

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Осовський Михайло Вікторович

УДК 631.361

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Обґрунтування параметрів та режимів роботи
відцентрово-решітчастого сепаратора з радіальними
пластинами барабана**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Осовський М.В.

Керівник роботи

Ільченко А.В.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Осовський Михайло Вікторович. Обґрунтування параметрів та режимів роботи відцентрово-решітчастого сепаратора з радіальними пластинами барабана. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

В магістерській роботі підтверджено початкову гіпотезу щодо ефективності застосування підсівного решета з циліндричним барабаном і з радіальними пластинами з кутом відгину в основі барабана за напрямком його обертання. Встановлено, що при збільшенні засміченості зернового матеріалу від 2% до 6% повнота виділення дрібних домішок знижується з 97% до 77,4% при діаметрі отворів решета 3,6 мм.

Виробничі випробування експериментального зразка сепаратора з підсівним решетом засвідчили, що за продуктивності сепаратора 32,6 т/год повнота виділення дрібних домішок становила 89,8%, а втрати зерна у відходи не перевищували 0,5%.

Відцентрово-решітний сепаратор з підсівним решетом може використовуватися для обробки продовольчого зерна як машина попереднього очищення в поєднанні з кільцевим пневмосепарувальним каналом у стаціонарних і мобільних технологіях.

Ключові слова: сепарація, решето, барабан, продуктивність, очистка, домішки.

ANNOTATION

Osovsky Mikhail Viktorovich. Substantiation of the parameters and operating modes of a centrifugal sieve separator with radial drum plates. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

The master's thesis confirms the initial hypothesis about the effectiveness of the use of a sieve with a cylindrical drum and radial plates with a bending angle at the base of the drum in the direction of its rotation. It was found that with an increase in the contamination of the grain material from 2% to 6%, the completeness of the separation of small impurities decreases from 97% to 77.4% with a sieve hole diameter of 3.6 mm.

Production tests of an experimental model of the separator with a sowing sieve showed that at a separator capacity of 32.6 t/h, the completeness of the separation of small impurities was 89.8%, and grain losses to waste did not exceed 0.5%.

The centrifugal sieve separator with a sowing sieve can be used for processing food grain as a preliminary cleaning machine in combination with an annular pneumatic separation channel in stationary and mobile technologies.

Keywords: separation, sieve, drum, productivity, cleaning, impurities.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ.....	8
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ВІДЦЕНТРОВО-РЕШІТНОГО СЕПАРАТОРА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	17
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	32
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	45

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Головним завданням агропромислового комплексу залишається стале нарощування виробництва зерна.

Відомо, що на післязбиральну обробку та зберігання зерна припадають значні витрати, пов'язані з його виробництвом.

Застосування перспективних сучасних зерноочисних машин дасть змогу знизити витрати на післязбиральну обробку зерна.

Особливе значення надається попередньому очищенню зерна, де з вороху, що надходить, виділяють дрібне насіння рослин, легкі та великі домішки.

У машинах попереднього очищення, оснащених плоскими решетами, зокрема й підсівними, істотно підвищити продуктивність без збільшення площі сепарувальної поверхні не представляється можливим. Тому особливого значення набуває проблема пошуку нових принципів сепарування. Розроблення нових способів очищення зерна від дрібних домішок є найперспективнішим напрямком вирішення створення високопродуктивного сепаратора. Дослідження в галузі відцентрово-решітного сепарування показують, що на процес сепарування істотний вплив чинять конструктивно-кінематичні та технологічні параметри. Особливо відчутний їхній взаємозв'язок під час роботи сепаратора в режимі ворохоочисника з обов'язковим виділенням дрібних домішок на циліндричному підсівальному решеті з круглими або довгастими отворами. Такий технологічний процес можна інтенсифікувати за рахунок використання відцентрових сил і застосування циліндричного підсівного решета.

Об'єкт дослідження – технологічний процес сепарації зерна на циліндричному підсівному решеті відцентрово-решітного сепаратора з радіальними пластинами барабана.

Предмет дослідження – закономірності процесу сепарації зерна на циліндричному підсівному решеті відцентрово-решітного сепаратора з радіальними пластинами барабана.

Метою роботи є інтенсифікація технологічного процесу очищення зернового вороху в циліндричному підсівному решеті відцентрово-решітного сепаратора шляхом зміни кута відгину радіальних пластин у основі циліндра барабана..

У зв'язку з поставленою метою в цій роботі вирішувалися такі науково-практичні завдання:

- розробити технологічну схему відцентрово-решітного сепаратора оснащеного радіальними пластинами з відгином на основі циліндра барабана.
- установити закономірності основних параметрів сепарування під час очищення зерна на циліндричному підсівному решеті з радіальними пластинами барабана.

Методи наукового дослідження. Проведені дослідження ґрунтуються на аналізі вітчизняної та зарубіжної науково-технічної літератури. Теоретичні та експериментальні дослідження виконувалися з використанням законів математики, фізики та теоретичної механіки в лабораторних і виробничих умовах. Використовувалися загальноприйняті та приватні методики, підходи планування експериментів, обладнання відповідно до чинних ДСТУ і методів математичного моделювання за допомогою програмного забезпечення Statistica 6.1, Microsoft Excel 2013, Mathcad 15.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. **Осовський М.В.** Класифікація аспіраційних систем відцентрово-решітних сепараторів з вертикальною віссю обертання. Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь», 5 квітня 2023 року Житомир: Житомирський агротехнічний фаховий коледж, 2023. С. 228.

2 Сукманюк О.М., **Осовський М.В.** Технологічна схема відцентрово-решітного сепаратора. *Збірник тез доповідей XXIV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (17–19 жовтня 2023

року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ.. 2023.С. 125-128.

3. Ільченко А.В., **Осовський М.В.** Будова лабораторної установки для дослідження відцентрово-решітного сепаратора. XII Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (02-20 жовтня 2023 р.). URL: <http://animal-conf.inf.ua/conf.html> (дата звернення 21.11.2023).

Практичне значення одержаних результатів. Практичний інтерес для виробництва представляє обґрунтовані конструктивно-режимні параметри відцентрово-решетного сепаратора, оснащеного радіальними пластинами барабана.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 14 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 46 сторінок комп'ютерного тексту, містить 17 рисунків і 4 таблиці.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНОВОГО МАТЕРІАЛУ

Відцентрово-решітному сепаруванню зерна присвячені роботи багатьох учених, які довели їхню перевагу порівняно з плоскорешітним сепаруванням.

Основний поділ відцентрово-решітних сепараторів відбувається за розташуванням осі обертання, тобто вони поділяються на сепаратори з вертикальною, похилою та горизонтальною осями обертання.

Причому сепаратори з горизонтальною віссю обертання називаються з певним допущенням, тому що прийнято називати так сепаратори, які мають невеликий кут нахилу від горизонтальної осі (хоча з формальної точки зору вони не є горизонтальними). Водночас сепараторами з похилою віссю обертання заведено вважати сепаратори, які мають невелике відхилення від вертикальної осі (не більше 45 градусів).

Низка авторів довели, що застосування вертикальної осі обертання решета дає змогу зменшити довжину решета вдвічі зі збереженням ефективності очищення [2], використати всю площу решіт у технологічному процесі, зменшити енергоємність процесу, бо зерно пересувається під власною вагою відносно решета, а також значно зменшити габаритні розміри (у проекції на горизонтальну площину).

Перші дослідження з центрифугування насіннєвих сумішей були проведені в Німеччині Германом Кайзером (Herman Kayser) 1912 року [4].

Його центрифуга проводила поділ насіння за товщиною під час руху його вздовж конічної щілини. Автором Ланге А.П. в роботі 1933 року описується дана центрифуга як серійно випускається машина для обладнання невеликих елеваторів і комор, що працює за принципом відсіювання зерна під дією відцентрової сили.

Центрофуга Кайзера є перекинутим усіченим конусом, стінки якого складаються з тонких сталевих прутів, що зближуються знизу і розходяться

догори так, що між прутами виходять щілини, які збільшуються догори (рис. 1.1).

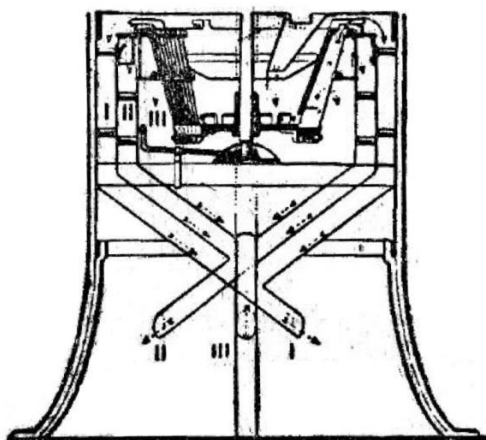


Рис. 1.4. Схема роботи центрифуги Кайзера (1933 рік): I – велика фракція; II – середня фракція; III – дрібна фракція. На рис. 1.2 представлено конструктивно-технологічні схеми відцентрово-решітних сепараторів із вертикальною віссю обертання.

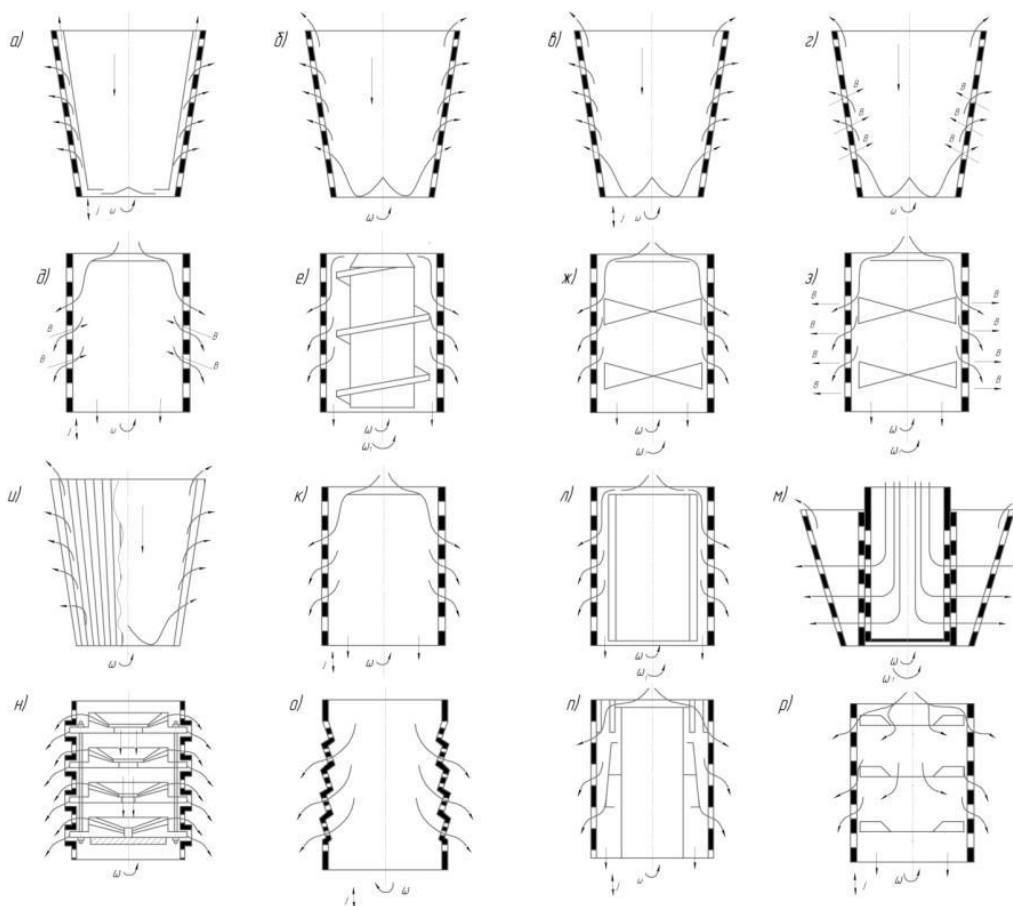


Рис. 1.2. Схеми відцентрово-решітних сепараторів із вертикальною віссю обертання.

