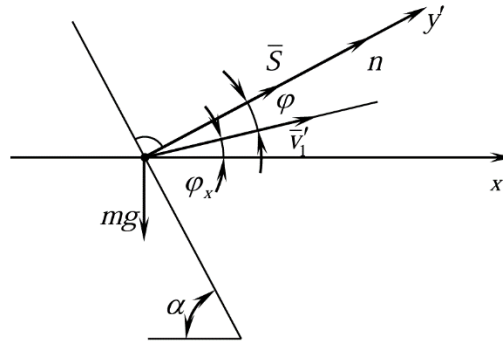


Рисунок 2.3 – Схема напрямку дії сил і векторів швидкостей відбитого насіння у момент відбиття

Кут нахилу вектора швидкостей відносно додаткового напрямку осі буде:

$$\cos(\varphi_x) = \cos(v'_{1}, x) = \frac{v'_{x1}}{v'}; \quad (2.11)$$

$$\varphi_x = \arccos(\varphi_x).$$

Складаємо систему рівнянь руху насіння після удару об деку, у проекціях на осі x і y :

$$\begin{cases} m \cdot v'_{x1} = S \cdot \sin \alpha; \\ m \cdot v'_{y1} = S \cdot \cos \alpha - mgt. \end{cases} \quad (2.12)$$

З системи (2.12) визначаємо проекції швидкостей насіння після удару:

$$\begin{cases} v'_{x1} = \frac{S}{m} \cdot \sin \alpha; \\ v'_{y1} = \frac{S}{m} \cos \alpha - gt. \end{cases} \quad (2.13)$$

Початкові умови після ударного руху:

$$t=0; x_0=0; y_0=0; \dot{x}_0 = v'_{x1}; \dot{y}_0 = v'_{y1}.$$

Рівняння руху насіння після удару:

$$\begin{cases} v'_{x1} = \frac{S}{m} \cdot \sin \alpha; \\ v'_{y1} = \frac{S}{m} \cos \alpha - gt. \end{cases} \quad (2.14)$$

Підставляємо в систему (2.14) вирази системи (2.13):

$$\begin{cases} x = \frac{S}{m} \sin \alpha \cdot t; \\ y = \frac{S}{m} \cos \alpha \cdot t - gt^2 - \frac{gt^2}{2}. \end{cases} \quad (2.15)$$

Знаючи конструкцію сепаратора, то відстань по горизонталі між деками задано – x , по вертикалі – y .

Далі за допомогою програми Mathcad були розраховані залежності руху насіння між деками. Залежності модуля швидкості насінин при ударі від їх маси та кута установки деки, які представлені на рис. 2.4. Як видно з рис. 2.4 величина модуля швидкості частинки після удару не залежить від маси насінини і зростає при збільшенні нахилу деки в межах від 10° до 50° . А найбільш сприятливими для сепарації будуть кути нахилу в межах $40^\circ \dots 50^\circ$.

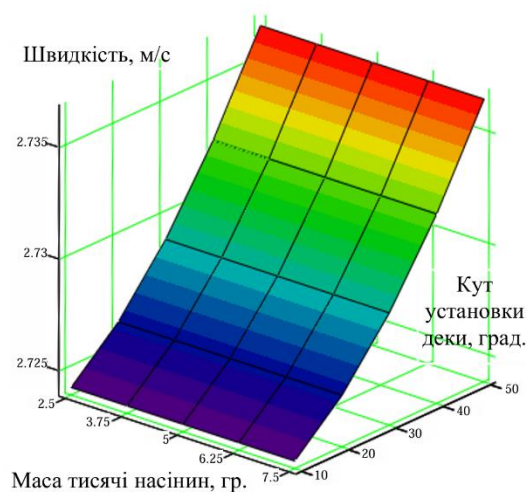


Рисунок 2.4 – Залежність модуля швидкості насінини від її маси і кута установки дека

На рис. 2.5 представлені залежності продуктивності сепарації від маси насінин і кута установки дека. Як видно з рис. 2.5 продуктивність сепарації де що збільшується з підвищенням кута установки дека в межах $10^\circ \dots 50^\circ$ та значно зростає в залежності від маси насінин і коливається від 8 до 30 кг/год. для одного модуля.

На рис. 2.6 та 2.7 представлені залежності тривалості руху насіння між деками від кута їх нахилу. Як видно з рисунків тривалість руху насіння зі збільшенням кута нахилу зменшується.

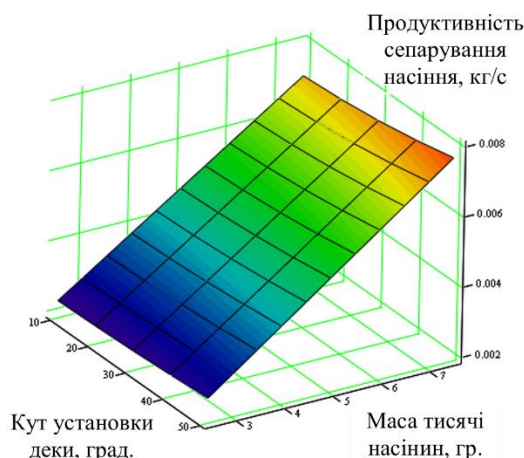


Рисунок 2.5 – Продуктивність сепарації від маси насінини і кута установки дека

По осі x ця залежність є експоненціальною, а по осі y прямо пропорційною. По осі z зменшення її незначне і в межах $30 \dots 50^\circ$ їх величини майже однакові для другої і для третього дека, і знаходяться в межах $0,15 \dots 0,2$ с. Тобто з точки зору продуктивності сепаратора оптимальне значення кутів нахилу знаходиться в межах $30 \dots 50^\circ$.

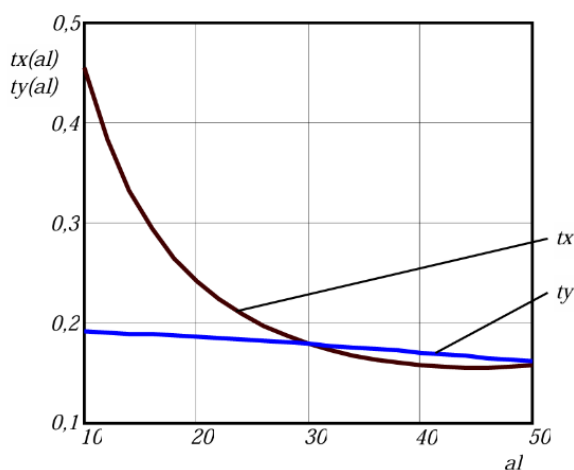


Рисунок 2.6 – Залежність тривалості руху насінини від 1-ого до 2-ого дека від його кута нахилу

al – кут встановлення нахилу дека 1-ого, град.;

tx, ty – час проходження насінини по осях x і y , с.

Залежності імпульсу удару насінини представлені на рис. 2.8 та 2.9. Силовий імпульс при ударі об першу деку зі збільшенням кута нахилу збільшується і при 45° починає зменшуватись, а силовий імпульс при ударі об другу деку зі збільшенням кута нахилу постійно зменшується і в межах $30^\circ \dots 32^\circ$ ці криві перехрещуються.

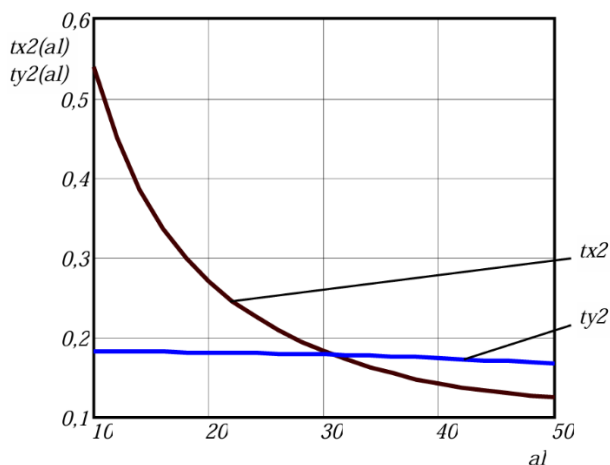


Рисунок 2.7 – Залежність тривалості руху насінини від 2-ого до 3-ого дека від його кута нахилу

al – кут встановлення нахилу дека 2-ого, град.;

tx, ty – час проходження насінини по осях x і y , с

Силовий імпульс при ударі на 2 і 3 деках із збільшенням кута нахилу спочатку збільшується а потім зменшується, криві перехрещуються в районі 22° , а зменшення починається з $35^\circ, 45^\circ$ співвідносно для удару об другу і третю деку.

