

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра «Технології та обладнання переробних і харчових виробництв»

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

« магістр »
бакалавр, магістр

на тему: «Обґрунтування робочих параметрів руху зернового сепаратора»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою

Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
назва ОПП

спеціальності 208 Агроінженерія
код та найменування спеціальності

ступеня вищої освіти «магістр» групи ____
БОРОВИК В. А.

Прізвище та ініціали студента

Керівник: **ІВАНОВ О. М.**

Прізвище та ініціали керівника

Рецензент: **ІВАНКОВА О. В.**

Прізвище та ініціали рецензента

Полтава – 2021 року

ВСТУП

Актуальність. На післязбиральну обробку і зберігання зерна припадають значні витрати, пов'язані з його виробництвом. Найбільш гостро дана ситуація постає для насінницької галузі, при цьому загальний рівень забезпеченості виробничих сільськогосподарських підприємств засобами вторинного очищення становить близько 12% від необхідної.

Для вирішення окреслених проблем необхідно поліпшувати технології та підвищувати продуктивність відповідні технічні засоби. Широке використання перспективних сучасних зерноочисних машин дозволить знизити витрати на обробку зерна.

Ключовими конструктивними елементами технічних засобів сепарації для вторинного очищення зерна, є пробивні решета. З них найбільш застосовними вважаються полотна з прямокутними отворами, що здійснюють розподіл насіння по товщині. Ці решета мають набагато більші величинами питомої продуктивності, ніж решета з круглими отворами.

Представлена дипломна робота присвячена дослідженню сепарації зернового вороху в сепараторі зерна за допомогою плоских решіт з прямокутними отворами, розташованими під кутом, та здійснюють обертовий рух.

Мета дослідження. Метою роботи є інтенсифікація сепарації зернового вороху на решетах, що обертаються.

Для досягнення поставленої мети в роботі ставилися наступні завдання:

- представлення аналізу сучасних підходів до проведення сепарації зернового вороху;
- висвітлення інформації про вплив конструкції решета на сепарацію;
- привести методику та план проведення експериментальних досліджень;
- провести експериментальні дослідження про окресленню оптимальних параметрів режиму роботи сепаратора для поліпшення умов сепарації;
- привести техніко-економічне, екологічне обґрунтування доцільності використання зернового сепаратора з обертовими решетами.

Об'єкт дослідження – технологічний процес сепарації зернового вороху на плоских решетах, розташованих під кутом до повздовжньої осі, що здійснюють обертовий рух.

Предмет дослідження – якісні та кількісні показники процесу сепарації зерна.

Методика досліджень. Експериментальна частина досліджень проводилася згідно існуючих методик та галузевих стандартів на спеціально розробленій експериментальній установці з використанням методів математичного моделювання, математичного планування багатofакторних експериментів.

Обробка результатів досліджень проводилася за допомогою ПК та використанням програмних продуктів: Microsoft Excel, Autodesk Autocad та MATLAB.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1. Отримані апроксимовані залежності параметрів якості процесу сепарації від конструктивних та технологічних параметрів роботи плоского решета.
2. Обґрунтовані раціонально-допустимі межі зміни робочих параметрів обертового решета.

Практичне значення одержаних результатів полягає у:

1. Результатах експериментальних досліджень, що відображають тісний кореляційний зв'язок між характерними параметрами плоского обертового решета та якісними показниками процесу сепарації.
2. Графоаналітичні результати досліджень, що підтверджують ефективність застосування запропонованого технічного рішення по використанню обертових решет плоскої форми з наскрізними отворами у вигляді прямокутника.
3. Сукупність контрольно-вимірювального обладнання та технічних засобів для проведення натурних досліджень.

1 СТАН ДОСЛІДЖУВАНОГО ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Напрямки інтенсифікації процеси сепарації зернової маси

Основна класифікація типів решіт за призначенням представлена на рисунку 1.1. Ділильні решета призначені для поділу зернової суміші на дві частини. Фракційні решета призначені для розділення вихідного матеріалу на дві фракції, що відрізняються, як правило, за розмірами. Прохідні решета мають найбільші отвори в розмірному ряду решіт, пропускають через себе основну частину зерна. Вони призначені для виділення із зернової маси великих і соломистих домішок. Сходова решета можуть використовуватися як сортувальні, або як підсівне для очищення зерна від дрібних домішок.

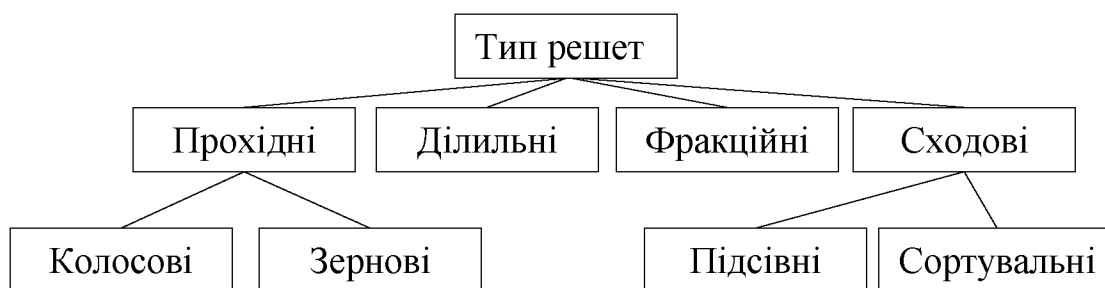


Рисунок 1.1 – Класифікація решіт за призначенням

Найбільш важливим в процесі сепарації є просіювання зерна через отвори.

За геометрії отвору можна розділити на: круглі – для поділу зернового матеріалу по ширині; прямокутні - для поділу по товщині; овальні - для збільшення ефективності сепарації по ширині, в порівнянні з круглими. Щілинні решета (струнні) використовуються в плоскорешетних, циліндричних і конічних сепараторах [1].

В даному випадку, щілина стає поступово більшою до більшої основи конуса. Трикутні, круглі лункоподібні, квадратні використовуються для сепарації окремих культур з специфічною будовою насіння - гречки, буряка, сої та ін.

Лускаті і рельєфні решета використовуються в машинах для обробки насіння кукурудзи.

Решета з гексагональними отворами, плоскою і рельєфною форми - це новий вид поверхні сепарації, що прийшла на зміну решіт з круглими отворами. Переваги

полягають у наступному: збільшена просівна здатність, завдяки додатковим граням; більший живий переріз через зменшення товщини перемичок; зниження засміченості, так як площа окремо взятого отвору є більшим в порівнянні з круглим отвором [33].

У площині решета отвори круглої і гексагональної форми можуть розташовуватися у вигляді трикутника, шестикутника і по квадрату.

За профілем поверхні вони поділяються на плоскі (звичайні пробивні решета) [33], опуклі і увігнуті [34], а також рельєфної форми для інтенсифікації процесу очищення насіння.

За розмірами - отвори постійного розміру, регульованого (циліндричне спіральне решето Піне із змінною відстанню між навивками) [13] і змінними розмірами отворів, де зміна розміру отворів забезпечується зміщенням рухомого решета щодо нерухомого, встановленого впритул до першого.

Розташування отворів на решеті має не менш важливе значення для процесу сепарування.

У плоских решетах, окрім розміщення отворів уздовж поверхні, зустрічається розташування рядами зі зміщенням і під кутом до утворюючої решета.

Все решета характеризуються загальним показником - коефіцієнтом живого перерізу, який знаходиться як відношення площі отворів до всієї площі решета, на якому вони розташовуються.

Широке поширення отримали плоскі пробивні решета, головним недоліком яких є малий живий переріз через наявність широких перемичок.

В.І. Аніскін і ін. [1] відзначають, що одними з кращих розробок були визнані:

- каскадний решітний сепаратор з великими прохідними отворами, що розділяє зернову суміш по узагальненій характеристикі;
- комп'ютерний сортувальник, який використовує принципи розпізнання зразків контрольованих частинок і забезпечує високоточний відбір біологічно найбільш цінного матеріалу;
- високошвидкісний гравітаційний сепаратор, що забезпечує інтенсивний поділ по розмірним ознакам в умовах соматичного руху оброблюваного матеріалу [7].

При аналізі сучасних досліджень в області зерноочищення з'ясовано, що вони відбуваються за такими напрямками:

- пошук, обґрунтування і створення конструкції нового, простого, надійного і економічного сепаратора;
- пошук нових високоефективних методів очищення зерна від домішок, що важко відділяти, на основі специфічних фізико-механічних властивостей.

До результатів першого напрямку можна віднести розробку і дослідження конструкції гравітаційного сепаратора з конічною поверхнею просіювання. Сюди ж можна віднести розробку Віма - гравітаційний сепаратор СГ-0,15 [7]. В обох конструкціях є загальні елементи - пруткові решета, нерухомо закріплені в корпусі. Частинки зернової маси скочуються по ним під дією гравітаційної сили, при цьому дрібна фракція просівається. До переваг цих конструкцій можна віднести економічність, простоту, надійність внаслідок відсутності рухомих деталей, низький відсоток травмування зерна та інші. Однак в цих сепараторах не опрацьоване питання з очищенням решіт від застряглих частинок.

До другого напрямку розвитку технологій і конструкцій машин для очищення зерна від домішок, що важко відділити, можна віднести методи [24]:

- діелектричного сепарування зерна;
- фрикційного очищення зерна;
- поділу маси зерна по вологості окремих зернин;
- поділу зерна за комплексом фізико-механічних властивостей: шорсткості, формі, коефіцієнту відновлення швидкості після удару;
- сепарування зернівок по сферичності;
- розділення насіння по масі;
- сепарування насіння в однорідному електричному полі;
- сортування насіння за кольором і багато інших.

Ці методи на даному етапі знаходяться на різних стадіях розробки, тому їх узагальнення для аналізу є передчасним. Можна лише відзначити, що очищення зерна від домішок завжди була найменш продуктивною і найбільш вартісною операцією.

Поряд з цими напрямками досліджень триває вдосконалення традиційних способів очищення зерна.

Відомі дослідження в області пневматичної очищення зерна, проведені в останні роки багатьма вченими, згідно яких з'ясовано, що на сучасному етапі розвитку розробляються технології, при яких на частку маси в пневматичному каналі діє кілька різноспрямованих сил. Це явище дозволяє протікати процесу сепарації більш ефективно, ніж у вертикальних аспіраційних каналах існуючих машин [26, 27].

В.Л. Злочевський і Е.А. Євсєєв теоретично досліджували процес пневмосепарації тонкодисперсних частинок як при детермінованому, так і при імовірнісному підходах [17]. Авторами розглядається вплив випадкових впливів «білого шуму» на тривалість процесу пневмосепарації тонкодисперсних частинок. При цьому використана квазістаціонарним модель випадкового процесу.

Для очищення зерна від важких домішок по щільності традиційно застосовувалися пневмостоли. В даний час конструкції машин, що працюють за цим методом, постійно удосконалюються. Багато в чому цьому сприяють дослідження вчених В.М. Дрінчі, С.С. Ямпілова та інших. У роботах [10,11] досліджені і обґрунтовані параметри удосконалених машин для поділу зерна в псевдозрідженому шарі. При їх аналізі з'ясовано, що дослідження тривають за наступними напрямками: вдосконалення і обґрунтування ділильних пристроїв (ножові, решітні, шахтні); обґрунтування форми деки вібропневмосепараторів; обґрунтування робочої поверхні; обґрунтування аеродинамічного опору деки; обґрунтування проведення технологічних операцій очищення, попередніх вібропневмосепаруванню й іншим.