На сучасному етапі розвитку відцентрово-решітного сепарування в напрямі дослідження конічного решета з профілюючою поверхнею (пруткове решето) працювали Іванов М.М., Лузан П.Г., Сундєєв О.А. та інші автори (рис. 1.2) [4].

Основною перевагою сепараторів із конічною робочою поверхнею є відсутність "зависання" на решеті зі збільшенням сили тертя, що може бути спричинена збільшенням окружної швидкості решета, або збільшенням вологості вихідного матеріалу, що є дуже важливим для машин попереднього очищення зерна [4].

Недоліком конічної форми решета є збільшення швидкості руху зерна від малої основи конуса до великої, що призводить до нестабільного протікання процесу сепарації. Ще одним негативним фактором застосування конічної форми решета є складність очищення сепарувальної поверхні, у зв'язку з різницею окружних швидкостей (відбувається нерівномірне спрацьовування очисної поверхні).

Для поліпшення протікання процесу сепарації на конічному решеті з метою виділення довгих домішок Несиков А.А. [3] і Мінаєв В.Н. [4] застосували обмежувальну поверхню (рис. 1.2 і 1.3). Філатов М.А. для виділення довгих домішок на конічній поверхні застосував лабіринтові решета (виконані у вигляді двох сполучених каналів) (рис. 1.3) [9]. У сепараторах обох авторів [10] решета крім обертального руху здійснювали також осьові коливання.

У роботах Кіма Р.А. [11] досліджено конічні ступінчасті центрифуги без використання вібрації (рис. 1.2). Використання вібрації на решеті з конічною просіювальною поверхнею (рис. 1.2) дало змогу Авдєєву Н.Є. [6] значно підвищити ефективність виділення прохідної фракції.

Повітряний потік, що подається зовні решета, сприяє розшаруванню зернової суміші та за наявності вібрації призводить до "псевдозрідження" зернової суміші, що, своєю чергою, призводить до підвищення якості поділу зернової суміші (рис. 1.2) [3].

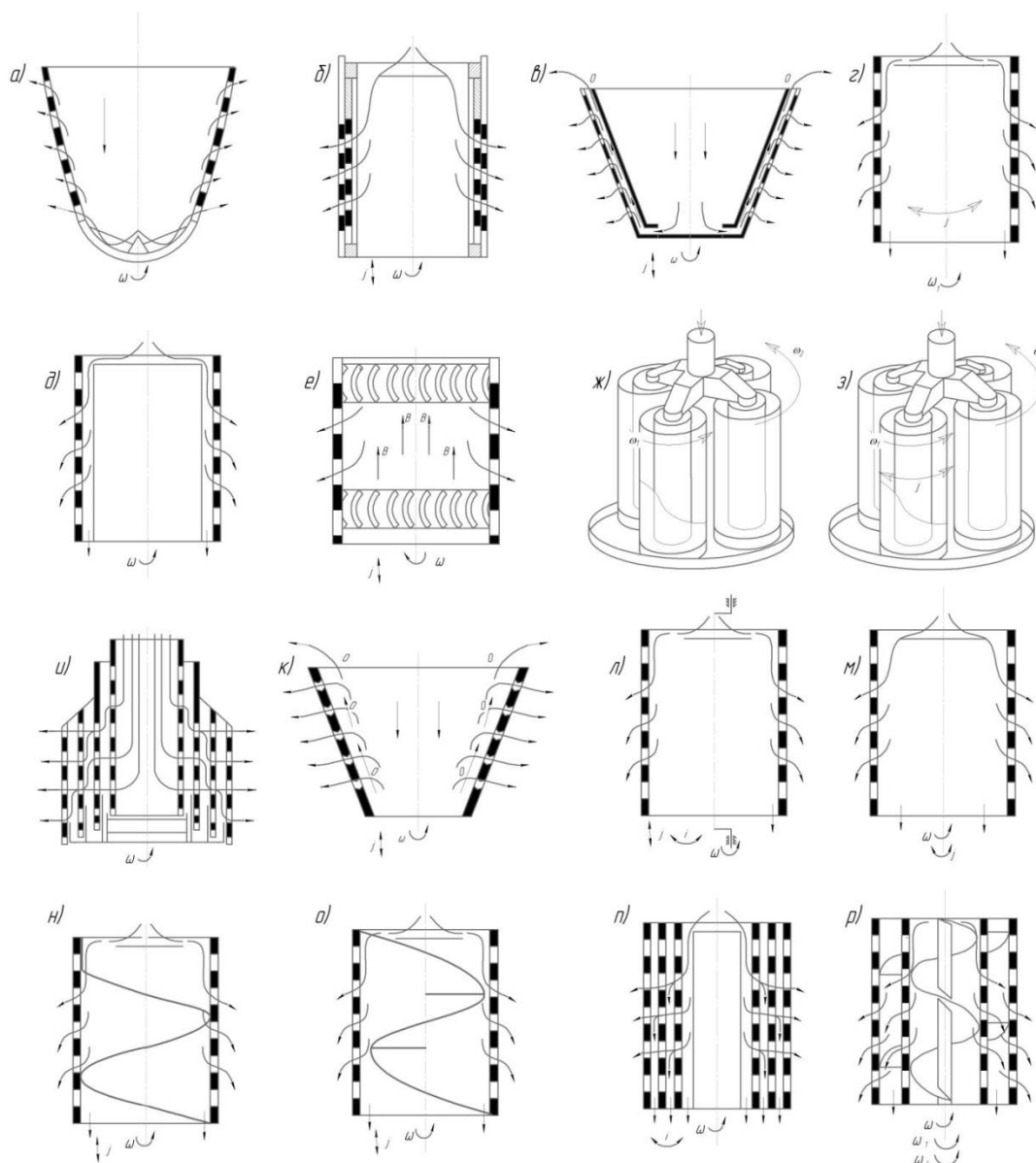


Рис. 1.3. Схеми відцентрово-решітних сепараторів з вертикальною віссю обертання.

Найбільш вигідною з технологічної точки зору є циліндрична форма решета. Дані решета позбавлені недоліків властивих кінчним решетам.

Найближче до відцентрових сепараторів із кінчною просіювальною поверхнею примикають сепаратори з криволінійною поверхнею решета, а саме параболоїд і гіперболоїд обертання (рис. 1.3).

Розглянемо основні технологічні рішення, що сприяють підвищенню ефективності сепарації.

Найпоширеніший спосіб підвищення ефективності очищення це застосування вібрації. Промисловістю випускаються відцентрово-решітні сепаратори з циліндричними решетами і використанням вібрації в технологічному процесі: БЦСМ-50 (Україна), МЗП-25/10 (Україна), СЗА-25 (Польща).

Для збільшення притиснення шару зерна до решета і поліпшення процесу просіювання прохідної фракції через зерновий шар і решето Бочкарьовим О.М. і Ульяновим А.Ф. [4] (рис. 1.3 д), а також Полуектовим М.І. [4] запропоновано застосування потоку повітря всередині решета. Причому в сепараторі Полуектова М.І. відсутня вібрація, але присутні пластинчасті зворушувачі, розташовані на осьовому валу по гвинтовій лінії. Завдяки зворушувачам створювався більший тиск на зернову суміш, при цьому кількість обертів зворушувачів у 1,46 раза більша за обертів циліндричного решета. Дослідження Полуектова Н.І. дали змогу встановити, що різниця в значенні середніх питомих ваг фракцій зростає в міру збільшення відцентрових сил. При цьому ним було визначено допустиму швидкість робочих органів стосовно поля інерційних сил:

$$V = \sqrt{\frac{2 \cdot A}{m}}, \text{ м/с} \quad (1.1)$$

де A – кінетична енергія, що спричиняє руйнування зерна, Дж;

m – маса зерна.

Для підвищення ефективності розділення зернової суміші авторами [3] були використані стратифікуючі шипи (рис. 1.3 ж).

Причому, конічний шиповий сепараційний барабан за однакового виходу і чистоти зерна порівняно з циліндричним допускає підвищення питомого навантаження в 2 рази.

Можливість застосування циліндричних і конічних решіт, встановлених концентрично, показав у своїй роботі Вихорнов В.Л. (рис. 1.2 м). У цьому ж сепараторі застосовано решета з регульованими отворами, які виходять зміщенням двох співвісних решіт, що прилягають одна до одної, у вертикальній

площині. Такий самий принцип регулювання розміру отворів застосовано в сепараторах Нілова В.П., Коваленка Н.В. і М.В. Токмакова [6].

Ямпілов С.С. [5] також досліджував роботу концентрично встановлених циліндричних решіт, причому він досліджував решета з однаковими отворами. У роботі [7] крім обертального руху концентричним решетам надається ще знакозмінне прискорення в окружному напрямку.

Можливість пошарового поділу зернової суміші по висоті циліндричного решета розглянуто в роботах Тищенка Л.М. та Прокопенка О.С. [3] (див. рисунок 1.3н, 1.3р, 1.3п).

Для збільшення просіювальної поверхні циліндричного решета, решето в роботі [2] виконано ступінчастим.

Для виділення довгих домішок на циліндричному решеті Мінаєв В.Н. [61] запропонував використовувати нерухому обмежувальну поверхню всередині решета (див. рисунок 1.6д).

Для зниження шкідливого впливу осьових коливань циліндричних решіт Семенов В.А. і Зуєва П.Г. використовували крутильні коливання, що дало змогу підвищити ефективність очищення і збільшити довговічність роботи сепаратора (рис. 1.3г) [7].

Яковлев В.Т. досліджуючи роботу підсівного решета з гвинтовим ротором (рис. 1.2е) розглянув п'ять можливих варіантів протікання технологічного процесу [3], а саме: рух матеріалу зверху донизу за умови обертання решета та ротора в одному напрямку (за швидкості ротора, що більша за швидкість решета, швидкість решета, що менша за швидкість ротора); рух матеріалу знизу догори за умови обертання решета та ротора в одному напрямку (за швидкості ротора, що менша за швидкість решета, швидкість решета, що менша за швидкість ротора); рух матеріалу знизу догори за умови обертання решета та ротора у протилежних напрямках (за швидкості ротора, що не дорівнює швидкості ротора); рух матеріалу знизу догори за умови обертання решета та ротора в протилежних напрямках (за швидкості ротора, що не дорівнює швидкості ротора). Найбільш

раціональним за даними досліджень було обрано варіант при русі матеріалу зверху донизу при обертанні решета і ротора в одному напрямку і за швидкості ротора, більшої за швидкість решета.