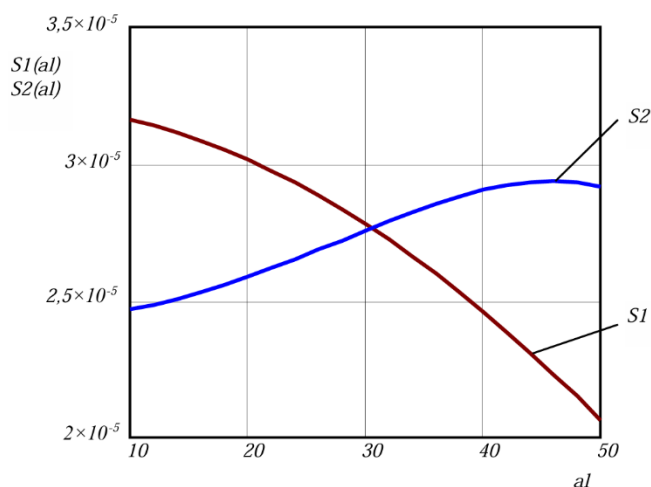


Рисунок 2.8 – Залежність імпульсу удару насінини на 1-му і 2-му деках від його кута нахилу до горизонталі

al – кут нахилу дек, град.; S_1 – силовий імпульс для насінини при ударі об 1-у деку, Н·с; S_2 – силовий імпульс для насінини при ударі об 2-у деку, Н·с

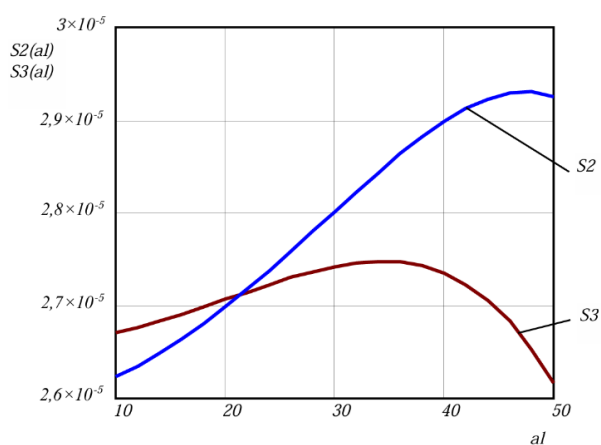


Рисунок 2.9 – Залежність імпульсу удару насінини на 2-му і 3-му деку від його кута нахилу до горизонталі

al – кут нахилу дек, град.; S_2 – силовий імпульс для насінини при ударі об 2-у деку, Н·с; S_3 – силовий імпульс для насінини при ударі об 3-у деку, Н·с

Залежності кута нахилу вектору швидкості від кута нахилу другого і третього дека (рис. 2.10 та 2.11) еквідистантні і майже однакові, як і залежності модуля швидкості від кута нахилу другого і третього дека (рис. 2.12, 2.13), що характерно при повторних багаторазових ударах насінини об дека.

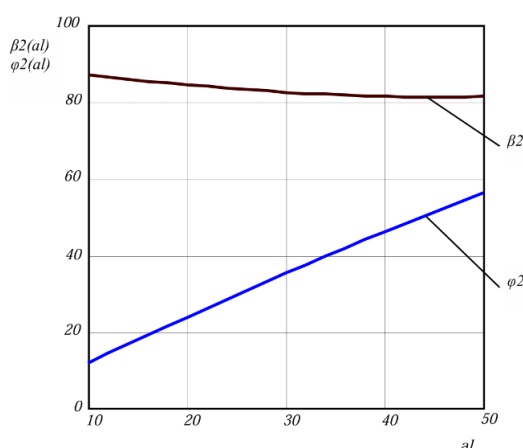


Рисунок 2.10 – Залежності кута нахилу вектору швидкості насінини від кута нахилу 2-ого дека

β_2 – кут нахилу вектору швидкості насінини відносно осі x у момент її удару об 2-у деку, град; φ_2 – кут нахилу вектору швидкості насінини до нормалі n_2 (нормаль

2-ого дека) після його удару об 2-у деку, град.; al – кут нахилу 2-ого дека, град

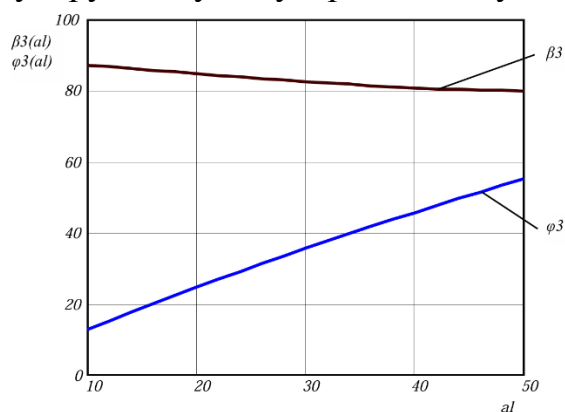


Рисунок 2.11 – Залежності кута нахилу вектору швидкості насінини від кута нахилу 3-ого дека

β_3 – кут нахилу вектору швидкості насінини відносно осі x у момент її удару об 3-у деку, град; φ_3 – кут нахилу вектору швидкості насінини до нормалі n_3 (нормаль 3-ого дека) після його удару об 3-у деку, град.; al – кут нахилу 3-ого дека, град

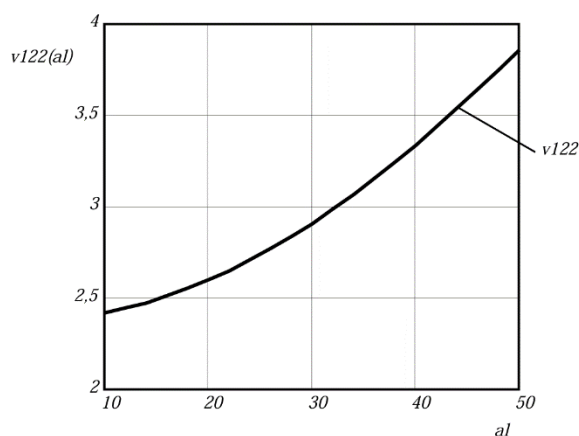


Рисунок 2.12 – Залежність модуля швидкості (v_{122}) насінини після удару від кута нахилу (al) 2-ого дека: al – в градусах; v_{122} – м/с

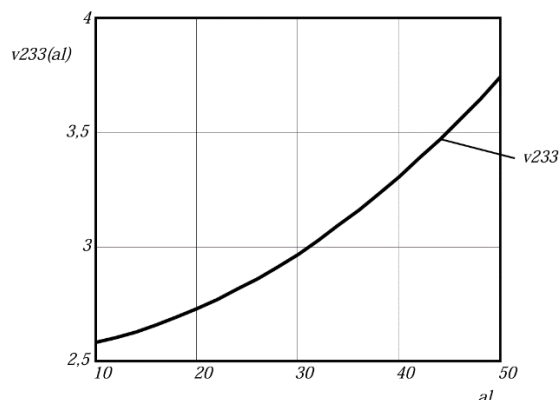


Рисунок 2.13 – Залежність модуля швидкості (v_{233}) насінини після удару від кута нахилу (al) 3-ого дека: al – в градусах; v_{233} – м/с

Таким чином, в даному розділі запропоновано новий спосіб визначення ефективного модуля пружності матеріалу насінини кулястої форми, що ґрунтується на розв'язку контактної задачі теорії пружності та встановлено, що з метою запобігання пластичних деформацій, в експерименті насінини повинні піддаватись малим навантаженням.

Теоретично встановлена залежність продуктивності багатоярусного ударного сепаратора від маси насінини і кута установки дек, яка коливається від 8 до 30 кг/год. для одного модулю сепаратора.

Тривалість руху насіння зі збільшенням кута нахилу зменшується. Тобто з точки зору продуктивності сепаратора оптимальне значення кутів нахилу знаходиться в межах 30...50°.

Силовий імпульс при ударі об першу деку зі збільшенням кута нахилу збільшується і при 45° починає зменшуватись, а силовий імпульс при ударі об другу деку зі збільшенням кута нахилу постійно зменшується і в межах 30...32° вони однакові. Силовий імпульс при ударі на 2 і 3 деках зі збільшенням кута нахилу спочатку збільшується, а зменшення починається з 35°, 45° співвідносно для удару об другу і третю деку.