Тривають дослідження, спрямовані на поліпшення технології очищення зерна. Н.І. Косилова і Н.В. Коваленко розроблена технологія очищення насіння пшениці від вівсюга на базі лінії ЗАВ-40, що дозволяє отримати кондиційне насіння за один пропуск [28]. При цьому, для забезпечення сходу довгих частинок вівсюга застосовуються решета з поверхнями, які здійснюють зворотно-поступальний рух спільно з решетом. Така модернізація дозволить більш якісно очищати зерновий матеріал.

Також тривають дослідження в області очищення зерна за розмірами. З цією метою вивчається технологічний процес роботи відцентрових конічних і циліндричних решет [14, 25, 35]. З підвищенням питомих навантажень на одиницю площі поверхні, що просівається, що відбувається при накладенні відцентрових сил на частинки маси, відбувається підвищене травмування зернівок. З цієї та деяких інших причин при вторинному очищенні зерна використовуються плоскі решета, які вчиняють коливальні рухи.

Відомі дослідження зарубіжних вчених. Проведено експериментальні дослідження з визначення оптимальних поєднань частотних характеристик вертикальної і горизонтальної вібрації сит з умови найкращого очищення і мінімального пошкодження зерна при очищенні насіння гірчиці. Мінімальна величина пошкоджуваності насіння отримана при режимі вертикальної вібрації сита з частотою, рівній 1450 Гц, а найбільший ефект очищення - при режимі горизонтальної вібрації з частотою коливань 130 хв^{-1} [39].

Болгарськими вченими зроблено припущення про те, що оптимального значення прискорення решета не існує. Для одного і того ж значення прискорення решета виходять самі різні значення відносної швидкості в залежності від співвідношення між амплітудою і частотою. З цього випливає, що при даному значенні прискорення можна очікувати різні значення повноти поділу. Це припущення може бути цілком справедливим лише для одного і того ж фізико-механічного складу зернової маси, так як оптимальні значення амплітуди і частоти коливань решета залежать від розмірів частинок матеріалу, що просіюється.

Нові розробки та конструкції зарубіжних фірм, що випускають зерноочисні машини, відомі за повідомленнями фахівців заводів [32] і вчених [14], вони приділяють особливу увагу технології очищення зерна, зниження витрат на його виробництво і переробку.

Одним із сучасних напрямків поліпшення технологічного процесу сепарації зерна на плоскому решеті є накладення на частки додаткових сил без втручання в кінематичні параметри руху решета. В цьому напрямку відомі роботи В.В. Шмігель [32]. У них автор повідомляє, що в результаті контакту з потенційним або заземленим

електродом в електростатичному полі, діелектрична зернова частка набуває вільного заряду, однойменний по знаку з зарядом решета. Це дозволяє їй зайняти положення, перпендикулярне площині решета, що сприяє її орієнтації та проходженню через круглі отвори. Електростатична сила дозволяє знизити коефіцієнт тертя зернин про решету, що покращує процес його руху по решету і виділення через отвори [14]. Однак дещо передчасно говорити про те, що зі зменшенням коефіцієнта тертя зерна про решето процес сепарації поліпшується, так як сила, що викликає відштовхування зернівки від поверхні решета буде перешкоджати проходженню частки через отвір.

В.М. Дрінча запропонував нову схему плоскорешетного сепаратора, в якому зернина «притискаються» до поверхні решета низхідним повітряним потоком. На думку автора, дане конструктивне рішення дозволить підвищити ефективність очищення насіння в 2...3 рази в порівнянні з традиційним плоскорешетним сепаратором [10, 11]. Однак автор не враховує, що створення повітряного потоку є одним з найбільш енергоємних у зерноочисних машинах процесом. Це може підвищити витрати на очистку зерна. Крім того, герметизація решетного стану зерноочисної машини - досить складна операція.

Один із шляхів інтенсифікації процесу сепарації зерна на плоских решетах - ускладнення закону його коливань по прямолінійній (умовно) траєкторії.

Проведені теоретичні дослідження роботи плоских решіт, що здійснюють бігармонічні коливання з приводом від ексцентрикового механізму [13]. На основі результатів створено математичну модель, що описує процес руху частинки з тертям по решету, оскільки він розглядався у вигляді сталевого листа, що здійснює коливання як по моно-, так і по бігармонічній закону. В.Ф. Евтягіним розроблена методика, що дозволяє розраховувати продуктивність решета при відомих параметрах відносного руху зерна по ньому.

1.2 Оглядовий аналіз результатів щодо впливу конструкції решета на сепарації зернового вороху

Решета, призначені для поділу на фракції зернової маси за конструктивними ознаками можна класифікувати за такими видами:

1. З регульованими розмірами отворів (жалюзійні, що застосовуються, передусім, в зернозбиральних комбайнах).
2. Нерегульовані, плоскі з різною формою і розташуванням отворів: решета з круглими, прямокутними (продовгуватими), трикутними і іншими видами отворів.
3. Нерегульовані, з «розвиненою» формою поверхні: жолоби з круглими отворами; профільовані з прямокутними отворами; ступінчасті.
4. Нерегульовані, з підвищеною орієнтуючою здатністю: струнні та пруткові решета.
5. Відцентрові циліндричні і конічні.

До досліджень останніх років, присвяченим удосконаленню конструкцій самих решіт можна віднести роботи [5, 38] та інші. При їх аналізі з'ясовано, що за рахунок продуманої геометрії перемичок решета можна підвищити його пропускну здатність і зменшити рівень травмування зерна.

У більшості випадків удосконалення конструкцій решіт пов'язане з кінематичними параметрами їх коливань. В.Н. Мінаєв і Х. Реггі при дослідженні кінематичних параметрів профільованих решіт прийшли до висновку, що максимальна ефективність сепарації, при всіх використовуваних навантаженнях відповідає амплітуді $r = 15$ мм [31]. В.Н. Мінаєв і Х. Реггі повідомляють, що плоскі решета забезпечують повноту поділу на 10 ... 15% нижче від профільованих у всьому діапазоні зміни питомих навантажень [31]. Настільки суттєве покращення технологічного процесу функціонування решета дослідники пояснюють інтенсифікацією поздовжнього розташування частинок профільованим решетом. Однак вони не враховують, що не для будь-яких типів отворів решета можна призначати великі (порівняно) амплітуди коливань. При переході на значно вищі амплітуди коливань решета збільшуються своє прискорення, крім того, за умови якщо довжину підвісок залишити аналогічними до традиційних варіантів у вітчизняних зерноочисних машин, спотворюється закон коливань решіт.

В інших випадках, для сепарації зерна доцільно застосувати негармонійний закон коливань решета. У роботі [20] досліджується решета з круглими отворами для відокремлення вівсюга. Решітний стан, що приводився в зворотно-поступальний рух

за допомогою чотирьовального вібратора, придатний для реалізації гармонійних та бігармонійних коливань.

На нього встановлювали плоскі і жолоби решета. Решітний стан був підвішений до рами машини за допомогою плоских пружин, що дозволяло йому здійснювати коливання по дузі кола або, у спрощеному вигляді по прямій. Це дає можливість сприймати сепаратор як коливальний, так і вібраційний. Амплітуда і кутова швидкість відповідали відповідно $r_1 = 0,91$ мм і $\omega = 110,2$ с⁻¹.

На основі проведених експериментів з'ясувалося, що повнота поділу при роботі решіт на бігармонійних режимах коливань є вищою в середньому на 5 ... 7%, ніж на режимі гармонійних коливань, причому нижня межа відповідає величині якісного показника для жолобоподібного, а верхній - для плоского решета. Автор не повідомляє про конкретні режимах бігармонічних коливань, що інтенсифікують процес сепарації, проте з його висновків стає зрозуміло, що в цьому випадку потрібно прагнути працювати на режимах, що забезпечують максимальну величину результуючої швидкості руху зерна на решеті.

Б.В. Жіганков при дослідженні технологічного процесу поділу зернової суміші по довжині частинок на ступеневому решеті і зробив висновок про те, що гармонійний режим коливань не забезпечує позитивних результатів, так як призводить до високого рівня динамічних навантажень на раму.

Автором теоретично і експериментально досліджено процес сепарації на решеті, що наводиться в зворотно-поступальний рух за допомогою кулісного механізму. В результаті застосування негармонійного приводу решета знизилася динамічні навантаження на елементи конструкції [20].

Триває вдосконалення конструкцій решіт з прямокутними отворами. П.А. Ємельянов запропонував нову конструкцію решета з профільуючою поверхнею. Для цього на перемичках між отворами решета розміщені розмежовувачі трикутної (в поперечному перерізі) форми. Випадкове розташування зерна щодо прохідних отворів перетворюється в точно окреслений, що сприяє збільшенню продуктивності очисної машини. Продовгуваті домішки (стебла, солома, колоски) затримуються на розмежовувачах і не забивають отвори решета [18]

Багато в чому технологічні показники процесу очищення зерна на решетах залежать від якості їх виготовлення і умов експлуатації.

Л.Н. Буркова розкрила питання впливу розташування отворів решета на якість сепарації. Автор зробив висновки: точність виготовлення отворів решета впливає на якість розділення зернової суміші, причому розподіл їх відхилень підпорядковується нормальному закону; деформація площини решета призводить до появи частинок сходових фракцій в прохідній [5]. При цьому автор не вказав, наскільки великий вплив точності виготовлення решета впливає на повноту поділу.

Робочий розмір отвору решета з часом його експлуатації збільшується і цілком ймовірно, що величина його зносу перевищить початкові відхилення.

Одним з найбільш об'ємних напрямів вдосконалення плоских решіт є заміна перемичок між отворами на струни. Багатьма вченими досліджено питання підвищення технологічних параметрів струнних решіт. Відомі роботи В.А. Кубишева, М.А. Тулькібаєва, Ю.В. Терентьєва, А.І. Климка [25].

Ю.В. Терентьєв досліджував закономірності процесу сепарації зерна на струнному решеті. При цьому автором обґрунтована кругла (в поперечному перерізі) форма перемичок решета як найбільш раціональна для проходження насіння в підгратний простір. Ю.В. Терентьєв приходить до висновку про те, що струнні решета менш чутливі до перевантажень, ніж пробивні.

І.П. Лапшиним продовжено дослідження роботи решіт дрото-зварної конструкції при післязбиральній обробки зерна. Автором виявлено раціональний режим кругових коливань цих решіт, при роботі на якому продуктивність підвищується в 1,2 ... 2,0 рази, а витрати потужності на привід знижуються на 10 ... 17% у порівнянні з існуючими прямолінійними коливаннями. Даний ефект був виявом використання інтенсифікуючої дії дрото-зварного решета і оптимальних параметрів його кінематичного режиму, але залишається не зрозумілим питання, як буде здійснена очищення решіт від застряглих в них зернівок.

Однак, струнні решета незважаючи на кращі якісно-кількісні показники, не набули широкого застосування в зерноочистка через більшу складність у виготовленні і витрат при експлуатації в порівнянні з пробивним.

1.3 Висновки до першого розділу

1. Найбільш перспективними напрямками при створенні зерноочисних машин в даний час є: пошук універсального, простого, багатофункціонального методу очищення зерна; розвиток методів очищення зерна від важких домішок за новими критеріями поділу; розвиток традиційних методів очищення і сепарації зерна.

2. Практично відсутні дослідження технологічного процесу сепарації зерна на решетах з прямокутними отворами, розташованими під кутом до поздовжньої осі решета.

3. Рівномірний розподіл зерна по ширині решета є одним з факторів, що обумовлюють ефективну роботу зерноочисної машини.

4. На основі зроблених висновків нами було встановлено, що одним із шляхів інтенсифікації процесу сепарації зерна є застосування решета з прямокутними отворами, розташованими під кутом, що здійснює кругові рухи.

2 МЕТОДИКА Й ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Мета та задачі експериментальних досліджень

Метою проведення експериментальних досліджень є встановлення впливу на технологічні параметри процесу сепарації зерна конструктивно-кінематичних параметрів технічного засобу поділу зернової маси.