Відцентрово-решітний сепаратор Verticleaner VCC-600, який випускає фірма "Сimbria" (Данія), містить у собі гвинтовий ротор, що має окружну швидкість, яка вдвічі більша за окружну швидкість решета, напрямок руху зернового матеріалу згори донизу (див. малюнок (1.5е) [13].

Використання планетарного руху циліндричних решіт у сепараторі "Sigma" фірми "Damas" (Данія) дає змогу домогтися зсувного ефекту зернової суміші в окружному напрямі, що сприяє просіюванню прохідної фракції (див. рисунок 1.3ж). У роботах Холоділіна О.М., Вертякова Ф.М. і В.М. Міхальова [3] (рис. 1.3з) окрім планетарного руху решіт у приводі використовуються крутильні коливання.

Для стабілізації режиму руху зерна на решеті використовуються спіралі (рис. 1.3н і 1.3о) [4].

На рис. 1.2л представлена схема сепаратора, розробленого Тарасовим Б.Т. [5]. Особливістю цього сепаратора є те, що решето і внутрішній пластинчастий барабан обертаються в один бік, але з різними швидкостями, причому пластинчастий барабан обертається вдвічі повільніше, ніж решето. Далі в роботах Стрикунова М.І., Леканова С.В. і Хижникова А.А. було продовжено роботу над даним принципом сепарування [7].

Постійне вдосконалення відцентрово-решітних сепараторів з вертикальною віссю обертання призвело до того, що нині випускають сепаратори типу БЦС уже третього покоління зі значно зміненими конструктивними параметрами [1].

Відцентрово-решітні сепаратори значною мірою ефективніші за плоскорешітні машини за низкою показників: більша питома продуктивність (у 5 разів і більше), менша енерго- і металоємність, значно менші габарити, висока ефективність очищення [1].

Одним із найважливіших елементів відцентрово-решітних сепараторів, особливо тих, що працюють у режимі попереднього очищення зерна, є аспіраційна система [1].

Важливим фактором, що визначає ефективність системи аспірації, є застосування різних лопаток на тарілці. При певних кінематичних параметрах тарілки, можливо відмовитися від використання лопаток. Для збільшення процесу сегрегації вихідного матеріалу лопатки виконують із зазором на конічній частині тарілки. Також для інтенсифікації сепарування використовують лопатки двох типорозмірів, поперемінно встановлені, активні циліндричної форми, зі змінним кутом нахилу, зі збільшуваним кутом нахилу відносно диска по дузі кола [1].

Для більш інтенсивного впливу на зерновий матеріал в аспіраційній камері необхідно правильно розміщувати повітрязабірні вікна в кільцевому аспіраційному каналі. Застосовуються лопатки для "закручування" повітряного потоку. Використання повітрязабірних вікон жалюзійного типу дає змогу уникнути втрат зерна [1].

Приймальний конус-розподільник на тарілці дає змогу регулювати початкову швидкість зернової суміші на тарілці, він може бути як із прямолінійною напрямною, так і у вигляді брахістохрони [1].

З метою зміни швидкості руху повітряного потоку встановлюють різні заслінки. Крім використання двох осадових камер, деякі виробники сепараторів (CZA-25 фірми "Agaj" (Польща) використовують додаткову установку циклона для поліпшення осадження пилоподібних частинок. З цією ж метою (знепилювання) після проходу решітного очищення зерно додатково знепилюється [1].

Запропонована класифікація аспіраційних систем відцентрово-решітних сепараторів із вертикальною віссю обертання повною мірою розкриває можливості їхньої подальшої інтенсифікації з технологічної точки зору [1].

Відома зерноочисні машини, в яких застосовуються кільцеві пневмосепарувальні канали, де введення матеріалу, що сепарується, здійснюється конусом, з основою, що має поверхню тора, та з криволінійною верхньою кромкою [1].

У даній зерноочисній машині пневмосепарувальний кільцевий канал працює спільно з решітними блоками. Тому з метою спрощення конструкції машини, розкидач приводиться в обертання безпосередньо від вала ротора, що обертається з оптимальною для решіт швидкістю [1].

Для ефективної роботи пневмосепарувального каналу потрібне рівномірне надходження зернового матеріалу з оптимальною швидкістю введення частинок у канал [1].

Найближчим за своєю технічною сутністю є відцентрово-повітряний сепаратор, який містить циліндричний корпус, завантажувальну горловину, конічний відбивач із кільцевим пневмосепарувальним каналом, спрямовувальний конус, розміщений під завантажувальною горловиною на днищі чаші розкидачі, плоскі розгінні лопатки, привід розкидачі, вивантажувальний патрубок [1].

Висновки по розділу

На основі аналізу наявних відцентрово-решітних сепараторів для очищення зерна, можна зробити такі висновки: найперспективнішим напрямом слід вважати відцентрово-решітне сепарування, за якого поділ зернового матеріалу на решетах із круглими отворами відбувається за двома розмірними ознаками - довжиною та шириною часток, а на решетах із довгастими отворами в режимі підсівалки решета на виділенні дрібних домішок

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ВІДЦЕНТРОВО-РЕШІТНОГО СЕПАРАТОРА ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Спираючись на попередні дослідження було вдосконалено відцентрово-решітний сепаратор із внутрішнім пластинчастим барабаном. Для очищення зерна сепаратор має систему повітряного очищення (виділення легких домішок), два блоки решіт: підсіваючий 15 (виділення дрібних домішок) і зерновий 22 (очищення від довгих і великих домішок) [2].

Відцентрово-решітний сепаратор, представлений на рис. 2.1, складається з нерухомої завантажувальної горловини 25, конічної обичайки 12 з ділильним решетом 10 усередині неї, яка має роликову опору 30, два блоки решіт 15 і 22 і встановлений усередині блоків пластинчастий барабан 34 [2].

З метою інтенсифікації процесу сепарації було виготовлено пластини з відгином у основі циліндричного барабана в напрямку його обертання 14, розміщені вздовж утворюючої. Кут відгину пластин перебуває в інтервалі $\beta_0 = 15^\circ \dots 25^\circ$ [2].

Пластини мають полиці для кріплення і встановлені таким чином, що утворюють щілинне решето [2].

Відцентрово-решітний сепаратор належить до зерноочисних машин і призначений для сепарації зернових сумішей повітряним потоком і решетами.

Відцентрово-решітний сепаратор містить завантажувальну горловину 25, привід 1 і циліндричний корпус 28, у якому на приводному валу 18 розміщені: конічна обичайка 29, блок циліндричних решіт 15 і 22 зі щітками 8 і 17, конічне розподільче решето 10, пластинчастий барабан 31 з пластинами підсівної 14 і зернової 6 секції. Над основним циліндричним корпусом 28, між завантажувальною горловиною 25 і конічною обичайкою 29, розміщено додатковий циліндричний корпус 33 аспіраційної системи із забірними вікнами 11, діаметром, що дорівнює діаметру основного циліндричного корпусу. Втулка

32, з'єднує конічну обичайку 29 і конічний розкидач зерна 12. Між конічною збіркою 3 і відбивачем 27 встановлено кільцевий пневмосепарувальний канал 26 [2].

Над конічним відбивачем 27, на його циліндричній частині 4 встановлений регулювальний стакан 13 швидкості повітряного потоку, а над конічним відбивачем 27 встановлений патрубок 23, для з'єднання його з осадовою камерою легких домішок 16 [2].

Привід обладнання корпусу аспіраційної системи здійснюють від конічної обичайки 29, а регулювальна склянка виконана з можливістю переміщення вздовж вертикальної осі конічного відбивача, при цьому висота циліндричної регулювальної склянки менша за циліндричну частину конічного відбивача, на якому вона встановлена [2].

Привід конічного розкидача 12 здійснюється від конічної обичайки 29 за допомогою втулки 32, що має у верхній частині шпонковий паз для шпонки 37 і стопорний болт 38 для з'єднання з валом 36 конічного розкидача, а в нижній частині профрезеровані пази під кутом 120° для з'єднання з конічною обичайкою. Нижнім кінцем втулка 32 закріплена на маточині 39 через бронзову втулку 40 на валу пластинчастого барабана 34. На маточині конічної обичайки розміщено три промені 35, що рознесені один від одного під кутом у 120° [2].

Решітний блок складається з конічної обичайки 29, що має роликову опору 30, живильника 9, конічного ділильного решета 10, циліндричного колосового решета 5, підсівального решета 15, верхньою основою жорстко прикріпленого до конічної обичайки 29, зернового решета 22 та привода 1 і 2. Циліндричні решета мають циліндричні очисні щітки 8 і 17. Пластинчастий барабан, жорстко пов'язаний із приводним валом, містить пластини підсівної 14 і зернової секцій 6 [2].

Сепаратор також містить корпус і патрубки для дрібних 19, великих домішок 21 і очищеного зерна 20 [2].

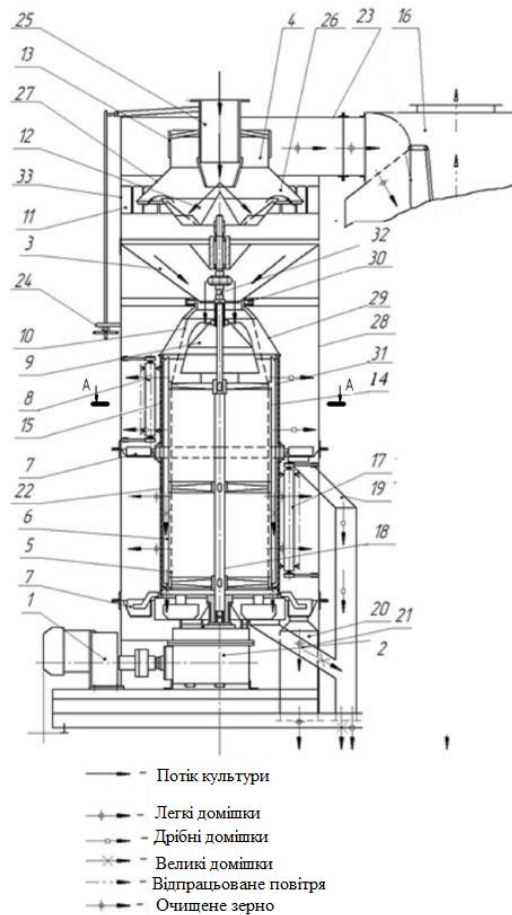


Рис. 2.1. Відцентрово-решітний сепаратор: 1 – електродвигун; 2 – редуктор; 3 – конічна збірка; 4 – циліндрична частина; 5 – циліндричне колосове решето; 6 – пластинами зернової секції; 7 – скребок; 8 – кільцева щітка підсівного решета; 9 – живильник; 10 – конічне розподільче решето; 11 – забірні вікна; 12 – конічний розкидач зерна; 13 – регулювальна склянка; 14 – пластини підсівної секції; 15 – блок циліндричного підсівного решета; 16 – осадова камера; 17 – кільцева щітка зернового решета; 18 – приводний вал; 19 – патрубок дрібних домішок; 20 – патрубок очищеного зерна; 21 – патрубок великих домішок; 22 – блок циліндричного зернового решета; 23 – патрубок; 24 – механізм регулювання; 25 – завантажувальна горловина; 26 – кільцевий пневмосепарувальний канал; 27 – відбивач; 28 – основний циліндричний корпус; 29 – конічна обичайка; 30 – роликів опора; 31 – пластинчастий барабан; 32 – втулка; 33 – додатковий циліндричний корпус; 34 – пластинчастий барабан; 35 – промінь; 36 – вал; 37 – паз для шпонки; 38 – стопорний болт; 39 – сходи́нка; 40 – бронзова втулка [2].