Залежності кута нахилу вектору швидкості від кута нахилу другої і третьої дек майже однакові, як і залежності модуля швидкості від кута нахилу другого і третього дека, що характерно при повторних багаторазових ударах насінини об дека.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Програма та методика експериментальних досліджень.

В ході експериментальної перевірки визначалася техніко-економічна ефективність розробленої машини, відповідність її пропонованих до якості виконання роботи вимогам.

При цьому необхідно розв'язати наступні завдання:

1) Провести експериментальну перевірку теоретичних залежностей дальності польоту насіння від їхніх пружних властивостей і конструктивних параметрів робочого органа, що сепарує.

2) Провести обґрунтування основних параметрів робочого органа, що сепарує, при заданих продуктивності та засміченості.

Обробка експериментальних даних проводилась з використанням стандартних методик [18] – статистичних методів обробки експериментальних даних та методів багатofакторного планування експериментів.

Для одержання рівнянь регресії використовували центрально-композиційне планування зі стандартними планами експериментів [19]. Коефіцієнти рівнянь регресії підраховували на ЕОМ шляхом рішення системи рівнянь.

Випробування дослідного зразка відбивного сепаратора й серійних зерноочисних машин проводилися відповідно до ГОСТ 70.10.2-83 [8], яким установлюється програма й методи випробувань зерноочисних машин.

Перед проведенням випробувань був здійснений вибір умов випробування: агробіологічна оцінка матеріалів, що впливає на агротехнічні й експлуатаційні показники роботи насінноочисних машин.

3.2. Дослідження пружних властивостей насіння ріпаку та його важковідокремлюваних домішок.

Варіаційні криві розподілу значень коефіцієнтів відновлення швидкості насіння ріпаку та засмічувачів представлені на рис. 3.1.

Аналіз результатів досліджень [14] з рис. 3.1 показує, що без втрат насіння ріпаку можна виділити близько 78 % склероцій, до 77 % насіння підмаренника чіпкого, 89 % насіння круглеця метельчатого, 77 % пікульника, 89 % мишію, 92 % горця та 93 % курячого проса.

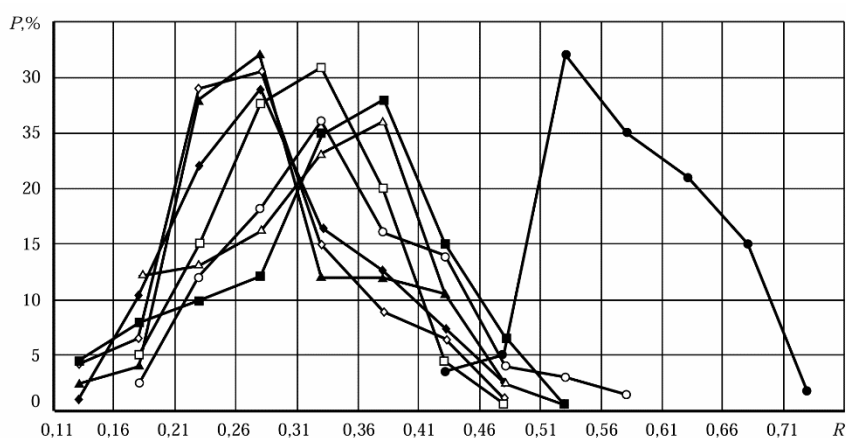


Рисунок 3.1 – Варіаційні криві розподілу значень коефіцієнтів відновлення швидкостей насіння та домішок по фанері

● – ріпак; ○ – склероції білої гнилі; ▲ – круглець метельчатий; △ – підмаренник чіпкий, ■ – пікульник; □ – куряче просо; ◆ – мишія; ◇ – горець

Проаналізувавши вихідну суміш на засміченість, залежно від того якими бур'янами вона була засмічена, з матриці (табл. 3.1) можна вибрати той або інший спосіб і засіб сепарації, а не випробувати усі існуючі, тим самим значно скоротивши час на пошук способу сепарації.

Далі були проведені дослідження впливу вологості та висоти падіння насіння на коефіцієнт відновлення. Залежність коефіцієнта K від вологості показана на рис. 3.2. Аналіз графіків свідчить, що для усіх видів насіння та склероцій білої гнилі з підвищенням вологості від 6 % до 22 % коефіцієнт відновлення зменшується, тобто пружні властивості насіння знижуються. Але це зменшення відбувається непропорційно.

Таблиця 3.1 – Матриця ознак подільності, способів та обладнання
сепарації насіння ріпаку

Признаки подільності Способи та обладнання для сепарації	Товщина	Ширина	Довжина	Аеродинамічні властивості	Коефіцієнт тертя, шорсткість	Пружність	Форма поперечного перетину
За розмірами Решета з довгастими отворами	4-7						
За розмірами Решета із круглими отворами		7					
За розмірами Трієри			2;6;7				
За розмірами Решета із трикутними отворами							6;7
За аеродинамічними властивостями Пневматичні сепаратори				4;6			
За електромагнітними властивостями Електромагнітні сепаратори					4		
За формою, коеф. тертя Скатні поверхні, змійки, гірки					2-4		2-4
За пружністю, формою, коеф. тертя Падді-машини					2-4;8	2-4;8	2-4;8
За аеродинамічними властивостями, коеф. тертя Пневматичні сортувальні столи				4-8	4-8		
За формою, коеф. тертя, пружністю Віброфрикційні сепаратори					2-7	2-7	2-8
За пружністю, формою, коеф. тертя Відбивні поверхні					2-8	2-8	2-8

2 – склеротії білої гнилі; 3 – круглець метельчатий; 4 – підмареник чіпкий; 5 – пікульник;
6 – куряче просо; 7 – мишій; 8 – горець

Так, для насіння ріпаку коефіцієнт відновлення знижується з 0,62 до 0,42. Насіння бур'янів та склеротій білої гнилі при вологості 6 % мають коефіцієнт відновлення в інтервалі від 0,19 до 0,26, зі збільшенням вологості їхні коефіцієнти відновлення знижуються, але не так інтенсивно як ріпаку, і при вологості 22 % знаходяться в інтервалі 0,14...0,19. Ці дані свідчать, що пружність насіння ріпаку знижується з підвищенням його вологості значно інтенсивніше. Тобто різниця між пружними властивостями насіння ріпаку і бур'янів склеротій білої гнилі з підвищенням їх вологості зменшується, а відтак і ефективність процесу сепарації буде знижуватись.

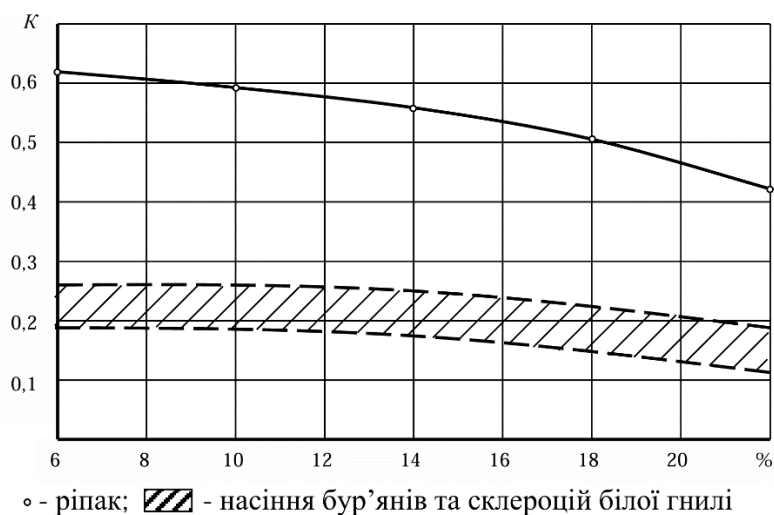


Рисунок 3.2 – Залежність коефіцієнту відновлення насіння від його вологості

Тому перед очищенням насіння ріпаку від важковідокремлюваного насіння бур'янів та склеротій білої гнилі, його слід висушити до вологості 6...8 %.

Швидкість насіння в момент удару залежить від висоти падіння на сепаруючу поверхню.

Також проведені дослідження залежності коефіцієнта відновлення швидкості під час удару від висоти падіння. Результати досліджень представлені на рис. 3.3.