Для виконання поставленої мети вирішувались наступні задачі:

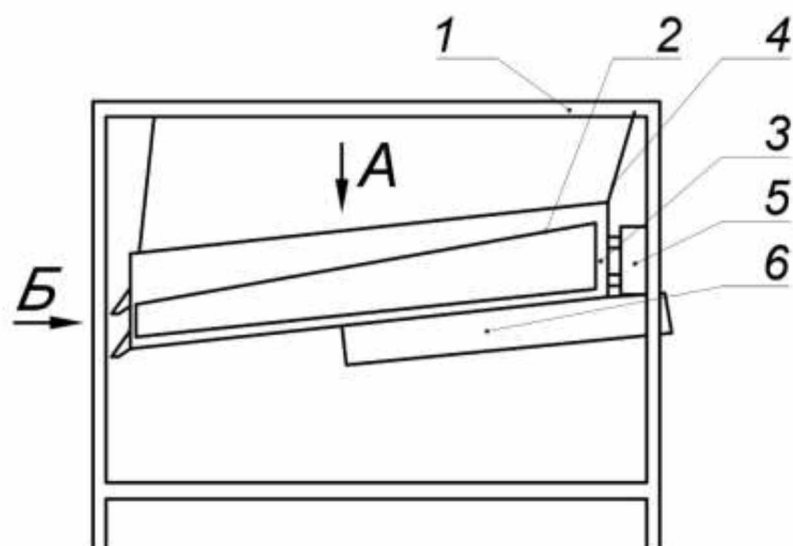
- створення дослідної експериментальної установки для визначення якісних та кількісних показників роботи решета сепаратора;
- формування методики по експериментальному визначенню якісних та кількісних показників роботи решета сепаратора;
- відобразити функціональний взаємозв'язок між визначними та визначальними показниками у вигляді апроксимованих поліноміальних залежностей.

2.2 Експериментальна установка засобу сепарації з обертовим решетом

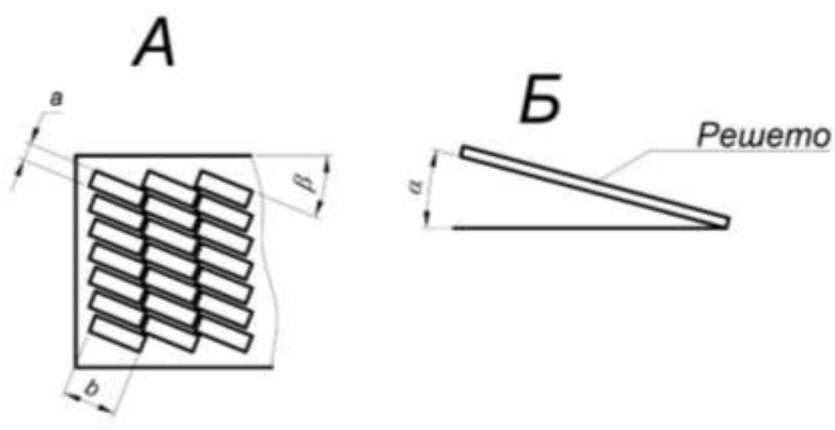
Для проведення експериментальних досліджень по виявленню закономірностей якісних і кількісних показників роботи решета з прямокутними отворами, розташованими під кутом до поздовжньої осі, що здійснює кругові рухи була виготовлена лабораторна установка (рис. 2.1).

Лабораторна установка містить корпус 1, решето прямокутної форми 2, встановлене в решітний стан 3, решітний стан підвішений на шарнірних тягах 4 і приводиться в рух від електродвигуна 5 і приводу 6, що дозволяє забезпечити обертові рухи.

Привід решетного стану виконаний у вигляді кривошипа з фіксованим радіусом (рис. 2.2). Тому нами було прийнято рішення прийняти амплітуду коливань решета $A = \text{const}$ (постійною величиною, рівною $A = 0,09$ м.). Збільшення або зменшення радіуса кривошипа решета, пропорційно впливає на зміну амплітуди коливань решета. При амплітуді відмінною від 0,09 м в більшу сторону, спостерігається нестійкий процес сепарації, а решітний стан робить хаотичний рух. При амплітуді менше 0,09 м очищення зернового матеріалу припиняється.



а)



б)

в)

Рисунок 2.1 - Схема лабораторної установки: а - загальний вигляд, б - вид А, в - вид Б, 1 - корпус, 2 - решето прямокутної форми, 3 - решітний стан, 4 - шарнірні тяги, 5 - електродвигун, 6 - привід, дозволяє забезпечити кругові рухи



Рисунок 2.2 – Лабораторна установка

Установка працює таким чином: зернова маса потрапляє на решітний стан, в якому встановлено решето прямокутної форми, з отворами розташованими під кутом, наприклад 35° до поздовжньої осі решета, а саме решето встановлено під кутом, наприклад 5° до горизонту. Решето виконано прямокутної форми і має прямокутні отвори розмірами $a \times b$, причому $b > a$, розташовані під кутом до напрямку руху зерна (рис. 2.3). Електродвигун через привід здійснює кругові коливання решітного стану, на решеті відбувається поділ маси на два потоки - чисте зерно (схід) і забруднювачі (прохід).

За рахунок сукупного застосування кругового руху, а так також отворів, розташованих під кутом, ймовірність попадання зернини в отвори зростає, що відповідно тягне до підвищення продуктивності решітного стану і якості очищення. Прохідний матеріал, пройшовши отвори решета, потрапляє на скатну дошку і збирається в спеціальних лотках.

Очищене зерно основної культури, ковзаючи по решету, виводиться за межі решітного стану, і накопичується в лотках.



Рисунок 2.3 – Решето прямокутної форми

Кожен дослід проводили в такій послідовності:

- попередньо закріплене змінне решето з необхідним кутом нахилу отворів, встановлювали кут його поперечного нахилу, а також інші параметри роботи решета;
- вмикали електродвигун механізму приводу решета, контролювали і корегували частоту обертання приводного валу за допомогою тахометра;

- відкривали дросельну заслінку подачі зернового матеріалу - сходову і прохідна фракція спрямовували у допоміжні ємності; через 10 ... 15 секунд включали секундомір, подаючи зерно на решітний стан для сталого режиму;
- вимикали секундомір і подачу зернового матеріалу;
- вимикали електродвигун механізму приводу решета; зважували сходову і прохідну фракцію на електронних вагах МК - 15.2-A20, за виразом (2.2) визначали величину ε .

Всі дані вимірів, установок і спостережень записували в лабораторний журнал.

2.3 Методики визначення ключових показників функціонування решета

2.3.1 Методика визначення повноти поділу

До якісної оцінки сепарування зернової суміші багато вчених [7, 37] відносять повноту поділу. Автори Л.І. Мачихина і Г.Ф. Сафронов розробили всебічний і докладний підхід до оцінки якості сепаратора для очищення рису [30]. Він використовується також до випробувань лабораторних установок для сепарації зерна. Недоліком цього підходу є порівняно великий обсяг обчислень, що робить його придатним тільки для спеціалізованих підприємств, що займаються випробуванням техніки.

Досить оригінальним підходом до оцінки якісного ефекту роботи решета і підготовці зернового купи є методика, викладена Б.І. Зюзьковим [23]. Визначення коефіцієнта поділу ведеться за результатами двох перепусток зернового матеріалу через один і той же робочий орган.

Після першого пропуску прохід решета фарбують і визначають відносний його зміст (Δ_1). Змішують схід і прохід першого пропуску і вдруге сортують цей матеріал. Визначають відношення пофарбованого зерна в проході до всієї зернової маси (Δ_2). Коефіцієнт поділу (ε) визначають з виразу:

$$\varepsilon = \frac{\Delta_2 - \Delta_1^2}{\Delta_1 - \Delta_1^2}. \quad (2.1)$$

Якщо після другого пропуску все зафарбоване зерно потрапило в прохід, то решето ділить масу ідеально. Якщо відсоток зафарбованого зерна виявиться однаковим як в сході, так і в проході, то решето ділить зерновий матеріал за випадковими ознаками. Недоліком даного методу є значна трудомісткість по фарбуванню зерна.

Повнота поділу з кількісної сторони визначається за такою залежністю:

$$\varepsilon = \frac{P}{P_o \cdot a}, \quad (2.2)$$

де P – кількість зерна, що виділене решетом за час дослід, кг;

P_o – загальна кількість зерна, що надходить на решето за час дослід, кг;

a – відносний вміст прохідної фракції у вихідному матеріалі.

Величина відносного вмісту прохідної фракції у вихідному зерновому матеріалі (a) визначалася таким чином [13].

Наважку вихідного матеріалу сортували на ряді лабораторних решіт, зважували прохід кожного з них і будували варіаційну криву розподілу зернового матеріалу по масі в функції від розмірів решіт. Після цього підраховували середню величину (M), середнє квадратичне відхилення (σ) і відхилення робочого об'єму решета (l_p) від середньої (M) в частках σ . По таблиці значень нормального інтеграла (Φ), вважаючи 1000 зернин за одиницю, визначали відносну кількість зерна (по масі), яке має розмір від l_p до M . Якщо величина робочого об'єму $l_p < M$, то $a = 0,5 - \Phi$, а якщо $l_p > M$, то $a = 0,5 + \Phi$. Контроль отриманої величини (a) здійснювали шляхом багатократного сортування сходових фракцій зернового матеріалу на робочому решеті.

При проведенні дослідів продуктивність решета визначалася на одиницю його площі (m^2). Зерновий матеріал має наступну характеристику: $M = 2,59$ мм. $\sigma = 0,29$ мм.

2.3.2 Методика визначення продуктивності решета

Продуктивність решета знаходиться за допомогою залежності повноти поділу від питомого навантаження на решето ($\varepsilon = f(G)$) (рис. 2.4). По осі абсцис відкладені величини питомого навантаження і продуктивності.

Це дві прямопропорційні величини для плоских решіт прямокутної форми. Повнота поділу - величина стандартизована.

Для машин первинного очищення вона фіксується на позначці 0,8 ($\varepsilon_{ст}$). На рисунку 2.4 ця величина позначена лінією, паралельної осі абсцис.

Абсциса точки перетину залежності $\varepsilon = f(G)$ з прямою $\varepsilon = 0,8$ кг/(м²год) є величиною продуктивності решета.

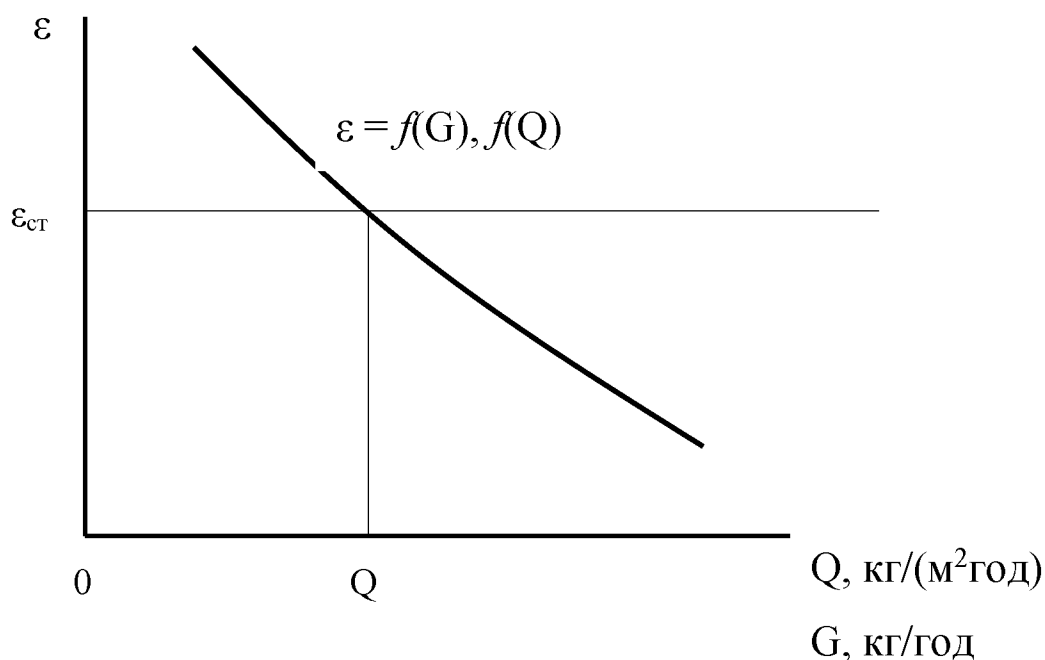


Рисунок 2.4 – До визначення продуктивності решета

2.4 Методика оцінки розподілу зерна по ширині решета

При проведенні експериментів по визначенню розподілу зерна по ширині решета користувалися стандартною методикою, викладеної в [12].