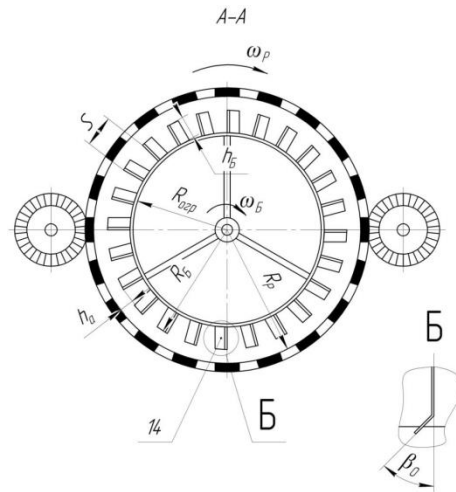


Рис. 2.2. Поперечний розріз підсівного решітного блока [2].

Працює відцентрово-решітний сепаратор таким чином. Зернова суміш надходить у завантажувальну горловину 25 і подається на конічний розкидач 12. Лопатки передають зерновій суміші кутову швидкість, що дорівнює кутовій швидкості розкидача. Далі зернова суміш надходить у кільцевий пневмосепарувальний канал 26, де відбувається виділення легких домішок, які надходять через патрубок 23 в осадову камеру 16 і через випускний клапан виводяться з машини [2].

Регулювання швидкості повітряного потоку в пневмосепарувальному каналі відбувається завдяки регулювальній заслінці, встановленій в осадовій камері 16, а тонке регулювання здійснюється регулювальною циліндричною склянкою 13 за допомогою механізму 24. Після повітряної сепарації, попередньо очищене зерно конусом-збірником 3 подається на живильник 9, конічне ділильне решето 10 і далі на решітний блок, де відбувається очищення від дрібних домішок на підсівальному решеті 15, від довгих домішок на зерновому решеті 22, від великих та грубих домішок на циліндричному колосовому решеті 5, які надходять до відповідних приймальників та скребками 7 виводяться з машини за допомогою патрубків 19 і 21. Очищене зерно, що пройшло через отвори зернового решета 22, надходить у приймач очищеного зерна і скребками через патрубок 20 виводиться з машини. Решета і барабан обертаються в один бік, але з різними швидкостями завдяки приводу, при цьому кутова швидкість конічного

розкидача 12 дорівнює кутовій швидкості решіт 15 і 22. Очищення отворів решіт 15 і 22 від застряглих зерен проводиться циліндричними щітками 8 і 17 [2].

Установка для проведення експериментальних досліджень має відповідати таким вимогам [3]:

1) простота конструкції (можливість швидкого розбирання та збирання установки, компактність, можливість доступу до всіх елементів сепаратора, невеликі габарити) [3];

2) можливість регулювання (конструктивних, кінематичних і технологічних) параметрів у заданих межах [3];

3) стійкість режимів роботи та стабільність параметрів, що впливають на процес сепарації [3];

4) можливість вимірювання вихідних параметрів у разі зміни конструктивно-кінематичних і технологічних параметрів одночасно [3].

Експериментальна установка складається з 3 автономних елементів (рис. 1) [3]:

1. Завантажувального бункера об'ємом $0,1 \text{ м}^3$ з дозувальним пристроєм, здатним здійснювати задану подачу зерна за допомогою тарованої шиберної заслінки [3].

2. Рама, на якій закріплені робочі органи циліндричного решета і пластинчастого барабана, і приводу, що забезпечує їхнє обертання [3].

3. Відкидних лотків, що дають змогу відокремлювати матеріал у період роботи сепаратора за сталого та несталого режимів роботи, а також ємностей, у які надходить очищене зерно та дрібні домішки [3].

Обертання решета і внутрішнього пластинчастого барабана забезпечує двоступеневий редуктор, привід до якого здійснюється від двигуна потужністю 0,8 кВт через клиноремінну передачу, частота обертання двигуна змінювалася за допомогою частотного перетворювача. Решето і барабан обертаються в один бік, але з різними кутовими швидкостями, причому кутова швидкість решета в 0,57 раза більша, ніж барабана. Це співвідношення кутових швидкостей

витримувалося завдяки конструкції редуктора. Це співвідношення вибрано виходячи з раніше проведених досліджень і під час проведення всіх дослідів воно не змінювалося [3].

Виділення домішок із зернової суміші здійснюється завдяки решету з довгастими отворами або круглими отворами та пластинчастому барабану, який складається з вала, на який встановлено два диски з різьбовими отворами для кріплення пластин [3].

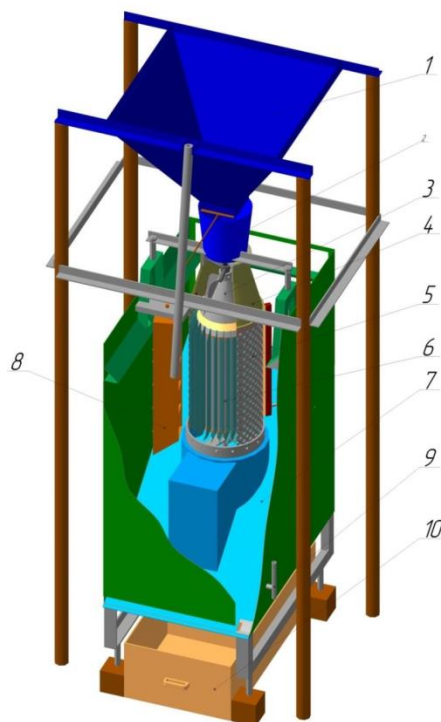


Рис. 2.3. 3D-модель лабораторної установки відцентрово-решітного сепаратора з підсівним решетом: 1 – бункер, 2 – завантажувальна горловина, 3 – живильник із лопатями, 4 – конічна обичайка, 5 – підсівальне решето, 6 – пластинчастий барабан, 7 – корпус сепаратора, 8 – пробовідбірник, 9 – відкидний лоток, 10 – приймальний бункер для прохідної фракції та очищеного зерна [3].

Використовували пластини з відгином у основі циліндричного барабана за напрямком його обертання, кут відгину змінювали в інтервалі 15° ... 25° . Кількість пластин на барабані змінювалася перестановкою їх по отворах дисків. Довжина пластин становила 500 мм, ширина 23 мм (без кріпильних полиць) за активного шару, що дорівнює 10 мм, кількість пластин змінювалася від 20 до 24 штук.

Усередині барабана встановлено обмежувальний циліндр. Решета брали діаметром 300 мм і висотою 500 мм (робоча висота сепаруючої поверхні решета), які встановлювали на двох обичайках. Використовувалися решета з круглими отворами різного діаметру та з довгастими отворами різної ширини. Було виготовлено та досліджено два типи пластин барабана. На рисунку 2 представлені геометричні параметри досліджуваних пластин [3].

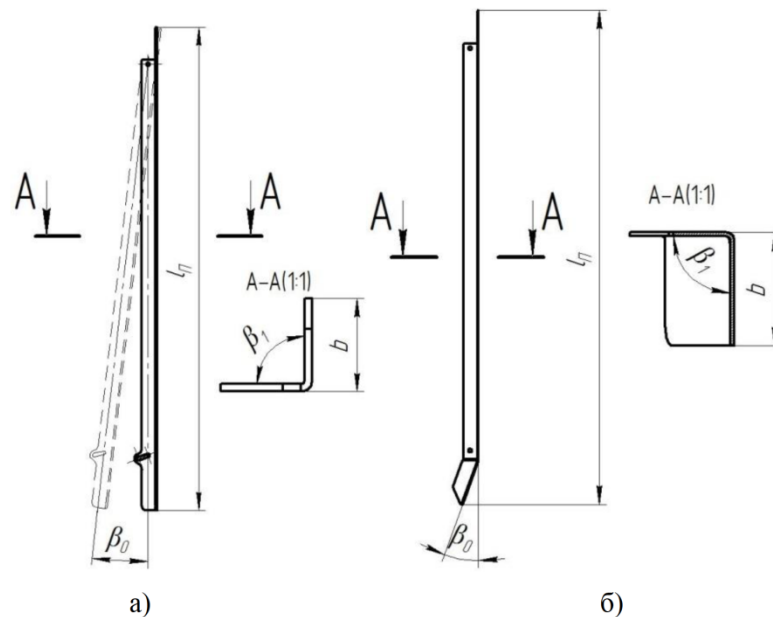


Рис. 2.4. Геометричні параметри пластин барабана відцентрово-решітного сепаратора [3]:

а) Радіальні пластини з нахилом робочого ребра відносно твірної частини барабана (кут нахилу) [3];

б) радіальні пластини, розміщені уздовж твірної частини, з відгином в основі циліндричного барабана у напрямку його обертання [3].

$$(\beta_0 = 15 \dots 25^\circ)$$

Регулювання швидкості обертання решета і барабана здійснювалося за допомогою частотного перетворювача і контролювалося цифровим тахометром [3].

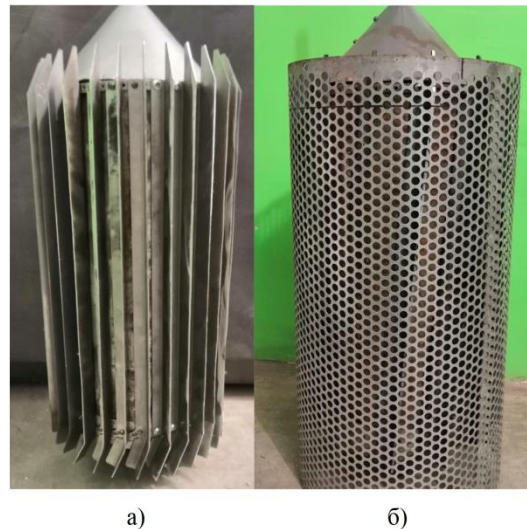


Рис. 2.5. Складові підсівного блоку ВРС: а) – барабан із радіальними пластинами, з відгином у основі циліндричного барабана за напрямком його обертання; б) – решето з круглими отворами [3].