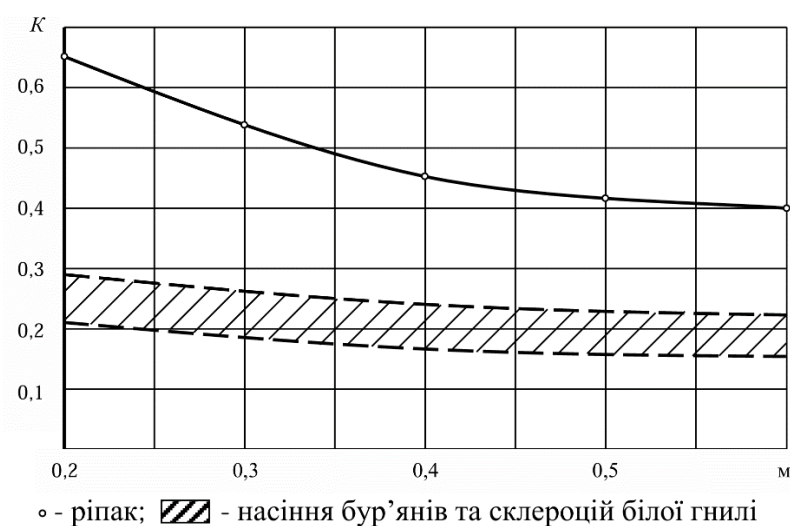


Рисунок 3.3 – Залежність коефіцієнтів відновлення насіння від висоти падіння

Як видно з графіків, зі збільшенням висоти падіння коефіцієнт відновлення знижується, причому для ріпаку це зниження дещо більше. Для ріпаку коефіцієнт відновлення знижується з 0,64 до 0,50 м, а для бур'янів з 0,21...0,28 м до 0,17...0,22м. Ці криві також свідчать про те, що найкраще розділення насіння

ріпаку і важковідокремлюваних домішків можливе в діапазоні висоти падіння з висоти 0,2 м до 0,4 м. Тому, при розробці конструкції багатоярусного ударного сепаратора, слід враховувати ці дані. З міркувань зменшення висоти підйому насіння ця висота повинна бути мінімальною, а з міркувань збільшення кількості повторних ударів її треба збільшувати.

3.3. Обґрунтування конструктивних параметрів багатоярусного ударного сепаратора.

Уточнення розмірів пружних дек сепараторів були розглянуті в [2]. Були прийняті пружні відбиття частки від похилої деки протягом декількох ударів, випробуваних нею на похилій площині. Для спрощення рівнянь прийнято удар абсолютно пружного тіла з коефіцієнтом відновлення швидкості прийнято $R_y=1$. Схема руху частки у цьому представлена на рис. 3.4.

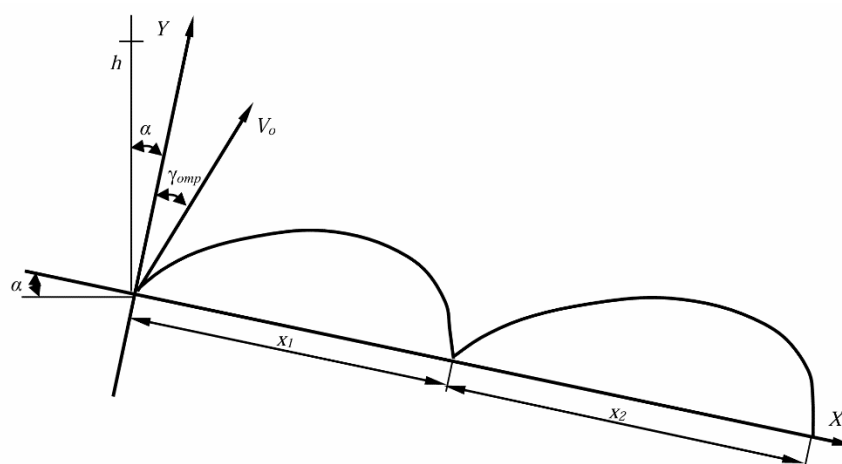


Рисунок 3.4 – Схема зіткнень частки з похилою площиною

Проекції початкової швидкості:

$$V_{0y} = V_0 \cos \alpha; \quad V_{0x} = V_0 \sin \alpha. \quad (3.1)$$

Рівняння руху частки в проекціях на осі:

$$\begin{aligned} V_x &= V_{0x} + a_x t; \quad V_y = V_{0y} + a_y t; \\ X &= V_{0x} t + \frac{a_x t^2}{2}; \quad Y = V_{0y} t + \frac{a_y t^2}{2}, \end{aligned} \quad (3.2)$$

Проекції швидкості в момент другого удару:

$$V_x = V_0 \sin \alpha + g \sin \alpha \frac{2V_0}{g} = 3V_0 \sin \alpha;$$

$$V_y = V_0 \cos \alpha - g \cos \alpha \frac{2V_0}{g} = \pm V_0 \cos \alpha. \quad (3.3)$$

Знак «-» відповідає моменту падіння, знак «+» – моменту відбиття, тобто V_y міняє тільки знак.

У момент n -го удару проекції швидкості після відбиття дорівнюють:

$$V_x = (2n-1)V_0 \sin \alpha;$$

$$V_y = V_0 \cos \alpha. \quad (3.4)$$

Таким чином, по осі x проекція швидкості увесь час зростає, а по осі y – залишається постійною (за умови $R_y=1$).

Проміжки часу між ударами не залежать ні від яких змінних величин і тому однакові для всіх положень.

У табл. 3.2 показані результати розрахунків відстаней польоту часток з різними характеристиками насіння ($R_y=2,0\dots5,0$) при початковій швидкості падіння ($V_0=2$ м/с).

Таблиця 3.2 – Відстань між відскоками ($n=5$)

$\begin{matrix} n \\ R_y \end{matrix}$	1	2	3	4	5
0,2	0,011	0,021	0,032	0,042	0,053
0,3	0,024	0,048	0,072	0,096	0,119
0,4	0,042	0,085	0,127	0,17	0,212
0,5	0,080	0,102	0,236	0,31	0,41

На рис. 3.5 та 3.6 наведені результати розрахунків при різних R_y і початковій швидкості $V_0=2$ м/с.

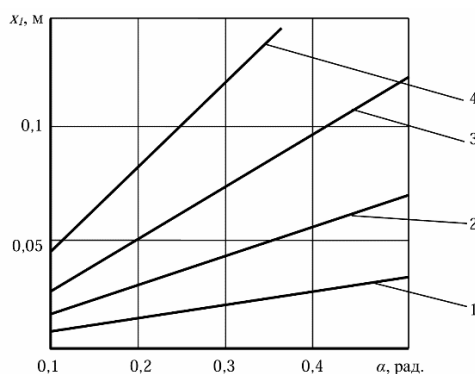


Рисунок 3.5 – Дальність польоту частки після першого удару $V_0=2$ м/с:

1 – $R_y=0,2$; 2 – $R_y=0,3$; 3 – $R_y=0,4$; 4 – $R_y=0,5$.

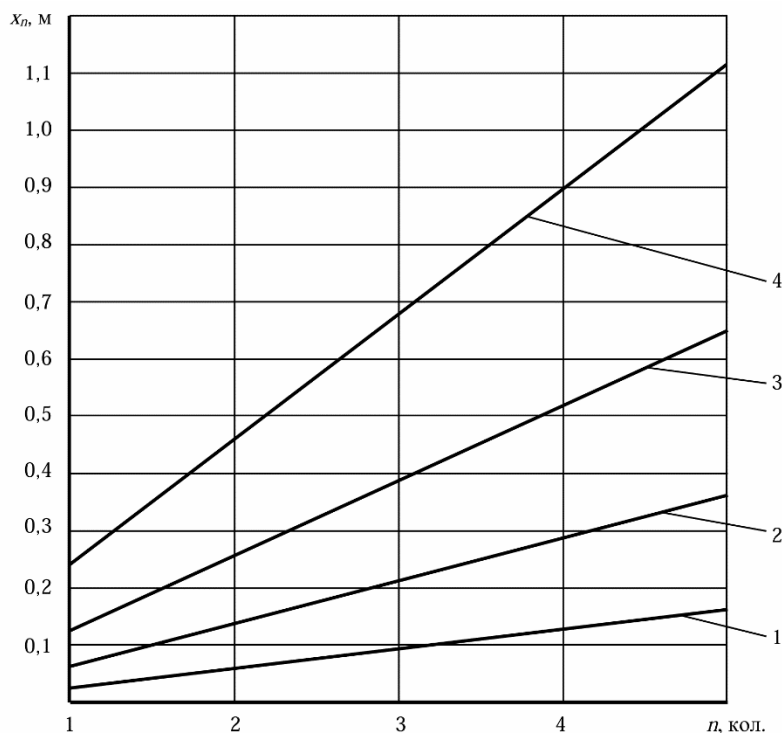


Рисунок 3.6 – Дальність польоту частки в процесі п'яти відскоків $\alpha=30^\circ$, $V_0=2$ м/с:

1 – $R_y=0,2$; 2 – $R_y=0,3$; 3 – $R_y=0,4$; 4 – $R_y=0,5$.