На шляху надходження зернового матеріалу на решето встановлюють скатну дошку з відсіками рівної величини. Кількість відсіків (n) для серійних зерноочисних машин приймають не менше восьми.

За скатній дошці зерновий матеріал сходових фракції при проведенні дослідів прямував в пробовідбірник.

Час відбору проб приймалося рівним 30 с, як і в інших випадках при проведенні експериментальних досліджень. Вміст пробовідбірників зважували. Проби відбирали в триразовій повторюваності.

Визначали середню вагу зерна, що надійшов на i -у ділянку решета за час досвіду.

По середній вазі визначають подачу i -ої ділянки решета за формулою:

$$П_i = \frac{3600 \cdot G_{CPi}}{\tau}, \text{ кг/год}, \quad (2.3)$$

де G_{CPi} - середня вага зернового матеріалу, що поступає на i -ту ділянку решета за час повторюваності досвіду, кг;

τ – тривалість повторюваності досвіду, с.

середня подача зернового матеріалу ($П_{CP}$) на ділянці решета визначають за формулою:

$$П_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^n П_i}{n}, \text{ кг/год} \quad (2.4)$$

де $\sum_{i=1}^n П_i$ - загальна подача зернового матеріалу на решето, кг/год;

n – кількість ділянок по ширині решета, на яких здійснюють виміри.

Числовий показник характеристики рівномірності розподілу матеріалу по ширині решета - коефіцієнт нерівномірності по ширині (μ_B) - визначають за формулою:

$$\mu_B = \frac{\sigma_p}{П_{CP}} \cdot 100\%, \quad (2.5)$$

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (П_i - П_{CP})^2}{n-1}}, \quad (2.6)$$

де σ_p – середнє квадратичне відхилення від середньої подачі матеріалу по ширині решета;

Розподіл матеріалу по ширині решета визначають на всьому діапазоні варіювання питомого навантаження на решето.

2.5 Методика виконання відсіваючого експерименту

Відсіваючий експеримент проводиться з метою встановлення чинників, що роблять найбільший вплив на величину оптимізації [21].

Для проведення експерименту обраний ортогональний насичений план Плакетта-Бермана з матрицею спеціальної конструкції (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Матриця планування експерименту

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
1	1	1	1	1	-1	1	-1
2	1	-1	1	1	1	-1	1
3	1	-1	-1	1	1	1	-1
4	1	1	-1	-1	1	1	1
5	1	-1	1	-1	-1	1	1
6	1	1	-1	1	-1	-1	1
7	1	1	1	-1	1	-1	-1
8	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1

На процес сепарації впливають наступні фактори:

G - питоме навантаження на решето (X_1);

w - відносна вологість зернового матеріалу (X_2);

β - кут нахилу довгих країв прямокутних отворів решета до поздовжньої осі решета (X_3);

α - кут поздовжнього нахилу решета до горизонту (X_4);

n - частота кругових коливань решета (X_5).

Для визначення дисперсії оцінок чинників до досліджуваних факторів додаються два фіктивних (X_6 , X_7). Завдяки ортогональності плану коефіцієнти регресії розраховуються незалежно один від одного. Кожен дослід проводиться з триразовою повторюваності. Результатом проведення експерименту є отримання лінійної моделі виду [12]:

$$y = b_o + \sum_{i=1}^n b_i x_i, \quad (2.7)$$

де n - число дійсних чинників моделі (без фіктивних).

Розрахунок коефіцієнтів регресії ведеться за формулою [21]:

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^N x_{iu} y_u}{N}, \quad (2.8)$$

де N - кількість дослідів моделі, $N = 8$.

Залишкова дисперсія розраховується [12]:

$$S_y^2 = \frac{N \sum_{j=1}^{N-k-1} b_j^2}{N - k - 1}, \quad (2.9)$$

де b_j - коефіцієнт регресії при j -му фіктивному факторі (загальна кількість $(N - k - 1)$).

Для перевірки статистичної значущості коефіцієнтів розраховуються дисперсія коефіцієнту:

$$S_{bi} = \sqrt{\frac{S_y^2}{N}}. \quad (2.10)$$

Значимість коефіцієнтів регресії визначається за t -критерієм, при чому статистично значимі є коефіцієнти, що визначаються з умови:

$$|b_i| \geq t_{kp} \cdot S_{bi}. \quad (2.11)$$

Потім необхідно перевірити гіпотезу про адекватність моделі.

Перевірка отриманої лінійної моделі на адекватність здійснюється за критерієм Фішера. Дане значення визначається за формулою:

$$F_{f_2; f_1}^{розр} = \frac{S_{неад}^2}{S_y^2}, \quad (2.12)$$

$$f_2 = N - k', \quad (2.13)$$

де k' - кількість вагомих коефіцієнтів апроксимованого рівняння;

N - кількість дослідів плану;

$$f_2 = N(n - 1), \quad (2.14)$$

N - кількість повторів кожного дослідів;

$S_{неад}^2$ - дисперсія неоднозначності.

$$S_{неад}^2 = \frac{SS_{неад}}{f_2}, \quad (2.15)$$

$$SS_{неад} = n \sum_{i=1}^N \left(y_{u_{розр.}} - \bar{y}_{u_{експ}} \right)^2, \quad (2.16)$$

де $y_{уирасч}$, $y_{уексп}$ – значення відклику в i -тому досліді, відповідно, розрахованого за рівнянням регресії та визначене експериментально.

Гіпотеза про адекватність рівняння може бути прийнята лише тоді, коли отримане при проведенні розрахунків значення критерію Фішера не перевищує табличного значення для вибраного рівня достовірності, тобто $F_{табл.} \geq F_{розр.}$.

2.6 Методика проведення багатofакторного експерименту

Для надання опису закономірностей очищення зернового матеріалу проводиться експеримент багатofакторний експеримент, за допомогою якого з'являється можливість виявити вплив трьох чинників на очистку зернового матеріалу, таких як кут нахилу прямокутних отворів, частота кругових коливань і питоме навантаження на решето. В якості моделі обраний симетричний прямокутний композиційний план другого порядку з матрицею планування експерименту, представлена в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Матриця планованого експерименту

№	X0	X1	X2	X3	X1X2	X2X3	X2X3	X1X1	X2X2	X3X3
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1
3	1	1	-1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	-1	-1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	-1	1	-1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
11	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
12	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
14	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
15	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Після проведення експерименту планується отримання апроксимоване рівняння типу:

$$y = b_o + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i \leq j \leq k} b_{ij} x_i x_j + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2 \quad (2.17)$$

Для виключення систематичних похибок, що викликані зовнішніми вимогами при проведенні експерименту, здійснювалась проведення дослідів рандомним чином. Кількість повторів кожного дослідів при проведенні багатofакторного експерименту за нижче приведеною формулою з вірогідністю 0,95:

$$n = \frac{S_y^2}{0.05 \tau^2}, \quad (2.18)$$

де S_y – середнє квадратичне відхилення;

τ – величина, що складає 5% від середнього значення y ;

$\bar{y}$ – середнє арифметичне.

За результатами розрахунків кількість повторів кожного дослідів прийнято рівним чотирьом.

Для кожного дослідів розраховується дисперсія:

$$S_{y_u}^2 = \frac{\sum_{g=1}^n (y_{ug} - \bar{y}_u)^2}{n-1}, \quad (2.19)$$

де y_{ug} – результат g -ого повтору;

$\bar{y}_u$ - середнє арифметичне u -ого повтору.

Для визначення можливості проведення регресійного аналізу розраховують однорідність дисперсій паралельного дослідів за критерієм Кохрена:

$$G^{розр} = \frac{\max S_{y_u}^2}{\sum_{u=1}^N S_{y_u}^2}, \quad (2.20)$$

де $\max S_{y_u}^2$ - найбільша у ряду дисперсія.

Розрахункове значення критерію $G_{розр}$ порівнюємо зі значенням критерію Кохрена, узятим з таблиці [22] в залежності від рівня значущості, числа ступенів

свободи $f = n - 1$ і числа дослідів. Ряд дисперсій вважається однорідним, якщо $G_{розр} < G_{табл}$ [22].

Дисперсія відтворюваності розраховується:

$$S_{y_u}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N S_{y_u}^2}{N} \quad (2.21)$$

де N - число незалежних дослідів.

Проведення експерименту з використанням ортогонального симетричного композиційного плану передбачає отримання спочатку моделі процесу виду [22]:

$$y = b'_o + \sum_{i=1} b_i x_i + \sum_{i \leq j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1} b_{ii} x_i^2 \quad (2.22)$$

Оцінки коефіцієнтів моделі (2.22) визначають незалежно один від одного за формулами [22]:

$$b'_o = \frac{\sum_{u=1}^N n_u \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N n_u}, \quad b_i = \frac{\sum_{u=1}^N n_u x_{iu} \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N n_u x_{iu}^2}, \quad (2.23)$$

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N n_u (x_i x_j)_u \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N n_u (x_i x_j)_u^2}, \quad b_i = \frac{\sum_{u=1}^N n_u x'_{iu} \bar{y}_u}{\sum_{u=1}^N n_u x'^2_{iu}}. \quad (2.24)$$

де u – порядковий номер дослідів.

Дисперсії оцінок коефіцієнтів розраховують:

$$S_{b'_o}^2 = \frac{S_y^2}{\sum_{u=1}^N n_u}, \quad S_{b_i}^2 = \frac{S_y^2}{\sum_{u=1}^N n_u x_{iu}^2}, \quad (2.25)$$

$$S_{b_i}^2 = \frac{S_y^2}{\sum_{u=1}^N n_u (x_i x_j)_u^2}, \quad S_{b_i}^2 = \frac{S_y^2}{\sum_{u=1}^N n_u x'^2_{iu}}. \quad (2.26)$$

Після розрахунку коефіцієнтів рівняння регресії, проводиться їх перевірка на статистичну значущість.

Довірчий інтервал розраховується:

$$\Delta b_i = t_{\alpha; f_1} S_{b_i}, \quad (2.27)$$

де t - критерій Стюдента, береться з таблиць в залежності від рівня значущості і числа ступенів свободи f_1 ;

S_{b_i} - середньквдратична помилка у визначенні коефіцієнтів регресії.

Потім визначається значимість коефіцієнтів. Коефіцієнт вважається статистично значимим, коли його абсолютна величина більше довірчому інтервалу чи дорівнює йому:

$$|b_i| \geq \Delta b_i. \quad (2.28)$$

При ортогональному плануванні значимі коефіцієнти з моделі можуть бути виключені, при цьому перерахунок інших коефіцієнтів не потрібно.