Завантаження сепаратора здійснювали через підготовчу зону, що складається з таких елементів: конічної завантажувальної горловини, конічної ступінчастої обичайки, гасників окружної швидкості, конічного лопатевого живильника, що має шість лопатей. Живильник обертася зі швидкістю решета і мав можливість осевого зміщення відносно втулки (для регулювання кільцевого зазору між конічною обичайкою і живильником) [3].

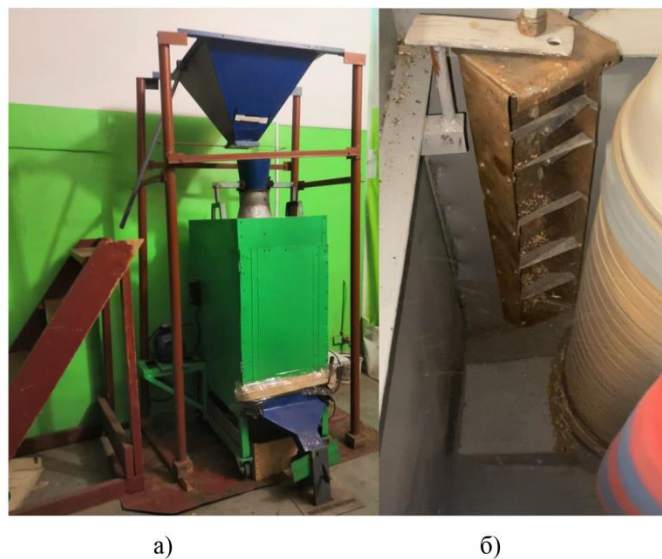


Рис. 2.6. Лабораторна установка відцентрово-решітного сепаратора а) загальний вигляд; б) робочий момент сепаратора [3].

Експериментальну установку було створено на кафедрі агроінженерії та технічного сервісу Поліського національного університету [3].

Порядок проведення експериментальних досліджень у кожному випадку залишався одним і тим самим і полягав у такому:

1. На експериментальній установці встановлювали необхідні значення досліджуваних і фіксованих параметрів.

2. Готували вихідну зернову суміш масою 40 кг.

3. Під відкидні лотки ставили ємності (по дві на кожен із двох лотків).

4. Вмикали установку і відкривали на необхідну величину шиберну заслінку для забезпечення заданої подачі матеріалу.

5. За усталеного режиму, через 5-8 секунд після пуску, здійснювали одночасний поворот відкидних лотків і зерновий матеріал (схід і прохід) надходили в окремі контрольні ємності. Під час повороту лотків замикався електричний ланцюг, і вмикався електронний секундомір.

6. Після закінчення 6...10 секунд усталеного режиму роботи сепаратора, чому відповідає час сепарації 50% підготовленої суміші, лотки ставили в початкове положення, водночас розмикали електричний ланцюг в електронному секундомірі. Закривали заслінку бункера і вимикали привід установки.

7. Проводили зважування матеріалу з кожної контрольної ємності.

8. Проходова фракція піддавалася сепарації на плоскому решеті з отворами діаметром 2,5 мм для визначення втрат зерна у відходи. 9. Усі отримані дані дослідів заносили до журналу спостережень і проводили обробку результатів. 10. Після проведення дослідів зернову суміш додатково очищали від дрібних домішок на лабораторному решітному класифікаторі фірми "Petkus", з метою створення однорідної зернової суміші для проведення наступного дослідів.

За обраного довірчого інтервалу в 0,95 кількість повторностей дослідів прийнято рівною 3. Як показали попередні експерименти, відхилення за повторністю відрізнялися не більше, ніж на 5%. Це дало змогу залишити проведення дослідів у трикратній повторності.

Після проведення досліду і запису отриманих результатів до журналу спостережень, далі проводилася зміна регульованого параметра, і досліди тривали.

Попередні однофакторні експерименти показали, що найяскравіше виражені лінійні ефекти, тому відсіювальний експеримент було реалізовано за планом Плакетта-Бермана (табл. 2.1). План містить 12 дослідів, при цьому для отримання одинадцяти чинників згідно з методикою до виокремлених нами чинників додали два фіктивні. Конструювання матриці плану проводилося за методикою.

Виокремленні нами фактори зведено в табл. 2.1, кожен із них попередньо позначений через величину X_i . На основі аналізу попередніх досліджень, результатів однофакторних попередніх дослідів, а також обмежених конструктивних можливостей лабораторно-експериментальної установки було обрано рівні та інтервали варіювання чинників під час планування експерименту.

Завдяки ортогональності планів Плакетта-Бермана, їхні результати добре піддаються обробці.

Складність протікання технологічного процесу, що відбувається під час роботи відцентрово-решітного сепаратора з підсівальним решетом і його швидкоплинність, не піддається візуальному спостереженню з цілої низки причин. Зсередини процес сепарації побачити не представляє можливості. У зв'язку з цим у реальних умовах дуже складно провести дослідження з обґрунтування параметрів пластинчастого барабана. Застосування спеціального моделювання дає змогу з достатньою достовірністю вивчити процес.

Ефективність сепарування залежить насамперед від ступеня відповідності бажаних ознак поділу, обумовлених потребами виробництва, можливим ознакам поділу, які визначають різний рух частинки в процесі сепарування суміші.

Було розроблено приватні методики експериментальних досліджень. Виконання таких досліджень стало можливим після створення лабораторної установки (рис. 2.7).

Таблиця 2.1 – Значимі фактори та рівні їх варіювання щодо ефективності очищення зерна

Кодоване позначення факторів	Умовне позначення	Найменування	Рівні варіювання	
			Нижній (-)	Верхній (+)
X ₁	C ₀	Засміченість вихідного зернового матеріалу, %	3	6
X ₂	h _A	товщина активного шару, мм	9	12
X ₃	Δ	діаметр отворів підсівного решета, мм	3,4	4,0
X ₄	β ₀	кут відгину пластин у основі циліндричного барабана за напрямком його обертання, град.	16	26
X ₅	S	Крок розстановки пластин барабана, мм	30	40
X ₆	ω _Б	кутова швидкість обертання барабана, с ⁻¹	10	14
X ₇	Q	подача зернової суміші, т/(год*м ²);	10,32	13,82
X ₈	W	вологість вихідного зернового матеріалу, %	13	21
X ₉	-	фіктивний фактор	-	-
X ₁₀	-	фіктивний фактор	-	-

Установка виконана з двох окремих вузлів: приводної станції та несучої рами. Приводна станція складається з конічної пари шестерень із ручним приводом. Несуча рама призначена для кріплення на ній основних вузлів лабораторної установки: внутрішнього рухомого барабана і зовнішнього нерухомого циліндра. На зовнішній поверхні внутрішнього барабана є циліндричні западини та виступи. Внутрішня поверхня нерухомого циліндра, набраного з кілець товщиною 10 мм у кількості 10 штук, має профрезеровані

пази. Кільця зовнішнього циліндра надійно кріпляться стяжками до несучої рами. Установка дає можливість проводити вимірювання основних параметрів під час проведення експериментів.

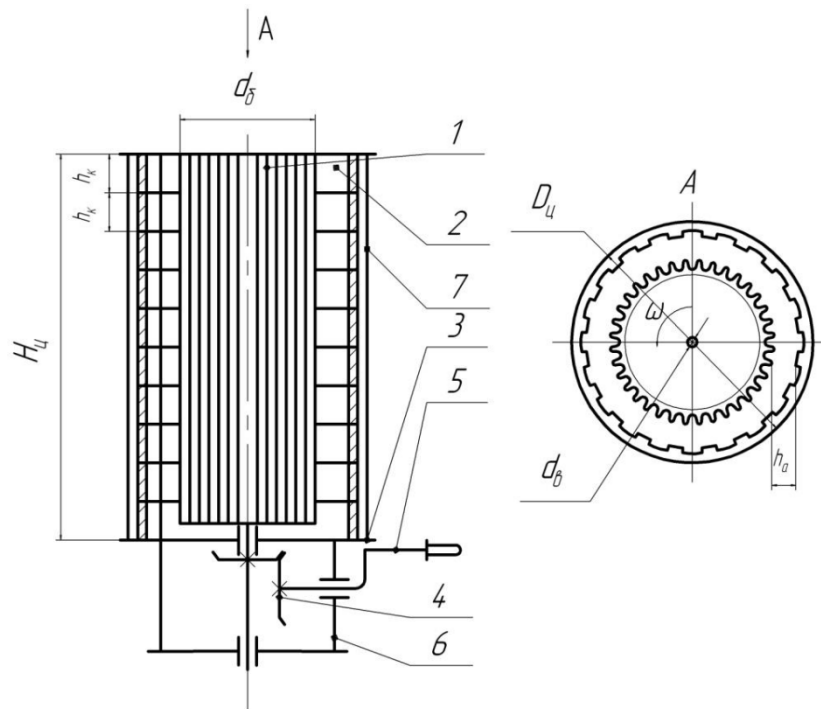


Рис. 2.7. Схема лабораторної установки

Досліджувані матеріали, попередньо зваживши, рівномірно розподіляли по поверхневому шару пшениці, розташованій в кільцевому просторі. Далі приводили в обертання внутрішній барабан, повертаючи його на $n=0,25$, $n=0,5$, $n=1,0$ і $n=1,5$ обороту.

Дрібні частинки досліджуваного матеріалу починають проникати в пори на деяку глибину всередину шарів пшениці. Потім прибираючи кільця і зрізуючи масу зерна, що знаходиться в кільцевому просторі між циліндром і барабаном, збирали її в ємність. Шляхом просіювання зібраного матеріалу відокремлювали досліджуваний матеріал і зважували на електронних вагах. Так послідовно робили на всіх кільцях.

Дані вимірів заносили до таблиць і будували графіки проникнення частинок досліджуваного матеріалу залежно від розмірів частинок, числа обертів барабана і шляху ковзання.

Для кожного проведеного дослідю розраховували глибину занурення досліджуваних матеріалів пшона.

Для визначення умов, за яких відбувається орієнтація зерна, було виготовлено найпростіше пристосування (мал. 2.8), яке складається з коробки з вертикальними прозорими стінками. У нижній частині коробки на деякій відстані від її основи встановлено пластини з регульованим кроком. Пристосування давало змогу змінити кут нахилу пластин до вертикалі та відстань від нижніх крайок пластин до основи коробки. Дослід проводили із зерном вологістю $W_0=13\%$; $W_0=24\%$ і за зміни кута нахилу пластин.

Візуально велося спостереження за поведінкою зернових частинок між пластинами під час переміщення установки по решітній поверхні.

Визначалося, за якої висоти шару відбувалося активне закручування, і фіксували відстань S між пластинами та висоту шару h .

Під час роботи решета на виділенні дрібних домішок, необхідно, щоб між радіальними пластинами відбувалося активне перемішування.

На робочому фрагменті експериментальної установки можна бачити активне закручування за орієнтацією зерен у міжпластинчастому просторі. Це свідчить про взаємний зв'язок кроку розміщення пластин S , кута їхнього нахилу і висоти h .