Результати розрахунків показують, що в діапазоні зміни коефіцієнта відновлення від $R_y=0,1$ до $R_y=0,4$ (значення для реальних зерен), найбільш прийнятними (з конструктивної точки зору) є параметри: $V_0=2$ м/с, $\alpha=30^\circ$. Для випадку $V_0=3$ м/с розміри похилих площин неприйнятні з конструктивних міркувань. Для режиму з $V_0=1$ м/с дальності відскоків порівнянні з розмірами часток і тому для сепарації цей режим непридатний. Очевидно, що бур'янисті домішки та зерна з $R_y \leq 0,1$ будуть практично скочувати по площині і зійдуть уже з першої деки для режиму сепарації з $V_0=2$ м/с, $\alpha=30^\circ$.

Таким чином для визначення конструктивних параметрів сепараторів з багаторазовим ударом визначена дальність польоту за n ударів. Використовуючи залежність дальності польоту частки, після першого удару й п'яти ударів можна рекомендувати поперечний і поздовжній розміри поверхонь, що сепарують, розробленого багатоярусного ударного сепаратора, поперечний може бути достатнім – 0,2 м, поздовжній – повинен бути значно більшим в зв'язку з тим, що частинки ріпаку з великим коефіцієнтом відновлення до $R=0,5$ вже за 5 ударів при

$\alpha=30^\circ$ здатні переміститись на довжину до 1,12 м. В той же час частинки бур'янів з коефіцієнтом навіть до $R=0,3...0,4$ перемістяться на величину не більшу 0,65 м. Враховуючі, що в новому розробленому нами гравітаційному багатоярусному ударному сепараторі кількість ударів може бути значно більшою 5 приймемо довжину поверхонь 1,5 м.

Принципова схема розробленого гравітаційного багатоярусного сепаратора представлена на рис. 3.7.

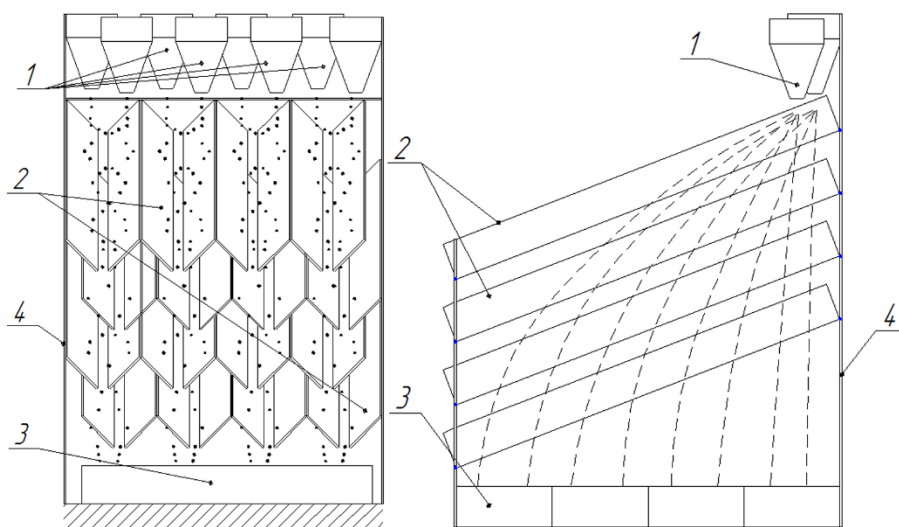


Рисунок 3.7 – Принципова схема гравітаційного багатоярусного ударного сепаратора

1 – бункер; 2 – ударні сепаруючі поверхні; 3 – приймачі продуктів сепарації;
4 – корпус сепаратора.

Багатоярусний ударний сепаратор складається з одного або декількох блоку-модулів залежно від продуктивності. Багатоярусний ударний сепаратор складається з живильного бункера 1, похилих з поздовжньо-поперечним нахилом неперфорованих дек 2 встановлених в чотири яруси і приймачів продуктів поділу 3. У кожному ярусі деки встановлені опозитно одна одній, а кожний нижчий ярус зміщено в поперечному напрямку послідовно в одну чи іншу сторону на величину від $\frac{1}{3}$ до $\frac{2}{3}$ ширини робочої поверхні.

Робота сепаратора здійснюється наступним чином. Зернова суміш із живильного бункера послідовно надходить на перший ярус ударних дек. Деки мають поперечний і поздовжній нахили і розташовані так, що зернова суміш,

випробувавши удар об одну, співударяється з поруч розташованою. Чим вище пружність зерна, тим більшу кількість ударів воно випробовує в проміжку між поруч розташованими деками, а, виходить, і на більшу відстань уздовж поздовжньої осі переміститься від місця подачі. Зійшовши з верхніх дек, зерно під дією сили ваги знову набирає необхідну швидкість і вдаряється об деку, розташовану нижче, але вже зі зсувом від місця подачі на відстань, пропорційну, в остаточному підсумку, пружності зерна. Далі процес повторюється в другому ярусі, а потім і у всіх інших, нижчорозташованих парах дек (ярусах).

У нижній частині пристрою розташовані прийомні ємності, і найбільш пружні зерна, в остаточному підсумку, потрапляють у самий далекий від живильного пристрою приймач. Відповідно дроблені, щуплі й найменш пружні будуть потрапляти в ближні від живильника приймачі.

3.4. Дослідження впливу параметрів сепарації на вихід очищеної фракції.

Дослідження впливу подачі і засміченості на вихід очищеної фракції.

Для досліджень була прийнята суміш відходів насіння ріпаку засміченістю 9,8 %, 15,2 % та 20,1 %. Поперечний кут нахилу робочих поверхонь був прийнятий 45°, поздовжній 15°. Подача суміші змінювалася від 80 до 240 кг/год. Результати досліджень представлено на (рис. 3.8).

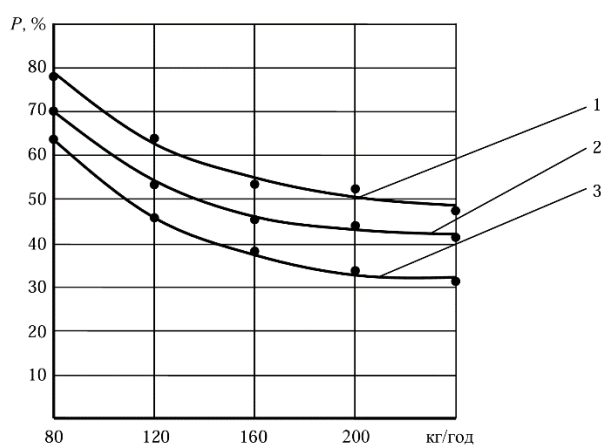


Рисунок 3.8 – Вплив подачі на вихід очищеної фракції

1 – засміченість 9,8 %; 2 – засміченість 15,2 %; 3 – засміченість 20,1 %.

Як видно з рис. 3.8 вихід очищеної фракції суттєво залежить від подачі суміші, а також від її засміченості. Криві залежності виходу очищеної фракції від подачі носять гіперболічний характер. Вихід очищеної фракції при цьому змінюється від 42 % до 68 % при вихідній засміченості 15,2 %. У сумішах засміченістю 20,1 % та 9,8 % вихід очищеної фракції змінювався від 32 % до 63 % і від 49 % до 78 % відповідно. Тобто зі збільшенням подачі і засміченості вихід очищеної фракції зменшується.

Дослідження впливу кількості ярусів і засміченості на вихід очищеної фракції.

Дослідження проводилися при постійній подачі прийнятій 90 кг/год., що відрізняється від теоретичних досліджень в межах 15 % на сумішах тієї ж засміченості. Результати досліджень представлено на (рис. 3.9). Як видно з рисунка вихід очищеної фракції практично прямо пропорційно залежить від кількості ярусів ударного сепаратора і змінюється від 26 % до 68 % при вихідній засміченості 15,2 % при випробуваннях відповідно на одному ярусі і на чотирьох.