Після розрахунку коефіцієнтів і перевірки їх статистичної значущості від моделі (2.22) переходять до моделі (2.17), розраховавши значення b_o

$$b_o = b'_o - \lambda_2 \sum_{i=1}^k b_{ii}, \quad (2.29)$$

$$\lambda_2 = N^{-1} \sum_{u=1}^N x_{iu}^2. \quad (2.30)$$

Оскільки коефіцієнти b_o і b_{ii} оцінені незалежно один від одного, дисперсія $S_{b_o}^2$ визначається за законом накопичення помилок:

$$S_{b_o}^2 = S_{b'_o}^2 + \lambda_2^2 \sum_{i=1}^k S_{b_{ii}}^2. \quad (2.31)$$

Перевірку отриманої моделі на адекватність здійснюють за допомогою критерію Фішера за формулами (2.11) - (2.15).

2.7 Висновки до другого розділу

1. Обрана програма експериментальний досліджень, визначено методику проведення вимірів за визначенням якості поділу зернової купи.

2. Виготовлені експериментальні плоскі решета і лабораторну установку, яка дозволяє змінювати значення технологічних параметрів в межах встановлених методикою експерименту.

3. Розглянуто методику проведення експериментів з використанням методів багатофакторного планування для отримання рівнянь регресії.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Результати відсіваючого експерименту

Аналіз літературних джерел, результати теоретичних і експериментальних досліджень показали, що на процес сепарації на плоскому решеті впливає безліч факторів. Найбільший вплив мають наступні фактори:

G – питоме навантаження на решето (X_1);

w – відносна вологість зернового матеріалу (X_2);

β – кут нахилу довгих крамок прямокутних отворів решета до поздовжньої осі решета (X_3);

α – кут поздовжнього нахилу решета до горизонту (X_4);

n – частота кругових коливань решета (X_5).

Всі перераховані фактори відповідають вимогам керованості, операційності, сумісності, однозначності і незалежності.

Детальне їх дослідження потребувало би значної кількості дослідів.

Відсіваючий експеримент дозволяє виділити тільки ті фактори, які найбільш суттєво впливають на величину критерію оптимізації.

Критерієм оптимізації є повнота поділу зернової суміші. Результати однофакторних експериментів дозволили вибрати рівні та межі варіювання факторів при проведенні багатфакторного експерименту [23].

Експериментальні дослідження проводилися по насиченому плану Плакетта-Бермана з дванадцятьма експериментами.

Таблиця 3.1. Рівні варіювання факторів

Фактори	G , кг/м ² с	W , %	β , град	α , град	n , хв ⁻¹
Межі варіювання					
Верхній рівень (+1)	2,02	17	45	8	132
Нижній рівень (-1)	0,68	13	0	6	68

Для визначення дисперсії оцінок факторів, що досліджуються, були додані два фіктивних (X_6, X_7). При цьому передбачалося, що домінуюче значення мають лінійні чинники. Завдяки ортогональності плану коефіцієнти регресії розраховуються незалежно один від одного. Отримана модель є адекватною на 1%-му рівні за критерієм Фішера ($F^{\text{розр}} = 12,60 < F^{\text{табл}} = 17,80$).

Результати розрахунку коефіцієнтів у експерименті представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати відсіваючого експерименту

Фактор	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
Коефіцієнт b_i	-0,1341	0,032	-0,0186	0,0092	0,0144	0,0020	0,0022
Довірчий інтервал	0,0093						
Значимість коефіцієнту	значимий	незначимий	значимий	незначимий	значимий	незначимий	незначимий

З аналізу таблиці 3.1 стає зрозуміло, що статистично значимі по критерію Стюдента на 5% рівні значимість присутня для наступних критеріїв: питоме навантаження на решето, кут розташування прямокутних отворів решета до повздовжньої осі решета та частоти коливань решета.

3.2 Результати багатфакторного експерименту

Проведення багатфакторного експерименту здійснюється з метою обґрунтування оптимальних параметрів решета з похилими отворами. Критерієм оптимізації є повнота поділу зернової суміші. Оскільки експериментальні дослідження здійснювалися на підсівних решетах, що виділяє дрібні і щуплі домішки з основної культури, фактор втрат зерна за решетом не розглядається як впливовим на якість роботи.

Експеримент проводився зі застосуванням симетричного ортогонального композиційного плану другого порядку. Використання останнього обґрунтовано зручністю математичних розрахунків, так як не потрібно здійснювати перерахунок коефіцієнтів регресії при вибракуванні статистично значущих. Властивості

композиційності цього плану є тим, що дозволяє отримати спочатку лінійну модель, а в разі її адекватності - побудувати до моделі другого порядку.

При оцінці якості роботи решета застосовувався план другого порядку з трьома факторами:

n – частота кругових коливань решета (X_1);

β – кут нахилу довгих кромek прямокутних отворів решета до його поздовжньої осі (X_2);

G – питоме навантаження на решето (X_3);

Межі варіювання факторів представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Межі варіювання факторів

Фактор	n	β	G
Кодоване значення	X_1	X_2	X_3
Основний	109	45	1,48
Інтервал варіювання	30	15	0,54
Верхній рівень	140	60	2,02
Нижній рівень	80	30	0,98
Зіркова точка +а	145,45	62,2	2,12
Зіркова точка -а	71,55	25,7	0,86

Стандартна матриця цього плану передбачає проведення 15-ти дослідів та відображена у таблиці 2.2.

У відповідності до дослідів, що проводились з 4-ти кратною повторюваністю, були отримані наступні значення якості розділення зернової маси на решеті, що здійснює обертові рухи.

Таблиця 3.3 – Якість розділення зернової маси

Повторюваність	I	II	III	IV	Середнє
Номер досліду					
1	0,487	0,50161	0,49187	0,47726	0,489435
2	0,787	0,81061	0,79487	0,77126	0,790935
3	0,479	0,49337	0,48379	0,46942	0,481395
4	0,827	0,85181	0,83527	0,81046	0,831135
5	0,811	0,83533	0,81911	0,79478	0,815055
6	0,777	0,80031	0,78477	0,76146	0,780885
7	0,573	0,59019	0,57873	0,56154	0,575865
8	0,553	0,56959	0,55853	0,54194	0,555765
9	0,548	0,56444	0,55348	0,53704	0,55074
10	0,754	0,77662	0,76154	0,73892	0,75777
11	0,508	0,52324	0,51308	0,49784	0,51054
12	0,772	0,79516	0,77972	0,75656	0,77586
13	0,727	0,74881	0,73427	0,71246	0,730635
14	0,570	0,5871	0,5757	0,5586	0,57285
15	0,777	0,80031	0,78477	0,76146	0,780885

Після проведення регресійного аналізу дослідних даних, були отримані наступні коефіцієнти регресії:

$$b_0 = -0,969,$$

$$b_1 = 0,0028,$$

$$b_2 = 0,0147,$$

$$b_3 = 1,953,$$

$$b_{12} = 1,63 \cdot 10^{-5},$$

$$b_{13} = -0,00575,$$

$$b_{23} = -0,00779,$$

$$b_{11} = 1,14 \cdot 10^{-5},$$

$$b_{22} = -6,5 \cdot 10^{-5},$$

$$b_{33} = -0,291.$$

Усі коефіцієнти є значимі, так як довірчий інтервал у відповідності до критерію Стюдента дорівнює 0,000628876. Модель визнана адекватною на 5% рівні по критерію Фішера ($F_{\text{розр}} = 2,01 < F_{\text{табл}} = 2,05$).

$$Y = -0.96866 + 0.0027879X_1 + 0.014646X_2 + \\ + 1.853479X_3 + 1.73083 \cdot 10^{-5} X_{12} - 0.005653125X_{13} - \\ - 0.00795625X_{23} + 1.13361 \cdot 10^{-5} X_1^2 - 6.20146 \cdot 10^{-5} X_2^2 - 0.2897948 \cdot 10^{-5} X_3^2.$$

Аналізуючи отримане рівняння регресії у представленому вигляді слід привести наступні висновки:

1. Зі збільшенням частоти обертання решета, кута нахилу довгих кромek прямокутних отворів решета до його поздовжньої осі і питомого навантаження на решето, якість поділу зернового матеріалу поліпшується, що підтверджує позитивними значеннями коефіцієнтів b_1 , b_2 , b_3 при відповідних X_1 , X_2 і X_3 .

2. Питоме навантаження на решето має більший вплив, ніж кут нахилу довгих кромek прямокутних отворів решета до його поздовжньої осі і частоти обертання решета ($|b_3| > |b_2| > |b_1|$).

3. Спільне взаємодія факторів X_{13} і X_{23} негативно відображається на розподілі зернової маси.

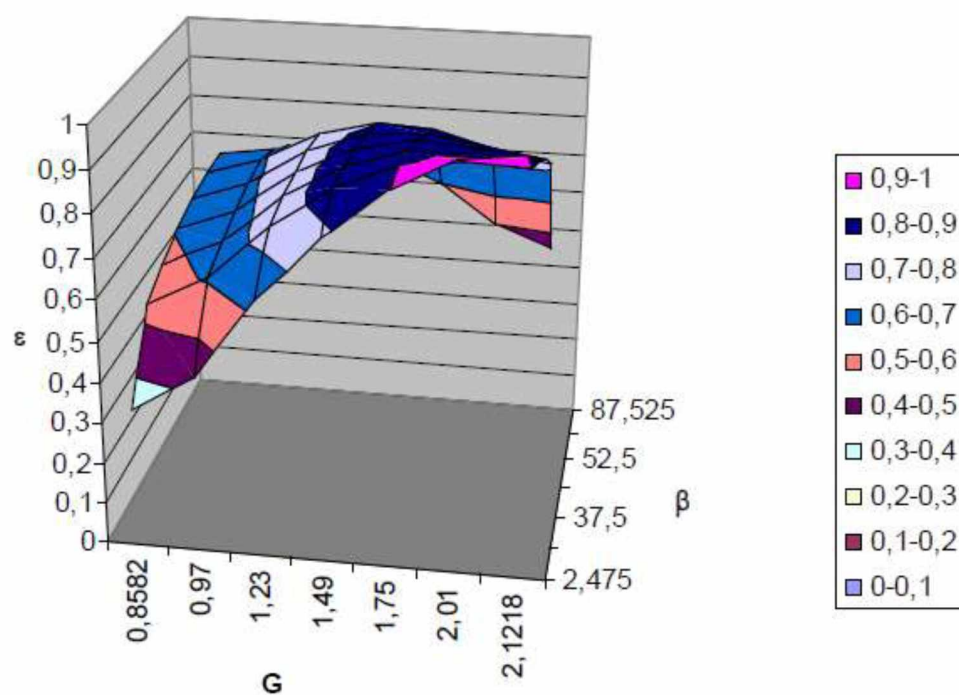
4. Взаємодія факторів X_1^2 , X_2^2 , X_3^2 негативно впливають на якість розділення зернового матеріалу, так як мають негативні коефіцієнти і утворюють опуклу поверхню відгуку.

5. Значеннями факторів X_{12} , X_1^2 , X_1^2 можна знехтувати, так як величина коефіцієнтів має показник степені 10^{-5} .