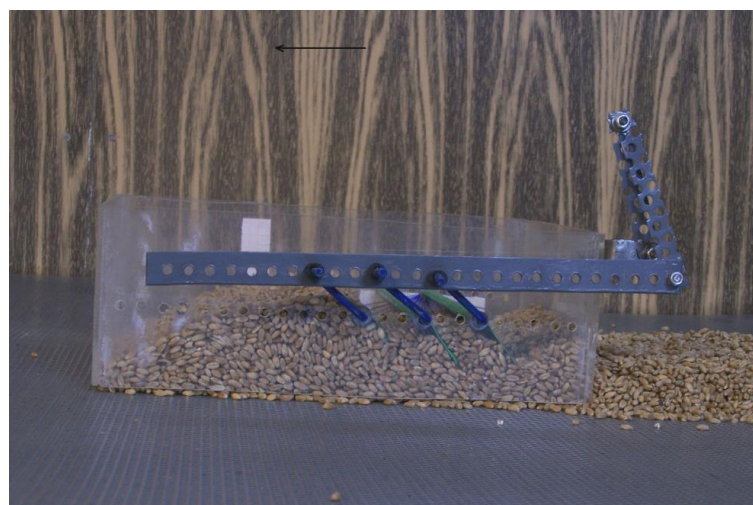


Рис. 2.8. Загальний вигляд лабораторної установки для визначення параметрів пластин барабана

Під час проведення дослідів коробку ставили на решето, заповнювали зерною сумішшю, яку переміщали решетом із постійною швидкістю, що дорівнювала приблизно 0,1 м/сек (рис. 2.8) Під час переміщення коробки спостерігався процес орієнтації зерна між нижніми крайками пластин і решетом.

До початку руху коробки решетом насіння в нижній частині шару розташоване безладно.

Під час руху коробки решетом у нижній частині загального шару зернової суміші утворюється активний шар, товщина якого дорівнює відстані від поверхні решета до нижніх крайок пластин. Насіння пшениці в активному шарі орієнтується, прагнучи встановитися паралельно поверхні решета.

Між нижнім обрізом задньої стінки коробки і решетом є зазор, достатній для проходу одного елементарного шару зерен.

Експериментальний зразок відцентрово-решітного сепаратора з підсіваючим решетом, що має довгасті отвори, і внутрішнім арабаном із радіальними пластинами проходив випробування в ТОВ "Сігнет" Бердичівського району Житомирської області.

Відцентрово-решітний сепаратор розроблено на кафедрі "Агроінженерії та технічного сервісу" Поліського національного університету (рис. 2.9).

Сепаратор було встановлено на ямі зерноочисного агрегату з можливістю автономної роботи. Зерновий ворох подавався норією із завальної ями в компенсаційний бункер, а потім у сепаратор. Величина завантаження встановлювалася відкриттям шиберної заслінки компенсаційного бункера.

Для оцінки роботи експериментального зразка відцентрово-решітного сепаратора відповідно до програми випробувань було прийнято такі показники:

- 1) Фактична продуктивність;
- 2) Ефективність очищення зерна від дрібних домішок;
- 3) Ефективність роботи повітряного очищення;
- 4) Втрати зерна у відходи;
- 5) Питома металоємність;

б) Оцінка забивання циліндричного підсіваючи решета під час тривалої роботи.

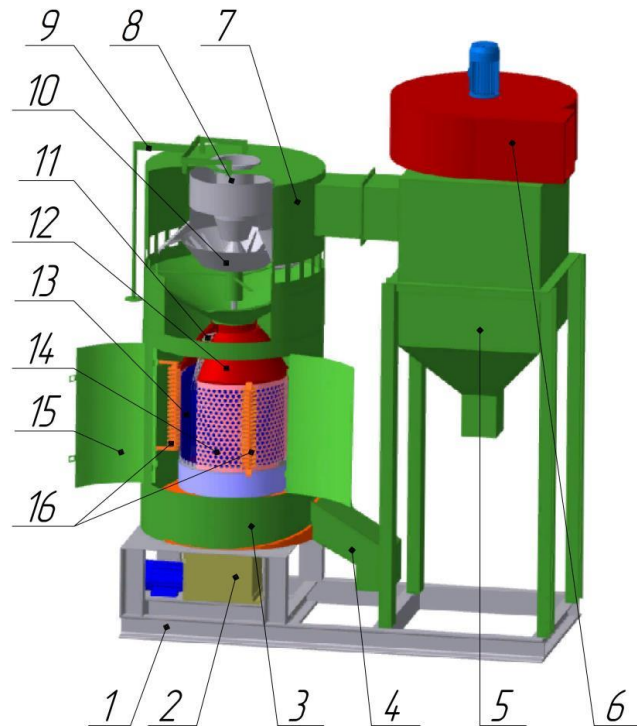


Рисунок 3.10. 3D-модель повітряного відцентрово-решітного сепаратора: 1 – рама, 2 – привід решета і барабана, 3 – корпус, 4 – патрубок виходу дрібних домішок, 5 – осадова камера, 6 – відцентровий вентилятор, 7 – кільцевий пневмоканал, 8 – завантажувальна горловина, 9 – регулятор повітряного потоку, 10 – тарілчастий розкидач, 11 – розподільче решето, 12 – живильник, 13 – пластинчастий барабан, 14 – підсівне решето, 15 – дверцята, 16 – циліндрична щітка.

Кільцева схема руху зерна (завальна яма – завантажувальна норія – компенсаційний бункер – сепаратор – завальна яма) давала змогу знизити трудомісткість визначення основних показників. Відбір проб для аналізу здійснювався за допомогою відкидних лотків, без зупинки робочого процесу. Оцінка забивання решіт проводилася після 8 годин безперервної роботи.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналіз попередніх досліджень і попередні досліди дали змогу визначити основні параметри та конструктивні особливості відцентрово-решітного сепаратора з підсівальним решетом і барабаном із радіальними пластинами. Для скорочення обсягу проведення експериментальних робіт, на початковій стадії вивчення об'єкта досліджень було проведено відсіювальні експерименти. Це дало змогу виявити найсуттєвіші фактори, що впливають на роботу сепаратора та перейти до побудови математичної моделі процесу сепарації зерна на підсівному решеті. Дослідження проводилися згідно з методикою, описаною в розділі 2. План і результати відсіювальних експериментів представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати відсіювальних експериментів за планом Плакетта-Бермана

№ дос.	Фактори										Критерій	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀	Є, %	П, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	84	1,3
2	-	+	+	-	+	+	+	-	-	-	86	0,7
3	+	-	+	+	-	+	+	+	-	-	87	0,6
4	-	+	-	+	+	-	+	+	+	-	90	0,8
5	-	-	+	-	+	+	-	+	+	+	66	1,3
6	-	-	-	+	-	+	+	-	+	+	74	1,0
7	+	-	-	-	+	-	+	+	-	+	76	1,2
8	+	+	+	-	-	+	-	+	+	-	87	1,3
9	+	+	+	-	-	-	+	-	+	+	66	1,41
10	-	+	+	+	-	-	-	+	-	+	62	1,31
11	+	-	+	+	+	-	-	-	+	-	78	0,62
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	0,89

Обчислення з визначення значущості факторів проводили за допомогою програми Statistica 6.1 для ПЕОМ. Результати розрахунку подано на діаграмах значущості чинників рисунок 3.1 і 3.2.

Значення коефіцієнтів значущості взято за модулем.

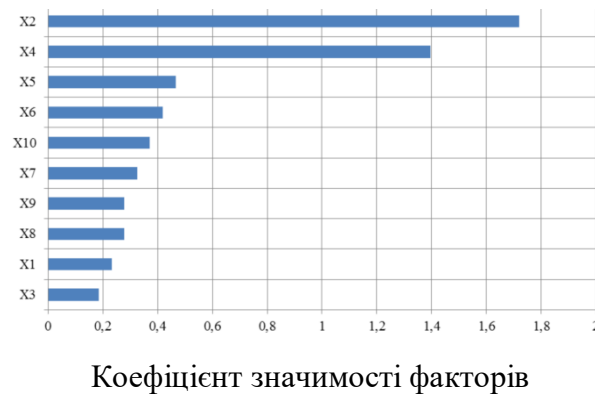


Рис. 3.1. Діаграма значущості факторів, що впливають на ефективність очищення зернового матеріалу.

З отриманих даних випливає, що найбільш значущими факторами є X_2 , X_4 , X_5 , X_6 – це товщина активного шару, кут відгину пластин в основі циліндра барабана в напрямку його обертання, крок розставляння пластин і кутова швидкість барабана.

Тоді функція залежності ефективності очищення зерна від найбільш значущих чинників матиме такий вигляд:

$$E = f(h_A, \beta_0, S, \omega_B) \quad (3.1)$$

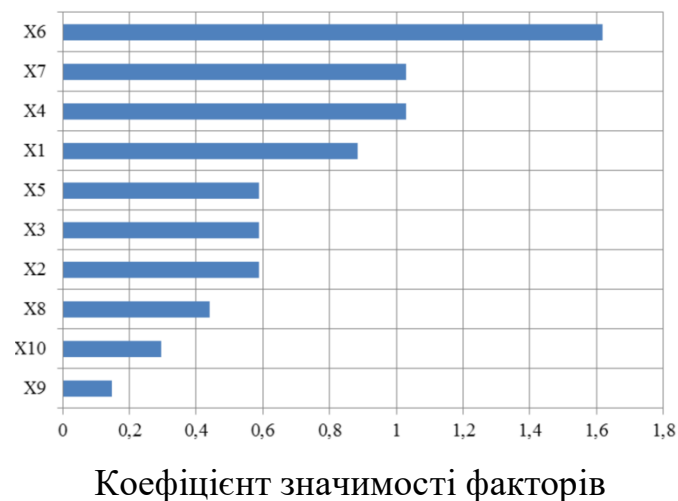


Рис. 3.2. Діаграма значущості чинників, що впливають на втрати зерна у відходи.

Аналізуючи отриманий результат, робимо висновок, що найбільший вплив на втрати зерна у відходи чинять фактори X_6 , X_7 , X_4 , X_1 – це кутова швидкість обертання барабана, подавання зернової суміші, кут відгину пластин в основі

циліндра барабана у напрямку його обертання та засміченість вихідного матеріалу.

Тоді функція залежності втрат зерна у відходи від найбільш значущих факторів матиме такий вигляд:

$$\Pi = f(C_0, \omega_B, \beta_0, Q) \quad (3.2)$$

План багатофакторного експерименту та його результати наведено в таблиці 4.2.

У результаті проведення багатофакторного експерименту було отримано рівняння регресії за критеріями оптимізації. Коефіцієнти регресії b_0 , b_i , b_{ij} , b_{ii} обчислювали за допомогою прикладної програми Statistica 6.1 для ПЕОМ.

Значимість коефіцієнтів рівняння регресії за критеріями оптимізації - ефективність очищення і втрати зерна - визначали за відповідними їм довірчими інтервалами.