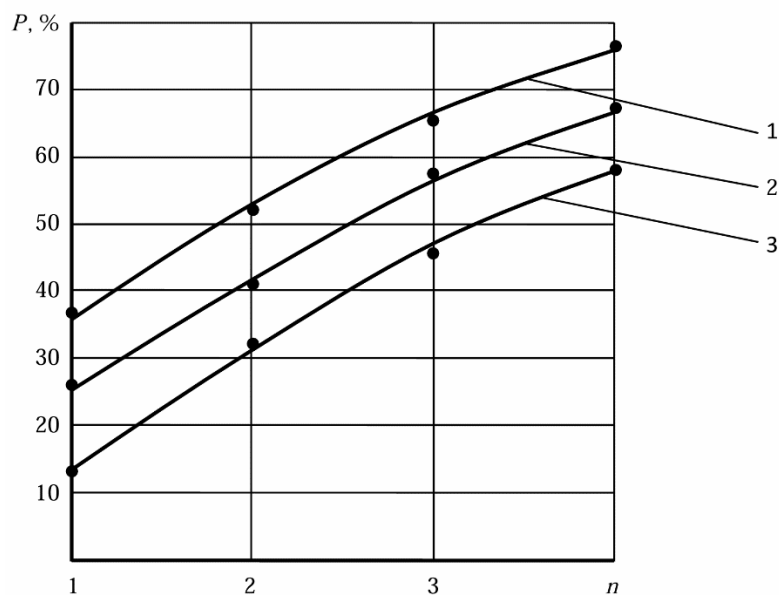


Рисунок 3.9 – Вплив кількості ярусів на вихід очищеної фракції

1 – засміченість 9,8 %; 2 – засміченість 15,2 %; 3 – засміченість 20,1 %

Засміченість на вихід очищеної фракції залежно від кількості ярусів впливає практично прямо пропорційно, так криві залежностей практично еквідистантні.

Дослідження впливу кутів нахилу робочих поверхонь і засміченості на вихід очищеної фракції.

Дослідження проводилися при постійній подачі 90 кг/год. на тих же сумішах. При дослідженнях кутів нахилу поперечний кут приймався фіксованим 25° , 35° , 45° і 55° зі зміною поздовжнього кута нахилу від 10° до 30° з інтервалом в 5° . Результати досліджень представлені на (рис. 3.10).

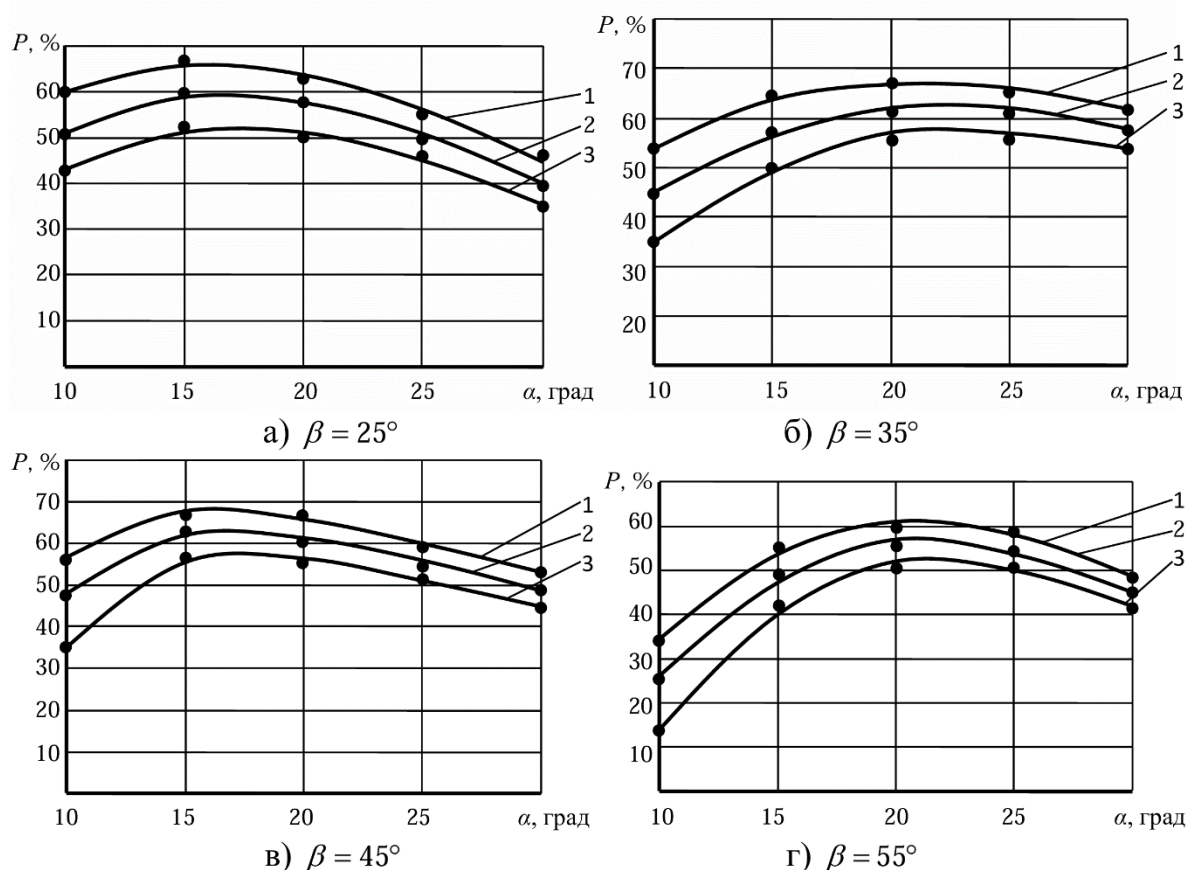


Рисунок 3.10 – Вплив кутів нахилу ударних поверхонь на вихід очищеної фракції
1 – засміченість 9,8 %; 2 – засміченість 15,2 %; 3 – засміченість 20,1 %

Як видно з рис. 3.10 значною мірою залежить від поздовжнього кута нахилу робочих поверхонь і змінюється від 15 % до 68 %, маючи при цьому при всіх досліджених кутах нахилу яскраво виражені екстремуми. Причому зі збільшенням поперечного кута нахилу екстремуми виходу очищеної фракції виражені яскравіше. Засміченість на вихід очищеної фракції і при зміні кутів нахилу впливає також практично прямо пропорційно через майже еквідистантний характеру кривих залежно від засміченості. Можна лише відзначити, що при менших

поздовжніх кутах нахилу вплив засміченості на вихід очищеної фракції трохи вище при більших кутах тому, що криві відстають одна від іншої на трохи більшу величину.

Із проведених досліджень видно, що найбільш доцільно процес сепарації сипучої суміші ріпаку слід вести при подачі вихідної суміші до 90 кг/год. на один модуль сепаратора, кількість ярусів необхідно мати не менш чотирьох, поперечний кут нахилу встановити 45°, поздовжній 15...20°.

Визначення оптимальних параметрів процесу сепарації.

Були проведені експериментальні дослідження з очищення на багатоярусному ударному сепараторі відходів насіння ріпаку після очищення на пневмо-решітно-триєрних машинах. Кількість насіння ріпаку в суміші складала 46,1 %, або, якщо користуватися загально прийнятим терміном, засміченість становила 53,9 %. Для визначення оптимальних параметрів сепарації був застосований метод симплекс планування багатофакторного експерименту при фіксованій подачі 90 кг/год. План експерименту, значення факторів і параметра оптимізації представлені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – План експерименту, значення факторів і параметра оптимізації при симплекс плануванні (сепарація насіння ріпаку на багатоярусному ударному сепараторі)

Вершина симплекса	Рівні факторів				Параметр оптимізації Р, %
	кодові		натуральні		
	X1	X2	α	β	
V1	0	0	15,0	40	41,1
V2	0,5	0,86	15,5	41,7	42,2
V3	1,0	0	16,0	40	41,8
V1/	1,5	0,86	16,5	41,7	45,3
V3//	1,0	1,72	16,0	43,4	47,8
V2//	2,0	1,72	17,0	43,4	46,9
V1//	1,5	2,58	16,5	45,1	49,2
V2//	0,5	2,58	15,5	45,1	48,1
V3//	1,0	3,44	16,0	46,8	48,3
V2///	2,0	3,44	17,0	46,8	48,8
V3//	2,5	2,58	17,5	45,1	47,5

З таблиці видно, що симплекс починає обертатись навкруги вершини V1//, знаходимо, що поздовжній кут нахилу поверхонь, що сепарують, становить $\alpha=16,5^{\circ}$, поперечний – $\beta=45^{\circ}$ при цьому вихід очищеної фракції становить до 49 %.