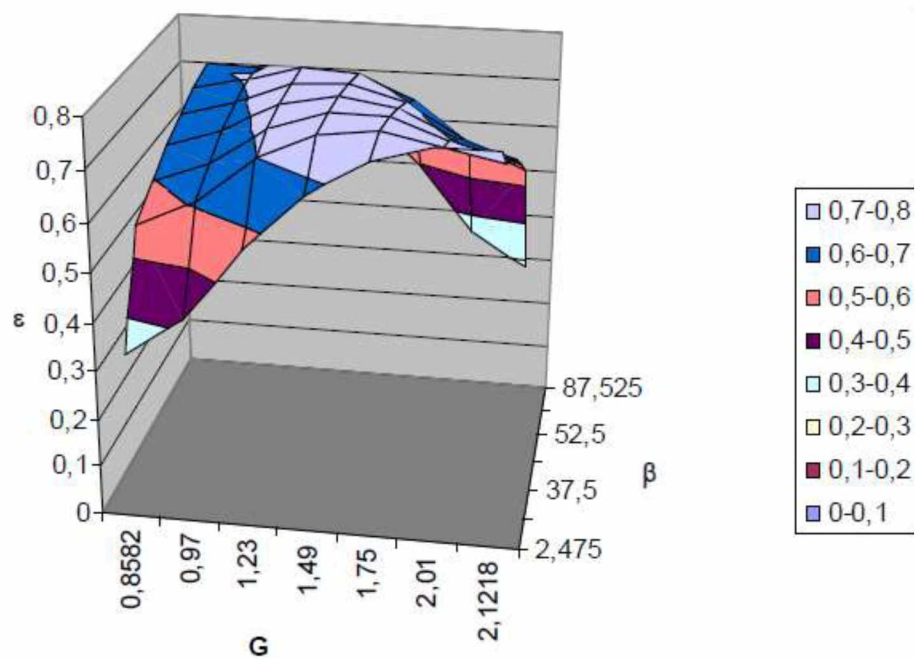
При розкритті кодованих величин в натуральні рівняння регресії приймає вигляд:

$$Y = -0.96866 + 0.0027879X_1 + 0.014646X_2 + \\ + 1.853479X_3 + 1.73083 \cdot 10^{-5} X_{12} - 0.005653125X_{13} - \\ - 0.00795625X_{23} + 1.13361 \cdot 10^{-5} X_1^2 - 6.20146 \cdot 10^{-5} X_2^2 - 0.2897948 \cdot 10^{-5} X_3^2.$$

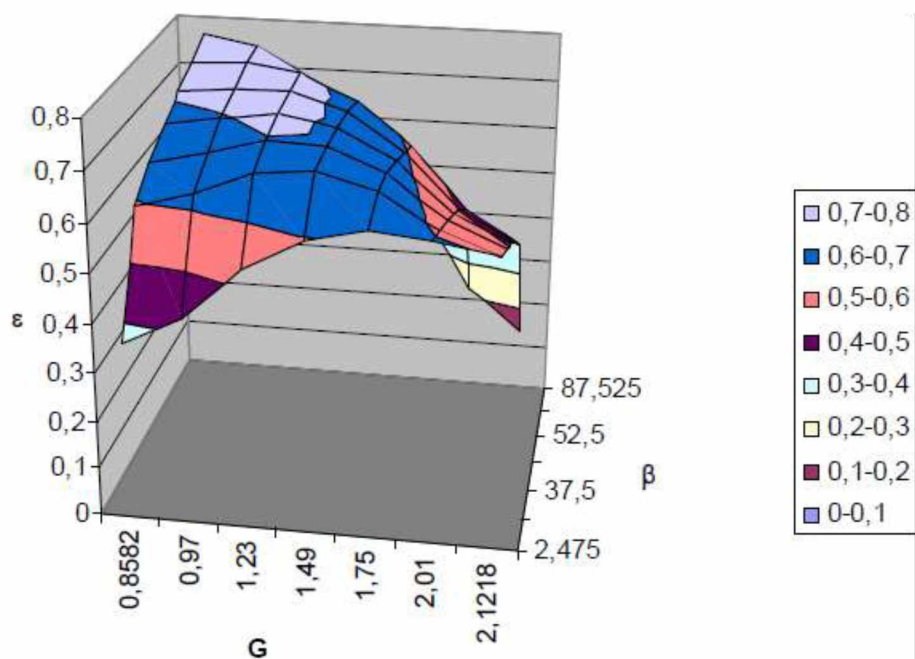
На підставі рівняння регресії отримані залежності якості поділу зернового матеріалу (рис. 4.4 - 4.6).



a)

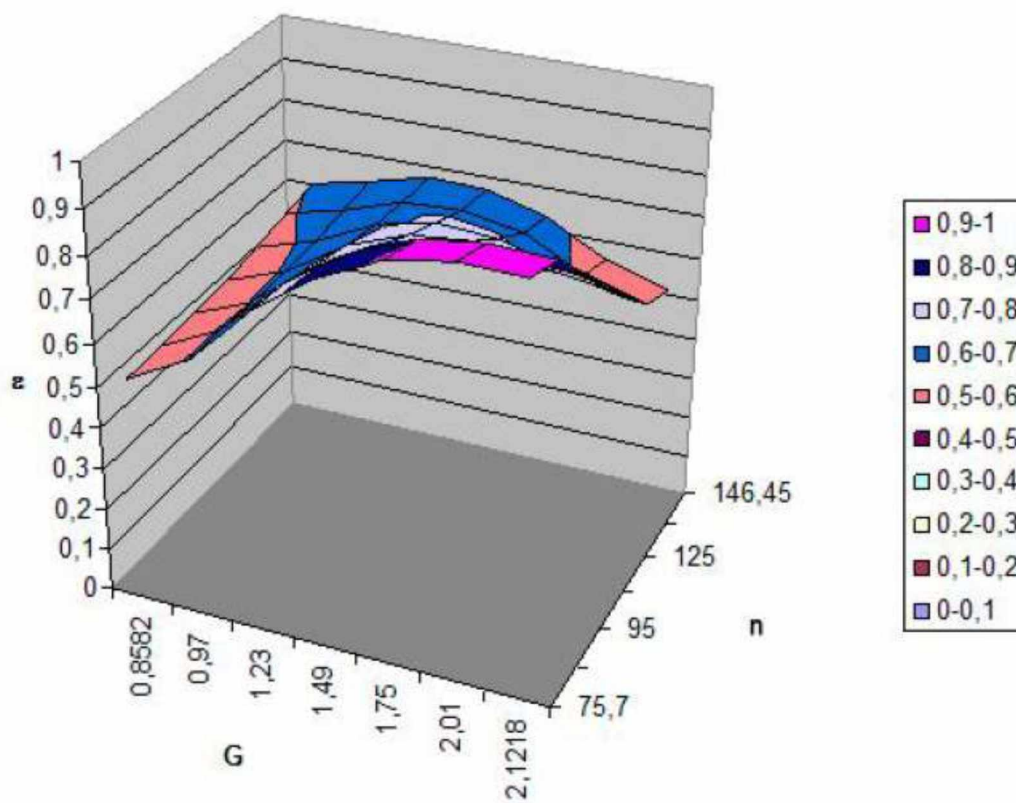


b)

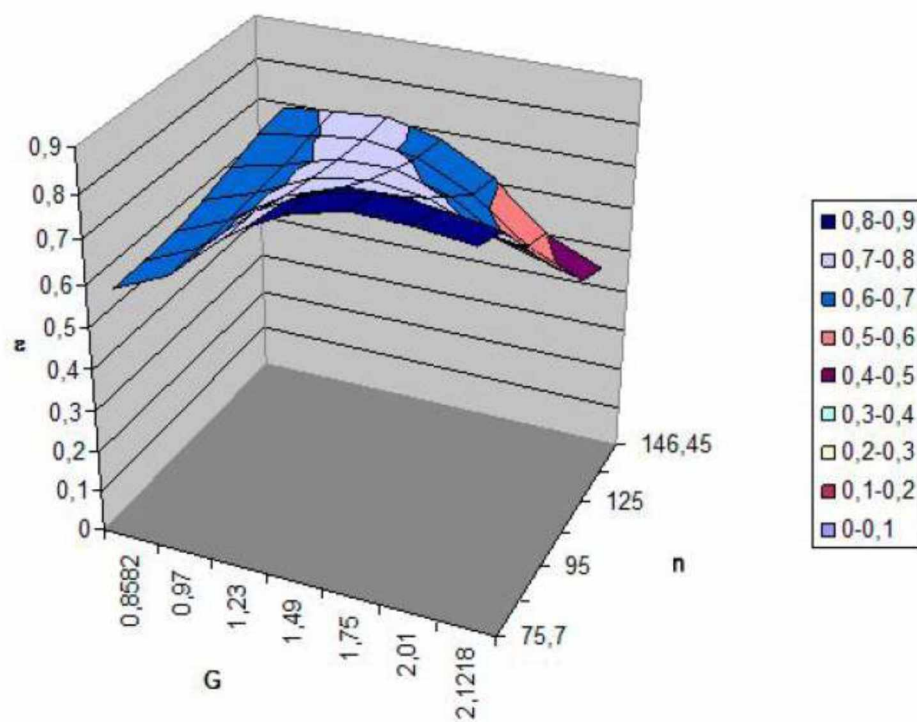


в)

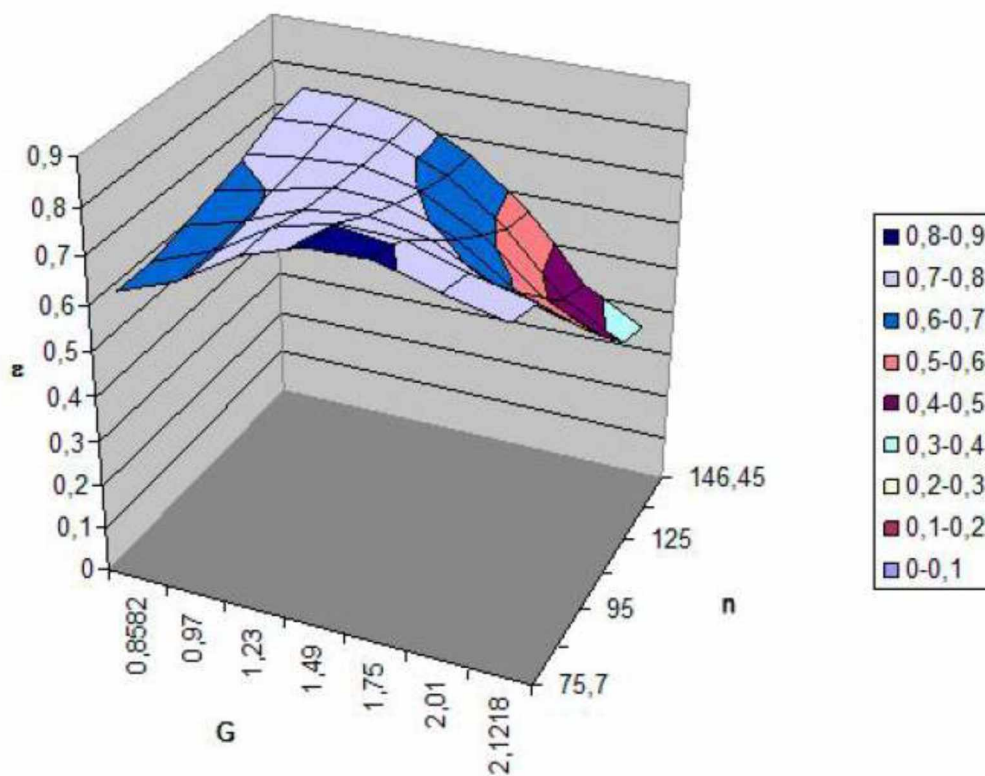
Рисунок 3.4 – Поверхні відгуку функції $\varepsilon = f(\beta, G)$ при постійній частоті обертання решета: а – $n=80 \text{ xB}^{-1}$; б – $n=110 \text{ xB}^{-1}$; в – $n=140 \text{ xB}^{-1}$.