Адекватність отриманих математичних моделей перевіряли за критерієм Фішера. Для цього визначали різниці між значеннями відгуків, отриманими за рівнянням регресії та експериментальними значеннями. Розраховували дисперсії адекватності для ефективності очищення зерна та втрат зерна у відходи.

Коефіцієнти, значення яких більші за нуль, знак / + /, вказують на те, що між параметром оптимізації та факторами за таких коефіцієнтів існує пряма залежність, знак / - / вказує на обернений зв'язок із їхнім параметром.

Оскільки в моделі присутні коефіцієнти типу X_{12} , X_1X_2 , отже, модель має нелінійний характер. Як відомо, абсолютне числове значення коефіцієнта для взаємодії показує, наскільки зміниться швидкість зростання вихідного параметра залежно від одного фактору, якщо інший зміниться від 0 до |1|.

Визначаючи оптимальне поєднання досліджуваних факторів, за яких ефективність очищення ε має максимальне значення, необхідно враховувати, що величина втрат зерна у відходи обмежена вимогами ДСТУ. Результати багатофакторного експерименту наведено в таблиці 3.3, а залежність втрат зерна у відходи від найбільш значущих чинників представлено в рівнянні 3.2.

Таблиця 3.2 – Вплив найбільш значущих факторів на ефективність очищення зерна.

№ дос.	Фактори				Значення, %
	X_1 (h _A)	X_2 (β_0)	X_3 (S)	X_4 (ω_B)	ϵ
1	2	3	4	6	6
1	13	27	37	14	86
2	8	26	37	14	73,6
3	12	16	37	14	84,1
4	8	16	37	14	78,8
5	12	26	28	14	87,3
6	8	26	28	14	71,3
7	12	16	28	14	81,4
8	8	16	28	14	72,7
9	12	26	37	10	68,3
10	8	26	37	10	73,4
11	12	16	37	10	77,6
12	8	16	37	10	86,3
13	12	26	28	10	88,4
14	8	26	28	10	84,3
15	12	16	28	10	87,6
16	8	16	28	10	84,3
17	8	20	32	12	87,9
18	12	20	32	12	83,2
19	10	16	32	12	88,3
20	10	26	32	12	90,2
21	10	20	28	12	94,6
22	10	20	37	12	88,3
23	10	20	32	10	90,1
24	10	20	32	14	87,3

Таблиця 3.3 – Вплив найбільш значущих факторів на втрати зерна у відходи.

№ дос.	Фактори				Значення, %
	X_1 (hA)	X_2 (β_0)	X_3 (S)	X_4 (ω_B)	П
1	2	3	4	5	6
1	6	25	15	14,81	1,86
2	2	25	15	14,81	1,82
3	6	15	15	14,81	1,75
4	2	15	15	14,81	1,79
5	6	25	10	14,81	1,7
6	2	25	10	14,81	1,66
7	6	15	10	14,81	1,53
8	2	15	10	14,81	1,02
9	6	25	15	10,41	1,64
10	2	25	15	10,41	1,55
11	6	15	15	10,41	0,97
12	2	15	15	10,41	0,99
13	6	25	10	10,41	0,84
14	2	25	10	10,41	0,82
15	6	15	10	10,41	0,64
16	2	15	10	10,41	0,71
17	2	20	12	12,06	0,97
18	6	20	12	12,06	1,04
19	5	15	12	12,06	0,88
20	5	25	12	12,06	0,95
21	5	20	10	12,06	0,84
22	5	20	15	12,06	1,26
23	5	20	12	10,41	0,99
24	5	20	12	14,81	1,13

Максимальне значення ефективності очищення зерна (E) можливе за раціонального поєднання досліджуваних факторів, при цьому треба враховувати обмежувальні вимоги ДСТУ щодо втрат зерна у відходи.

Наведемо графік (рис. 3.3) ефективності очищення зерна від дрібних домішок залежно від частоти обертання барабана X_4 (ω_B) і кута відгину пластин X_2 (β_0) за умови фіксованих значень X_1 і X_3 на середніх рівнях.

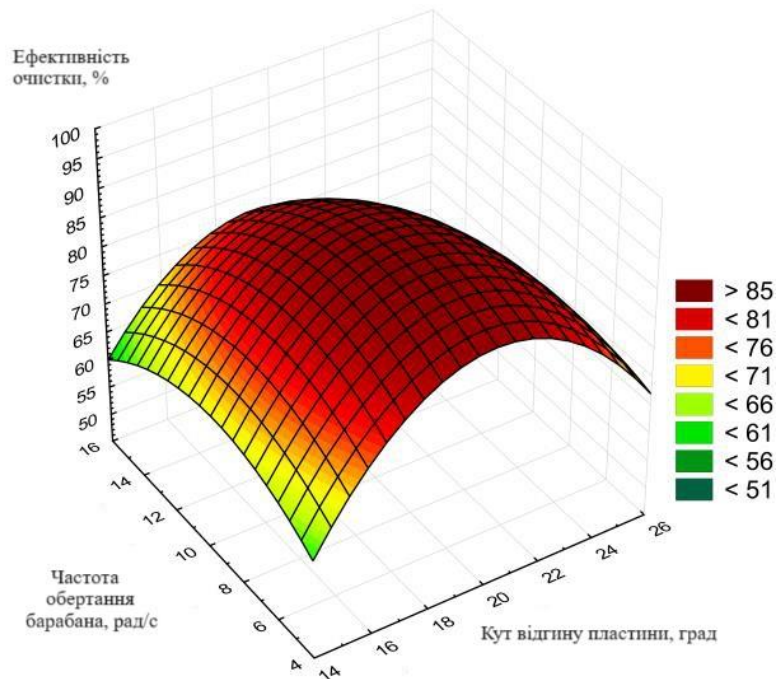


Рис. 3.3. Поверхні відгуку для критерію оптимізації ε – ефективності виділення дрібних домішок від X_2 (ω_6) і X_4 (β_0).

Рівняння регресії буде мати вигляд:

$$E = -177,721 + 24,4905 \cdot X_4 + 5,6672 \cdot X_2 - 0,5932 \cdot X_4^2 - 0,0983 \cdot X_4 \cdot X_2 - 0,2247 \cdot X_2^2 \quad (3.3)$$

На графіку спостерігається спільний вплив значущих параметрів частоти обертання барабана і кута відгину пластин. Зі зростанням частоти обертання барабана спостерігається підвищення ефективності виділення дрібних домішок, що говорить про зміну коефіцієнта трансформації силового тиску. Це підтверджується й однофакторним експериментом щодо впливу кутової швидкості на ефективність очищення. Зі збільшенням кута відгину пластин понад 25о ефективність очищення знижується. Тому раціональне значення кута має лежати в межах 20...25о.

Поверхню відгуку ефективності очищення зерна залежно від кроку розміщення пластин X_3 (S) і товщини активного шару X_1 (h_A) за фіксованих значень на середньому рівні X_2 (β_0) і X_4 (ω_B) представлено на рис. 3.4.

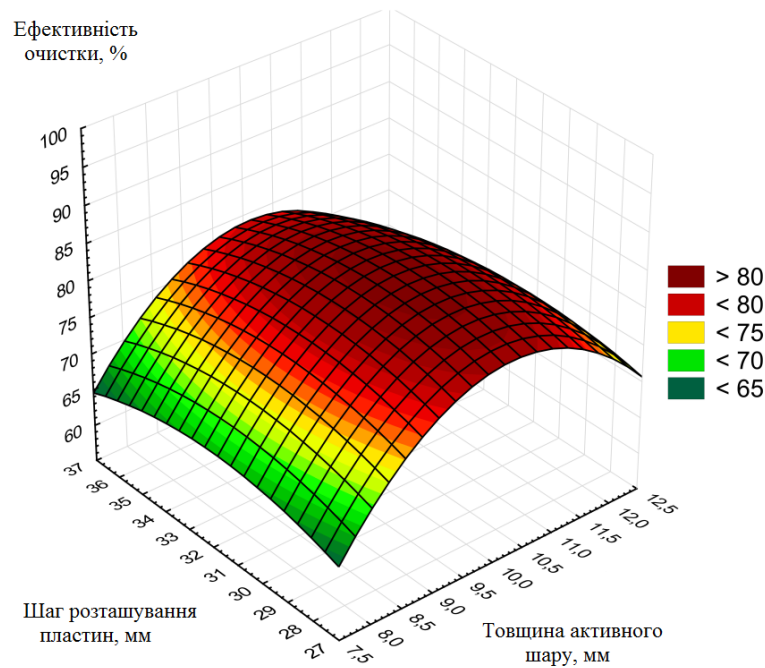


Рис. 3.4. Поверхні відгуку для критерію оптимізації ϵ - ефективності виділення дрібних домішок від X_3 (S) і X_1 (h_A).

Рівняння регресії матиме вигляд:

$$E = -294,6444 + 45,8262 \cdot X_3 + 9,3053 \cdot X_1 - 2,1384 \cdot X_3^2 - 0,0719 \cdot X_3 \cdot X_1 - 0,1377 \cdot X_1^2 \quad (3.4)$$

Дослідженнями встановлено, що при зменшенні кроку розстановки пластин барабана, ефективність очищення зростає. Однак, мала відстань між пластинами барабана (крок розстановки) може призвести до "зависання" зернового матеріалу і припинення робочого процесу.

Виходячи з представленої залежності, оптимальним значенням цього параметра є $S = 32...33$ мм. Товщина активного шару h_A впливає на процес сепарації. Раніше проведене обґрунтування товщини активного шару підтверджується графічно $h_A = 10$ мм.

Параметри, що мають найбільший вплив на процес проходу зернових частинок через отвори решіт, тобто втрати зерна у відходи.

Наведено графік залежності втрат зерна від засміченості вихідного зернового матеріалу X_1 (C_0) і кута відгину пластин X_2 (β_0) за фіксованих значень кутової швидкості барабана X_3 і подачі зерна X_4 на середньому рівні.

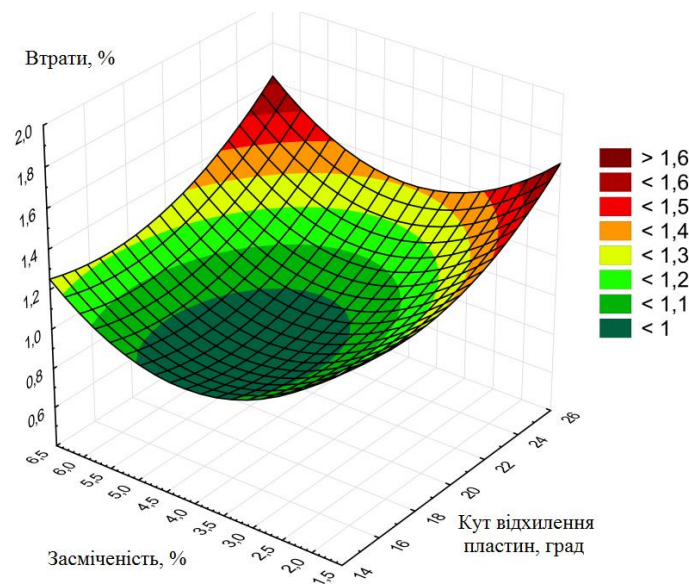


Рис. 3.5. Поверхні відгуку для критерію оптимізації Π – втрати зерна у відходи від X_1 (C_0) і X_2 (β_0).