Рациональні параметри процесу сепарації насіння ріпаку були знайдені за допомогою багатofакторного планування експерименту шляхом використання трирівневого плану Боксу-Бенкіна другого порядку. В якості факторів були прийняті подовжній кут нахилу робочих поверхонь α_c , поперечний кут нахилу робочих поверхонь β_c , відстань між ярусами L_c , закодовані як $x_1 - \alpha_c$; $x_2 - \beta_c$; $x_3 - L_c$.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що отримане значення параметра оптимізації складає 67...68 %, при $\alpha_c=15\pm2,5^{\circ}$; $\beta_c=45\pm2,5^{\circ}$; $L_c=0,3\pm0,02$ м.

Таким чином, в розділі експериментальних досліджень обґрунтовані та визначені конструктивні параметри гравітаційного багатоярусного ударного сепаратора для сепарації насіння ріпаку від важковідокремлюваних домішок, кількість ярусів – чотири, довжина похилих еквідістантно встановлених поверхонь 1,5 м, відстань між ярусами 0,3 м.

Встановлено, що при сепарації насіння ріпаку на гравітаційному багатоярусному ударному сепараторі зі збільшенням подачі і засміченості вихід очищеної фракції зменшується. Вихід очищеної фракції зі збільшення кількості від 1 до 4 ярусів при постійній подачі 90 кг/год і середній засміченості 15,2 % зростає від 27 % до 68 відсотків відповідно.

Знайдені за допомогою планування багатofакторного експерименту рациональні параметри процесу сепарації дозволяють отримати вихід очищеної фракції насіння ріпаку до 67...68 % при вихідній засміченості 15,2 %

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Організація охорони праці в аграрному господарстві.

Організація охорони праці в аграрному господарстві керується Законом України «Про охорону праці» [12] та зумовлює створення служби охорони праці, розробку положень та інструкцій, забезпечення навчання та інструктажів, контроль за безпечними умовами праці та надання працівникам засобів індивідуального захисту.

Роботодавець несе відповідальність за безпеку працівників та організацію охорони праці в господарстві, яка передбачає виконання таких основних кроків:

- роботодавець забезпечує дотримання прав працівників та створення умов для безпечної праці;
- на підприємствах з 50 і більше працівниками створюється служба охорони праці;
- розробка та затвердження положень, інструкцій та інших актів з охорони праці, які регулюють правила безпеки на виробництві;
- визначення вимог безпеки при виконанні конкретних сільськогосподарських робіт, наприклад, у рослинництві;
- організація навчання та перевірки знань працівників з питань охорони праці;
- проведення інструктажів з охорони праці, виробничої санітарії та пожежної безпеки;
- забезпечення працівників засобами індивідуального захисту та засобами колективного захисту;
- контроль за станом безпеки на робочих місцях та дотриманням правил поведінки з сільськогосподарською технікою;
- надання чітких інструкцій щодо дій у разі виявлення підозрілих предметів, вибухонебезпечних речовин або інших загроз;
- введення правил повідомлення про небезпеку та евакуації людей до

безпечного місця.

Отже, завданнями охорони праці в сільськогосподарських підприємствах є забезпечення працівників сприятливими умовами виконання робіт для уникнення виробничих травм, завдання шкоди їх здоров'ю і т.ін. Всі базові знання з охорони праці робітників базуються на навчаннях з охорони праці на основі нормативно-правових документів, що диктують необхідні умови праці в сільськогосподарських господарствах.

4.2. Моделювання виникнення травматизму при роботі із сепаратором.

У розвитку всіх процесів виробництва, в тому числі технологічних застосовуються всі можливі науково-технічні досягнення, при яких відбувається ефективне використання ресурсів та зниження збитків внаслідок аварій і травм [13].

На сьогодні проблеми, які породжують аварії і травми мають пояснення низької дисциплінованості працюючого персоналу, а також недосконалим та значним спрацюванням машин та обладнання.

Відповідно розробляються заходи щодо попередження небезпечних ситуацій, які актуальні в усіх галузях сільськогосподарського виробництва. Тому, що недооцінені причини виникнення аварій призводять до травмування працівників та поломки використовуваних машин та обладнання, а також погіршення екологічних показників. Таким чином, в охороні праці працівників використовуються методи логічного моделювання виникнення небезпечних ситуацій, що запобігають виникненню виробничого травматизму та аварій.

Нами застосований метод логічного моделювання виникнення травм та аварій при роботі із сепаратором, дана схема якого показана Рис. 4.1.

$$H_{Y1} — H_{Y2} — H_{Y3} — \dots — H_C — (A; T)$$

Рисунок 4.1 – Модель виникнення травм при роботі із сепаратором

При використанні технічного обладнання появляється перша небезпечна умова **НУ1**, що стає причиною виникнення другої небезпечної умови **НУ2**, та в свою чергу може викликати слідуєчу небезпечну умову **НУ3** і таким чином, веде до виникнення небезпечної ситуації **НС** з наслідками **A; T**.

Таким чином, нами здійснено логіко-імітаційне моделювання виникнення травм і аварій при роботі із сепаратором. За даною схемою можна уникнути виробничого травматизму працівників, які працюють із машинами та обладнанням.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗРОБКИ

Для проведення розрахунків економічної ефективності запропонованого технічного рішення, ми використовували загально відому методику, що наведена в [7].

Далі ми визначили вихідні показники для розрахунків, що сформовані в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні показники для проведення розрахунків

<i>Показник</i>	<i>Базовий</i>	<i>Проектний</i>
Кількість сировини на годину, т	1,5	1,2
Кількість сировини на зміну, т	12	9,6
Кількість змін за рік, змін	60	60
Річний обсяг сировини, т	720	576
Вартість сировини, тис.грн/т	9,3	9,3
Втрати на сировину, тис.грн.	6696	5356,8
Продуктивність виробництва, т/годину	0,525	0,816
Обсяг виробництва за зміну, т	4,2	6,528
Кількість змін за рік, змін	60	60
Річний обсяг виробництва продукції, т	252	391,68
Вартість обладнання, тис.грн.	28,5	15
Вартість монтажних, пусконаладжувальних робіт та гарантійного обслуговування, тис.грн.	14,25	7,5
Вартість будівель та споруд, тис.грн.	28,5	15
Сума капіталовкладень, тис.грн.	71,25	37,5

Відносні капіталовкладення розраховувалися за формулою:

$$K_B = \frac{K}{A}, \quad (5.1)$$

Розрахунок собівартості реалізації продукції (С, тис. грн.) проводився за такою формулою:

$$C = B_C + Z_B + A_M + B_P + B_E + B_B + B_O + B_{II} + B_T + B_I + B_3, \quad (5.2)$$

Відрахування на амортизацію (A_M , грн.) визначалися за державними нормами використання технічних засобів. Так само розраховували відрахування на ремонт (B_P , грн.). І таким чином, формули для вказаних розрахунків мають такий вигляд:

$$A_M = \frac{B \cdot a}{100}, \quad (5.3)$$

$$B_P = \frac{B \cdot b}{100}, \quad (5.4)$$

Затрати на електроенергію (B_E , грн.), розраховувалися за виразом:

$$B_E = W_I \cdot D_I \cdot T_I \cdot C_E, \quad (5.5)$$

Затрати на воду для потреб при виконанні технологічної операції (B_B , грн.), розраховувалися за виразом:

$$B_B = V_{BI} \cdot D_I \cdot T_I \cdot C_B, \quad (5.6)$$

Затрати на споживання газу (B_O , грн.) розраховувалися за виразом:

$$B_O = \Gamma_C \cdot T_O, \quad (5.7)$$

Затрати на перевезення (B_T , грн.), розраховувалися за виразом:

$$B_T = \frac{A}{A_{BP}} \cdot B_{ПЕР} \cdot B_{ТКМ}, \quad (5.8)$$

Величина інших прямих затрат (B_I), приймалася на рівні 5 %, а загально-виробничих (накладних) (B_3) – 15 % від загальної суми затрат на заробітну плату обслуговуючих працівників з нарахуванням, амортизаційного відрахування та відрахування на поточні ремонти.