а)

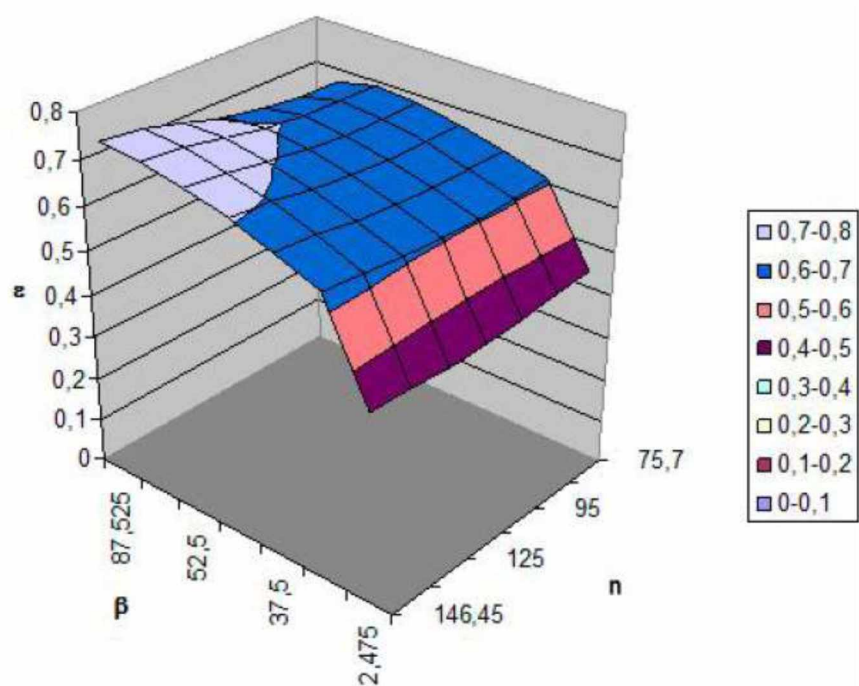


б)

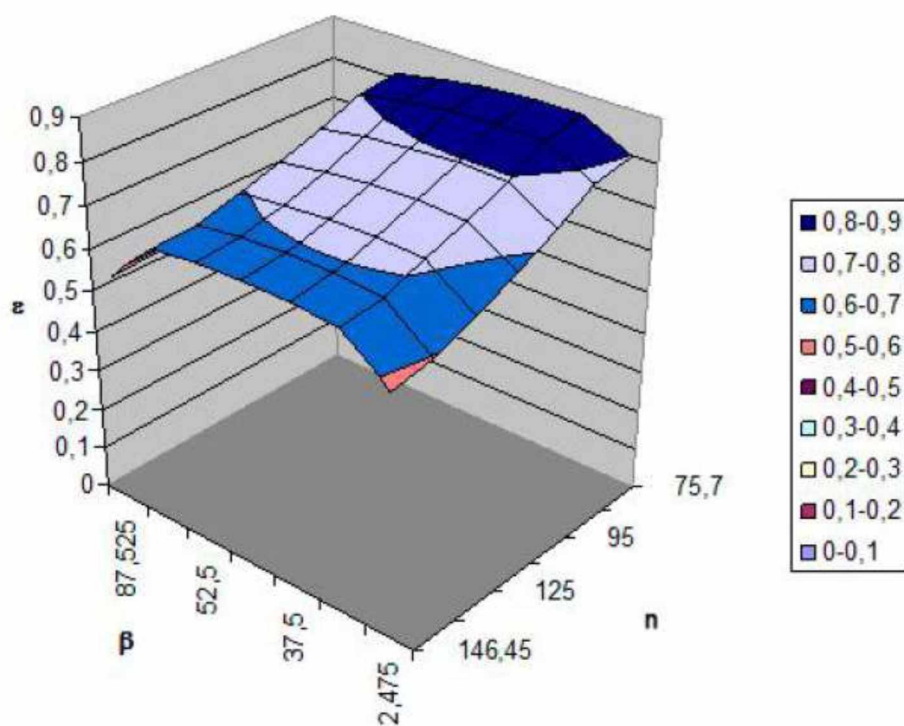


в)

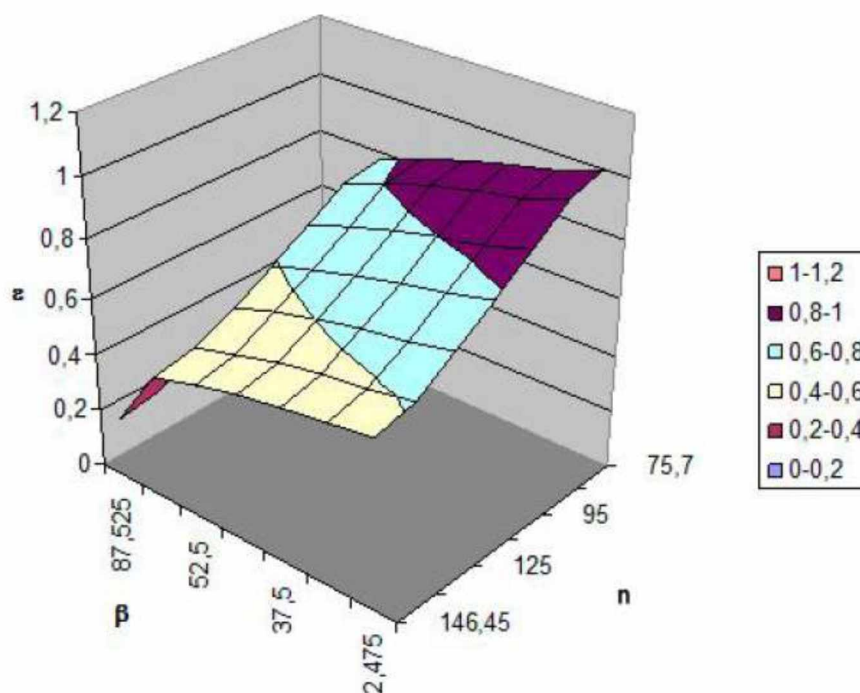
Рисунок 3.5 – Поверхні відгуку функції $\varepsilon = f(n, G)$ при постійному куті нахилу довгої сторони прямокутних отворів решета до повздовжньої осі: а – $\beta=30^\circ$; б – $\beta=45^\circ$; в – $\beta=60^\circ$.



a)



б)



в)

Рисунок 3.6 – Поверхні відгуку функції $\varepsilon = f(n, \beta)$ при постійному навантаженню на решето: а – $G=0.98 \text{ кг/м}^2$; б – $G=1.48 \text{ кг/м}^2$; в – $G=2.02 \text{ кг/м}^2$;

За результатами багатofакторного експерименту можна зробити наступні висновки:

на якість розділення зернового матеріалу в різному ступені впливають всі три фактори;

повнота поділу зернового матеріалу буде максимальною при малому питомому навантаженні на решето і малій частоті обертання решета, а при збільшенні цих параметрів зменшується.

При аналізі поверхонь відгуку величини, що оптимізується, раціональні параметри факторів варіювання (частота обертання решета і кут нахилу довгих кромek прямокутних отворів решета до його поздовжньої осі) представлені в таблиці (табл. 3.7).

Мінімальна повнота поділу зернової купи відбувається при максимальній частоті обертання решета і більшому куті нахилу кромek отворів. Це пояснюється тим, що зерновий матеріал не встигає затриматися на поверхні решета і, приймаючи критичну швидкість, зісковзує в схід через сил.

Таблиця 3.7 – Раціональні показники режиму роботи решета при питомому навантаженні на решето 1,48 кг/м²с

Кут нахилу довгих сторін прямокутних отворів, град	Частота обертання 80 хв ⁻¹	Частота обертання 110 хв ⁻¹	Частота обертання 140 хв ⁻¹
30	0,82	0,76	0,69
45	0,85	0,74	0,70
60	0,72	0,73	0,66

З метою збільшення часу перебування зернівки на поверхні решета необхідно використовувати мінімальну частоту обертання 80 хв⁻¹.

Однак при таких технологічних параметрах підвищується якість поділу зернового матеріалу, але при цьому знижується його продуктивність, тому раціональними обрані значення частоти обертання решета 110 хв⁻¹, кут нахилу довгих кромek прямокутних отворів решета до його поздовжньої осі 45° і питоме навантаження на решето 1,48 кг/м²с.

Вибрані величини дозволяють якісно проводити очистку зернової маси на фракції у відповідності до агротехнічних вимог.

3.3 Висновки до третього розділу

1. При проведенні відсіваючого експерименту по насиченому плану Плакетта-Бермана встановлено, що статистично значимості у відповідності до критерію Стюдента на 5% -му рівні значущості є наступні фактори: питоме навантаження на решето, кут нахилу довгих кромek прямокутних отворів решета до поздовжньої осі решета і частота коливань решета.

2. Реалізований відсіваючий експеримент та виявлено закономірності повноти поділу на решеті, що інтенсифікує процес сепарації зерна. Обґрунтовано діапазон варіювання факторів, що впливають на процес сепарації: величина питомого навантаження слід змінювати в діапазоні 0,68 ... 2,02 кг / (м²·с); кут нахилу отворів решета (β) - 30 ... 60°; кут поперечного нахилу решета (α_п) - 1,5 ... 2,5°; частота коливання решета (n) - 80 ... 140 хв⁻¹.

3. Результати експериментальних досліджень продуктивності решета з продовгуватими отворами, розташованих під кутом, що здійснюють обертовий рух при питомому навантаженні $G = 1,48 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{с}$ мають розбіжність не більше 5%.

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Екологічна експертиза

Основними нормативними показниками екологічності техніки, технологій, матеріалів є гранично допустимі викиди в атмосферу і гранично допустимі стоки в гідросферу. До нормативним показникам екологічності технічних систем відносяться також допустимі рівні фізичних впливів (шуму, вібрації, електромагнітних полів і т.п.), що забезпечують гранично допустимі умови в жилих зонах. Нормативні показники є основою для проведення екологічної експертизи, і досягається шляхом підвищення екологічності проектів промислових об'єктів, обладнання та технологічних проектів.

Екологічна експертиза техніки, технологій, матеріалів буває суспільного і державного. Державна екологічна експертиза - розгляд документації техніки, технологій, матеріалів, що проводиться експертними підрозділами органів державного управління в галузі природокористування і охорони навколишнього середовища на загальнодержавному і регіональному рівні.

Громадська екологічна експертиза проводиться громадськими організаціями, основним напрямком діяльності яких є охорона навколишнього природного середовища, в тому числі і проведення екологічної експертизи, і які зареєстровані в установленому порядку.

Об'єктами експертизи є також проекти технічної документації на нову техніку, технологію і матеріали, речовини, сертифіковані товари і послуги, які входять в перелік, що затверджується спеціально уповноваженим державним органом у сфері екологічної експертизи, обумовлені в законі України "Про охорону навколишнього природного середовища", прийнятий 25 червня 1991 року на третій сесії Верховної Ради України, та законом „Про екологічну експертизу” від 9 лютого 1995 р. [15,16].

Основним завданням екологічної експертизи є надання загальної оцінки впливу об'єктів аналізу на навколишнє середовище, як на етапі затвердження проекту, роботи підприємства, так і при його реконструкції, розширення, складання висновку та створення рішення про затвердження або відмови від проекту, обмеження

масштабів виробництва; примушування або застосування нових природоохоронних пропозицій.

Не зважаючи на вид екологічної експертизи, передбачаються роботи з вивченням проектної або передпроектної документації, проектами планів, договорів або іншої подібної документації, зокрема на кінцевій стадії їх розробки.

Екологічна експертиза встановлює потенційні екологічні наслідки функціонування, будівництва або розширення підприємства при співставленні з необхідним і допустимим станом оточуючого природного середовища. Виробничий об'єкт не повинно наднормовано впливати на природне середовище, не повинно перешкоджати своїй роботі та виробничому процесу прилеглих підприємств, спричиняти через оточуюче природне середовище хід технології виробництва, спричиняти негативний вплив на здоров'я людей.

Експертиза включає оцінку впливу підприємства на природні ресурси, чинники подальшого розвитку народного господарства, природні умови, умови існування людей в межах локальної місцевості.