Рівняння регресії матиме вигляд:

$$\Pi = 3,4194 - 0,178 \cdot X_1 - 0,4698 \cdot X_2 + 0,005 \cdot X_1^2 + 0,0012 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0,054 \cdot X_2^2 \quad (3.5)$$

З графіка видно, що вплив зазначених параметрів рівнозначний.

Це пояснюється тим, що при збільшенні значень цих параметрів, головним чином кута відгину пластин відбувається зростання тиску на зерновий матеріал активного шару і дрібне зерно починає проходити через отвори решета. Мінімальні втрати становлять 0,8...0,9 %.

Дослідження впливу кінематичних і технологічних параметрів, частоти обертання барабана (ω_B) і подачі зерна (Q) показує, що графік (рис. 3.6) залежності від цих параметрів на втрати зерна у відходи має лінійний характер.

Рівняння регресії матиме вигляд:

$$\Pi = -0,6875 - 0,0435 \cdot X_4 + 0,1995 \cdot X_3 \quad (3.6)$$

Найсуттєвіший вплив на втрати зерна показує подача вихідного матеріалу на очищення, при цьому величина засміченості X_1 і кут відгину пластин X_2 були зафіксовані на середньому рівні.

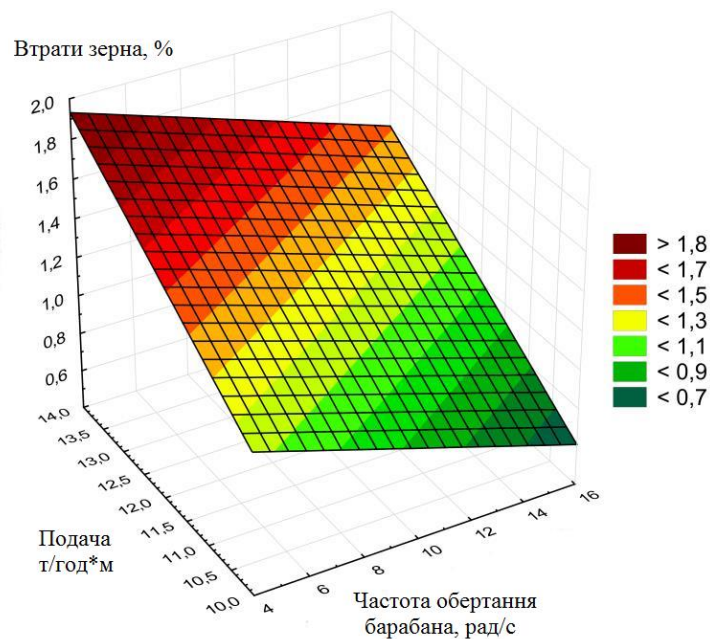


Рис.3.6. Поверхні відгуку для критерію оптимізації П - втрати зерна у відходи від X_3 (ω_B) і X_4 (Q).

Розрахунки показують, що найбільша частка енергії витрачається на транспортування зерна по робочій поверхні решета та подолання сил тертя зерна об зерно в активному шарі.

Проведеними експериментальними дослідженнями ставилося завдання визначити фактичні витрати потужності на роботу відцентрово-решітного сепаратора.

Наводимо графічні залежності зміни потужності залежно від лінійної швидкості решета v_p (рис. 3.7).

Зі збільшенням V_p потужність холостого ходу N_{xx} підвищується за лінійною залежністю. У досліджуваному діапазоні за швидкістю решета ($V_p=2,450\dots3,708$ м/с) ця зміна невелика. Під час роботи сепаратора в режимі підсівного решета ($\Delta=3,6$ мм) зі збільшенням V_p потужність зростає.

Слід зазначити, що енерговитрати на обробку однієї тонни зерна за відомих параметрів сепаратора можуть бути дещо знижені, якщо його виготовляти в промислових умовах.

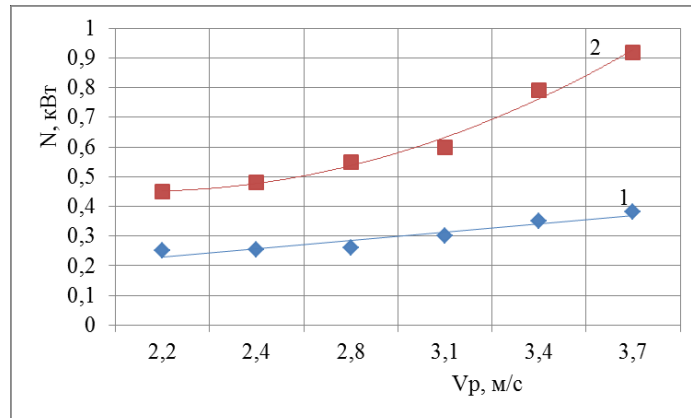


Рис. 3.7. Зміна енергетичних витрат залежно від швидкості решета: 1 - потужність холостого ходу за зміни v_p ; 2 – енерговитрати на роботу сепаратора за діаметра отворів решета $\Delta=3,6$ мм.

У збиральний період 2023 року було проведено перевірку працездатності експериментального зразка.

Сепаратор містив у собі повітряний кільцевий пневмоканал з осадовою камерою, ділильне решето, підсівне решето з пластинчастим барабаном. Решето використовували з прямокутними отворами, а барабан складався з циліндра з розташованими по твірній пластинами з відгином в основі барабана у напрямку його обертання.

Результати виробничих випробувань повітряного відцентрово-решітного сепаратора наведено в табл. 3.4.



Рис. 3.8. Повітряний відцентрово-решітний сепаратор на випробуваннях.

Таблиця 3.4 – Дані проведення господарської перевірки відцентрово-решітного сепаратора

№	Найменування показника	Результати випробувань
1	Оброблюваний матеріал	Пшениця Вінницька 96
2	Вологість зерна, %	14,60
3	Вміст дрібних домішок, %	5,29
	У т.ч. гречка в'юнкова	1,57
	суріпиця	2,42
	щиріця	0,08
	просо куряче	1,22
5	Повнота виділення легких домішок, %	74,0
6	Повнота виділення дрібних домішок, %	89,9
7	Втрати зерна у відходи, %	0,5
8	Загальна ефективність очищення, %	76,5
9	Робоча площа решета, м ²	1,3
10	Встановлена потужність електродвигунів у тому числі на привід решета, кВт	7,0
		1,6
11	Кут нахилу грані пластин барабана, град	0°
12	Кут відгину радіальної пластини в основі циліндричного барабана за напрямком його обертання, град	20°
13	Крок розміщення пластин, мм	44,0
14	Товщина активного шару, мм	10,0
15	Розмір отворів решета, мм	2,32x16
16	Продуктивність машини, т/год	33,6
17	Вага машини, кг	1280,0
18	Питома металоємність, кг/т	38,9
19	Забивання решета	Із застосуванням циліндричної щітки

Висновки по розділу

Відцентрово-решітний сепаратор має найменшу метало- та енергоємність, як порівняти з машинами подібними за продуктивністю. Вертикальне розташування підсівного решета і пластинчастого барабана робить цю машину компактнішою за високої продуктивності.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведений аналіз відцентрово-решітних сепараторів засвідчив, що забезпечення стійкості робочого процесу сепарування на підсівному решеті можливе завдяки застосуванню внутрішнього пластинчастого барабана з радіальними пластинами.

Експериментальними дослідженнями підтверджено початкову гіпотезу щодо ефективності застосування підсівного решета з циліндричним барабаном і з радіальними пластинами з кутом відгину в основі барабана за напрямком його обертання. Встановлено, що при збільшенні засміченості зернового матеріалу від 2% до 6% повнота виділення дрібних домішок знижується з 97% до 77,4% при діаметрі отворів решета 3,6 мм.

Виробничі випробування експериментального зразка сепаратора з підсівним решетом засвідчили, що за продуктивності сепаратора 32,6 т/год повнота виділення дрібних домішок становила 89,8%, а втрати зерна у відходи не перевищували 0,5%.

Відцентрово-решітний сепаратор з підсівним решетом може використовуватися для обробки продовольчого зерна як машина попереднього очищення в поєднанні з кільцевим пневмосепарувальним каналом у стаціонарних і мобільних технологіях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Осовський М.В. Класифікація аспіраційних систем відцентрово-решітних сепараторів з вертикальною віссю обертання. Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь», 5 квітня 2023 року Житомир: Житомирський агротехнічний фаховий коледж, 2023. С. 228.
2. Сукманюк О.М., Осовський М.В. Технологічна схема відцентрово-решітного сепаратора. *Збірник тез доповідей XXIV Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (17–19 жовтня 2023 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ.. 2023.С. 125-128.
3. Ільченко А.В., Осовський М.В. Будова лабораторної установки для дослідження відцентрово-решітного сепаратора. XII Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (02-20 жовтня 2023 р.). URL: <http://animal-conf.inf.ua/conf.html> (дата звернення 21.11.2023).
4. Михайлов Є.В. Післязбиральна обробка зерна у господарствах Півдня України. Монографія. Мелітополь: Люкс, 2012. 258 с.
5. Михайлов Є.В. Визначення факторів і параметрів процесу попередньої очистки зерна. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету Вип. 10, Т.2 Мелітополь: ТДАТУ, 2010. С.120-125.
6. Михайлов Є.В. Аналіз роботи засобів попередньої очистки зерна. Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Вип. 10, Т.2 Мелітополь: ТДАТУ, 2010. С.125-131.
7. Roshanianfard A., Faizollahzadeh-Ardabili S. *Autonomous Agricultural Vehicles: Concepts, Principles, Components, and Development Guidelines*. Boca Raton: CRC Press, 2024. 219 p.

8. Грушецький С.М., Бендера І.М., Іщенко Т.Д. та ін. Механізація технологічних процесів в землеробстві. Навчальний посібник. Кам'янець-Подільський: Подільський державний аграрно-технічний університет; ФОП Сисин О.В., 2011. 352 с.
9. Рудь А.В, Бендера І.М. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва. Том 2. Київ : Агроосвіта. 2012. 434 с.
10. Kutz M. (Ed.) Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering. 3rd Edition. Academic Press, 2019.
11. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин. Київ : Наукова думка, 2002. 656 с.
12. Сало В.М. Технічне забезпечення підготовки зерна до зберігання. Кіровоград: СПД ФО Лисенко В.Ф., 2013.148 с.
13. Дерев'янку Д. А. Обґрунтування та теоретичні розрахунки впливу робочих елементів вібросепаратора на деформацію і травмування насіння. Техніка і технології АПК. 2014. № 12 (63). С. 12–16.
14. Дацишин О. В. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв. За редакцією О.В. Дацишина. Навчальний посібник. Вінниця: Нова Книга, 2008. 488с.