Таким чином, розрахунки відрахувань мають вигляд:

$$B_I = \frac{(B_B + A_M + B_P) \cdot 5}{100}, \quad (5.9)$$

$$B_3 = \frac{(B_B + A_M + B_P) \cdot 15}{100}, \quad (5.10)$$

Валовий дохід (виручка) ($BД$) від реалізації продукції виконувалась за виразом:

$$BД = A \cdot C_P, \quad (5.11)$$

Чистий прибуток ($ЧП$) розраховувався за виразом:

$$ЧП = BД - П_{П}, \quad (5.12)$$

Собівартість одиниці продукції (C_O) розраховувалася за виразом:

$$C_o \frac{C}{A}, \quad (5.13)$$

Термін окупності первинних капітальних вкладень (термін повернення капіталу) (T_{OK}) розраховувався за виразом:

$$T_{OK} = \frac{K}{ЧП} \cdot 12, \quad (5.14)$$

Річний економічний ефект за приведеними витратами ($PE_{ВП}$) розраховувався за виразом:

$$PE_{ВП} = [(C_{O1} + E_H \cdot K_{B1}) - (C_{O2} + E_H \cdot K_{B2})] \cdot A_2, \quad (5.15)$$

Техніко-економічні показники наведені в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Техніко-економічні показники виробництва

Показники	Базовий	Проект.	Проект. до базов.
Річний обсяг виробництва продукції, т	252	391,68	155,43
Сумарні капіталовкладення, тис.грн.	71,25	37,5	52,632
Собівартість виробництва продукції, тис.грн.	6806,9	5463,95	80,3
Валовий дохід від реалізації продукції, тис.грн.	2772	4308,48	155,43
Чистий прибуток, тис.грн.	2189,9	3403,7	155,43
Продуктивність праці, кг/люд.-год.	525	816	155,43
Собівартість одиниці продукції, грн.	27,01	13,95	51,645
Термін окупності капітальних вкладень, роки	1,5	0,1	-
Річний економічний ефект, тис.грн.	-	5126,92	-
Рентабельність виробництва продукції, %	32,2	62,3	-

Таким чином, нами проведені розрахунки економічної ефективності використання розробленого багатоярусного ударного сепаратора, що вказують на доцільність його впровадження у виробництво.

Розрахований річний економічний ефект від впровадження удосконаленого технічного рішення становить 5126 тис. грн., а термін окупності капітальних вкладень становить 0,1 року.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Таким чином, нами проведені наукові дослідження щодо покращення показників виконання технологічної операції сепарації насіння ріпаку удосконаленим багатоярусним ударним сепаратором. За даними дослідження нами сформовані такі висновки:

1. Проведений аналіз існуючих технічних рішень, що здійснюють сепарування насіння ріпаку. При цьому нами визначено, що вони не можуть забезпечити якісні показники сепарації насіння та його відокремлення від важковідокремлюваних домішок. Тому, дана проблема і визначила актуальність досліджень та розробки сучасного обладнання, яке буде виконувати якісне очищення насіння ріпаку.

2. Встановлено, що найбільші відмінності серед фізико-механічних властивостей насіння ріпаку і домішків спостерігаються в їхній пружності, тому сепарацію насіннєвих сумішей ріпаку та домішків слід здійснювати за допомогою удару по відбивним поверхням з послідуочим поділом компонентів за відмінністю в траєкторіях їх руху, причому найбільша ефективність досягається шляхом збільшення кількості ударних випробувань частинок суміші з робочими поверхнями сепаратора і більш спрямованою зміною, за рахунок цього, траєкторії руху частинок з різною пружністю в робочому органі сепаратора.

3. Розроблена матриця ознак подільності та способів сепарації насіння ріпаку від важковідокремлюваних домішок. Обґрунтовані та визначені конструктивні параметри гравітаційного багатоярусного ударного сепаратора для сепарації насіння ріпаку від важковідокремлюваних домішок. Знайдені за допомогою планування багатофакторного експерименту раціональні параметри процесу сепарації дозволили отримати вихід очищеної фракції насіння ріпаку до 67...68 % при вихідній засміченості 15,2 %.

4. Розрахований річний економічний ефект від впровадження гравітаційного багатоярусного ударного сепаратора складає 5126 тис. грн., а термін окупності капітальних вкладень становить 0,1 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бенмеджбер А. Фізико-механічні показники насіння деяких сортів ріпаку. *Харчова технологія*. 1987. № 6. С. 24-28.
2. Богомолів А.В. Сепарація важкороздільних сипких сумішей. Харків: ХНТУСГ, 2013. 308 с.
3. Богомолів О.О. До питання сепарації насіння ріпаку. Сучасні напрями технології та харчових виробництв: *Вісник ХНТУСГ*. Харків. 2016. Вип. №179. С. 59-63.
4. Брагінець М.В., Богомолів О.О. Питання розвитку зернопереробної галузі агропромислового комплексу України. Інженерія переробних і харчових виробництв: *Вісник ХНТУСГ*. Харків. 2016. Вип. № 2. С. 8-11.
5. Брагінець М.В., Дмитрів В.Т., Хмельовський В.С., Богомолів О.В., Богомолів О.О. Моделювання процесу сепарації насіння ріпаку сепаратором ударної дії. Техніка та енергетика. *Журнал наукових досліджень сільськогосподарського виробництва*. Київ. 2020. Вип.11. №2. С.157-164.
6. Васильєв А.М., Волків А.С., Кірокосян Д.В. Новий режим вібраційного руху частки на рифленій поверхні сепаруючих машин. *Зберігання та переробка сільгоспсировини*. 2012. № 12. С. 16-18.
7. ГОСТ 23728 - 88. Техніка сільськогосподарська. Основні положення та показники економічної оцінки.
8. ГОСТ 70.10.2-83. Випробування сільськогосподарської техніки. Зерноочисні машини та агрегати. Програма та методи випробувань. Харків: вид стандартів, 1984. 170 с.
9. Гурняк Л.І., Гуцуляк Ю.В., Юзків Т.Б. Опір матеріалів. Львів : Новий світ, 2005. 364 с.
10. Завгородній О.І., Обихвіст О.В. Періодичний рух частинок в процесі вібросепарації з впровадженням зміни напрямку коливань деки. *Науковий вісник НАУ*, № 92, 2005. с. 228-238.
11. Заїка П.М. Вібраційне переміщення твердих і сипких тіл у

сільськогосподарських машинах. Київ : Вид-во УСХА, 1998. 625 с.

12. Закон України «Про охорону праці». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>. (Дата звернення: 05.10.2025).

13. Моделювання процесів формування та виникнення травмонебезпечних і аварійних ситуацій на виробництві. Методичні вказівки для виконання практичних робіт з дисципліни «Охорона праці в галузі» для студентів всіх форм навчання / Укл. О.В. Коробко, Ю.І. Троян. Запоріжжя : ЗНТУ, 2011. с. 18.

14. Ольшанський В.П., Богомолів О.В., Богомолів О.О. Про взаємодію важкого твердого тіла з пружним півпростором. Сучасні напрями технології та механізації процесів переробних та харчових виробництв: *Вісник ХНТУСГ*. Харків. 2018. Вип. № 194. С. 38-46.

15. Очищення зерна – це просто упевнені власники сепаратора «Алмаз». *Зерно*. № 5. 2012. С. 191.

16. Пристрій для розподілу для зернових матеріалів за пружними властивостями: Д.п. № 57958 Україна, МКВ В 07 В 13/00. О.В.Богомолів, Ю.І. Токолов, М.О. Зінченко. № 200203187; Заявл. 7.03.2002; Опубл. 15.07.2003, Бюл. № 7. 2 с.

17. Скрипник О.В. Про програму розвитку агропромислового сектору у центральній частині України до 2003 року. *Збірник наукових праць ін-ту олійних культур УААН*, 1999. Вип. 4. С. 213-216.

18. Статистичні методи обробки емпіричних даних. Харків : Вид-во стандартів, 1988. 239 с.

19. Хан Г., Шапіро С. Статистичні моделі в інженерних завданнях. Харків : Світ, 1999. 395 с.

20. Харук І.Д. Обґрунтування технологічного процесу очищення та сортування насіння хрестоцвітих олійних культур на вібраційній насіннеочисній машині: Авторефер. дис. канд. техн. наук: 05.20.01/ Харків. ін-т хутро. та електр. с. х. Харків, 1993. 23 с.

21. Хлістова Н.А. Нове лабораторне обладнання та прилади для аналізу насіння. *Селекція та насінництво*. 1995. № 2. С. 72-74.