Предметом розгляду впливу на оточуюче навколишнє середовище є технологія сепарації зерна та відділення домішок.

Дана технологія за своєю потенційною загрозою для навколишнього середовища відноситься до найбільш безпечніших та екологічно чистих видів виробничої діяльності. Це обумовлено мінімально низькою кількістю викидів забруднюючих речовин, що утворюються внаслідок реалізації технологічного процесу сепарації зерна.

Основним джерелом забруднення для даної технології є викиди в атмосферу зважених гігроскопічних частинок або пилу, які спрямовуються в повітряний басейн з аспіраційних очищувальних систем та систем вентиляції повітря з виробничих приміщень. Відповідно до прийнятих на законодавчому рівні гранично допустимих концентрацій (ГДК) шкідливих речовин в атмосферному повітрі кількість зважених частинок повинна коливатися в межах 0,05...0,5 мг/дм³.

Для запобігання перевищенню рівня концентрації пилу в повітрі необхідно постійно проводити контроль за технічним станом вентиляційного обладнання,

періодично проводити моніторинг якості повітря, запровадити систему пиловідокремлюючих засобів для очищення повітряного потоку.

Негативним наслідком надмірного перевищення концентрацій пилу в повітрі є можливість виникнення вибухо- та пожежонебезпечних ситуацій на виробництві.

До основних підходів щодо зменшення та локалізації пилових вибухів відносяться:

- беззаперечне дотримання дисципліни виробничого процесу, норм, положень та виробничих інструкцій;
- слідкувати за технологічним, транспортним, електротехнічним та іншим устаткування в технічно справному стані;
- зберігання продуктів та сировини в місцях, які для цього призначені;
- герметизація комунікацій і обладнання;
- ефективна робота мереж з аспірації повітря;
- постійне прибирання пилу з підлоги, стін, обладнання, будівельних конструкцій;
- суворе виконання правил проведення робіт з відкритим вогнем, у тому числі зварювальних;
- неухильне дотримання режиму куріння (тільки у відведених місцях);
- захист від статичної електрики.

Технологія сепарації зерна характеризується наявністю великої кількості виробничого обладнання, яке є джерелом надмірного шуму та вібрацій. Для зниження рівня шуму до санітарно-гігієнічних норм передбачаємо використання спеціальних шумо- та вібраційнопоглинальних подушок, що встановлюємо під технологічне обладнання, а також застосування операторами індивідуальних засобів захисту - протишумних навушників.

У кінцевому випадку, технологія сепарації зерна характеризується мінімальним рівнем екологічної загрози, не призводить до негативного впливу на стан природного навколишнього середовища, є безпечним для людини та живих організмів та відповідає всім екологічним нормам та правилам, обумовлених чиним вітчизняним екологічним законодавством.

4.2 Охорона праці

Актуальність проблеми безпеки людини у виробничому середовищі та при надзвичайних ситуаціях

Вивчення й вирішення проблем, пов'язаних із забезпеченням здорових і безпечних умов, у яких відбувається праця людини – одне з найбільш важливих завдань у розробці нових технологій і систем виробництва. Дослідження й виявлення можливих причин виробничих нещасних випадків, професійних захворювань, аварій, вибухів, пожеж, і розробка заходів і вимог, спрямованих на усунення цих причин дозволяють створити безпечні й сприятливі умови для праці людини. Комфортні й безпечні умови праці – один з основних факторів, який впливає на продуктивність і безпеку праці, здоров'я працівників [8,19].

Державне, регіональне і галузеве управління охороною праці, численні наглядові і контрольні інспекції не забезпечать безпечне ведення робіт, якщо це не стане головним повсякденним завданням і моральним обов'язком для усіх без винятку – роботодавців, керівників, інженерно-технічних працівників, кожного працюючого. Для вирішення всіх проблем у сфері охорони праці потрібний системний підхід створення ефективної системи управління охороною праці (СУОП) на кожному підприємстві, установі, організації незалежно від форми власності і розмірів [8, 19].

Серед категорій, за допомогою яких прийнято характеризувати підприємство, звичайно виділяють економічні й технологічні показники. Однак, вони займають провідне положення лише в тому випадку, якщо дотримано основну умову діяльності підприємства як суб'єкта господарювання – забезпечується безпека виробничих процесів і трудової діяльності індивіда.

4.2.2 Аналіз наявних потенційних небезпек та об'єктів підвищеної небезпеки

При обслуговуванні зерносушарок на працівника можуть впливати небезпечні і шкідливі фактори:

- підвищена запиленість повітря робочої зони;

- рухомі механізми приводів;
- підвищена напруга електричного поля і статичної електрики;
- підвищена температура поверхні обладнання;
- можливість виникнення вибуху або пожежі.

При підвищеній запиленості повітря і наявності відкритого вогню або інших джерел підвищеної температури (нагрівання підшипників, іскріння) в приміщенні можливий вибух пилоповітряної суміші.

Обслуговуючий персонал відповідно до галузевих норм безплатної видачі спецодягу та засобів індивідуального захисту (ЗІЗ) забезпечується:

- костюмом бавовняним з пилонепроникної тканини (ГОСТ 12.4.085-80, ГОСТ 12.4.086-80);
- шоломом бавовняним з пилонепроникної тканини;
- черевиками шкіряними;
- рукавицями бавовняними;
- респіратором;
- в холодну пору року - курткою на утеплювальній прокладці (ГОСТ 12.4.088-80).

Працівник, який обслуговує сушарку, зобов'язаний знати і дотримуватися:

- посадової інструкції;
- правила пожежної безпеки;
- правила особистої гігієни.

Робітник повинен:

- знати пристрій і правила експлуатації устаткування, яке обслуговує;
- знати призначення окремих вузлів і деталей;
- знати технологічний процес сепарації зерна;
- здійснювати контроль за режимом роботи обладнання, аспірації, припливно-витяжної вентиляції, теплоносія, роботу засобів автоматики і блокування;
- правильно використовувати спецодяг та ЗІЗ;
- знати прийоми надання першої допомоги при нещасних випадках;
- відповідати за роботу на своїй ділянці.

Приміщення сушарки і топки, а також устаткування, що знаходиться в цих приміщеннях, повинні міститися в чистоті і постійній справності.

Забороняється зберігання в приміщенні сушарки і топки сторонніх предметів, майна, легкозаймистих і горючих рідин, крім мастил, запас яких не повинен перевищувати добової потреби.

Прибирання приміщення сушарки повинна проводитися при її роботі не рідше двох разів на зміну. Зібрані сміття, відходи, пил повинні віддалятися з приміщення у спеціально відведене для них місце.

4.2.3 Пропозиції щодо покращення умов виробничої безпеки та недопущення появи небезпечних ситуацій

Для покращення умов виробничої безпеки та недопущення появи небезпечних ситуацій слід передбачити такі заходи з охорони праці:

1. Щодо зниження негативного впливу мікроклімату:
 - механізації виробничих процесів;
 - раціонального розміщення устаткування;
 - раціоналізації режимів праці й відпочинку, перерви.
2. Щодо боротьби з пилом:
 - раціоналізація технологічних процесів заходів;
 - зволоження переробних матеріалів;
 - підтримання чистоти приміщень та устаткування;
 - застосування індивідуальних засобів захисту.
3. Щодо боротьби з шумом (зниження його в джерелі створення):
 - використання змащувальних матеріалів (разом з безшумною роботою зменшує зношення деталей, підвищує їх довговічність);
 - організаційно-технічні заходи (своєчасний ремонт, догляд та відповідне зберігання ручного механізованого інструмента) мають профілактичне значення;
 - чергування періодів роботи і відпочинку (профілактичний засіб попередження стомлення при дії шуму).

4. Щодо запобігання появи нещасних випадків продовжувати превентивні заходи:

- консультації з питань охорони праці;
- роз'яснення щодо правил експлуатації нового та вже використовуваного обладнання;
- проведення періодичних перевірок знань працівників.

Для поліпшення стану виробничої безпеки та уникнення аварій і нещасних випадків під виробничого процесу слід, окрім перелічених заходів з охорони праці, дотримуватись вимог внутрішніх організаційних документів виробничого об'єкту.

4.3 Техніко-економічне обґрунтування досліджень

Економічна доцільність використання вдосконаленого технологічного засобу сепарації зернової маси буде здійснюватися шляхом визначення економічної ефективності від його застосування у порівнянні з серійними варіантом даного засобу поділу. Модернізований решітний стан, що включає плоске сортувальне решето, виконане з продовгуватими отворами, розташованими під кутом до поздовжньої осі сортувального решета, корпусу решета, щіткового очисника, закріпленого на здвоєною нескінченному ланцюгу, зірочки ланцюга, жорстко закріплені на ведучому валу шарнірні тяги, один з кінців яких закріплений на корпусі решета, плоске решето встановлено під кутом $\alpha - 0 \dots 10^\circ$ до горизонту, а отвори в решеті виконані під кутом $\beta - 27 \div 41^\circ$, до напрямку поздовжньої осі решета, до нижньої частини корпусу решета встановлений привід, що забезпечує обертовий рух плоского решета, а шарнірні тяги верхньою частини з'єднані з решітним станом.

Модернізація дасть можливість збільшити продуктивність сепаратора і якості очистки зерна.

Розрахуємо термін окупності:

$$C_o = \frac{C}{D}, \quad (4.1)$$

де C – вартість установки, $C = 74000$ грн.;

D – розрахунковий дохід, дорівнює прибутку від реалізації зерна, яке проходить очистку зерна на даному технічному засобі, $D = 12805$ тис. грн.

Розрахуємо вартість вдосконаленого засобу:

$$C_B = C_{\text{баз}} + C_{\text{решет}}, \quad (4.2)$$

де $C_{\text{баз}}$ – вартість базової моделі, $C_{\text{баз}} = 74000$ грн;

$C_{\text{решет}}$ – вартість решіт, $C_{\text{решет}} = 1600$ грн.;

$$C_B = 74000 + 1600 = 756000 \text{ грн.}$$

Дохід D розрахуємо як різницю виручки від реалізації зернових і собівартості здійснення процесу сепарації.

$$D = P_{\text{зерн}} - C_{\text{сепар}}, \quad (4.3)$$

де $P_{\text{зерн}}$ – прибуток від реалізації зерна, $P_{\text{зерн}} = 1200$ тис. грн.

$C_{\text{сепар}}$ – собівартість здійснення процесу сепарації;

Собівартість здійснення процесу сепарації $C_{\text{сепар}}$ розрахуємо за формулою:

$$C_{\text{сепар}} = C_{\text{роб}} + C_{\text{ее}}, \quad (4.4)$$

Значення витрат на виплату заробітної плати виробничим робітникам $C_{\text{роб}}$:

$$C_{\text{роб}} = T * C_{\text{год}} * K, \quad (4.5)$$

де T – трудомісткість здійснення процесу, чол-год;

$C_{\text{год}}$ – годинна тарифна ставка робітників, $C_{\text{год}} = 16$ грн/год;

K – коефіцієнт, що враховує доплати, $K = 1,15$.

Значення витрат на електроенергію $C_{\text{ен}}$:

$$C_{\text{ен}} = N * T * C_{\text{ее.год}}, \quad (4.6)$$

де N – потужність установки;

T – час здійснення процесу сепарації, чол-год;

$C_{\text{ее.год}}$ – вартість електроенергії, $C_{\text{ее.год}} = 1,68$ грн / кВт;

Розрахуємо час роботи технологічного засобу сепарації:

$$T_{\text{мз}} = \frac{Q_{\text{нав}}}{P_{\text{мз}}}, \quad (4.7)$$

де $Q_{\text{нав}}$ – сезонна навантаження, $Q_{\text{нав}} = 36060$ тонн.

$P_{\text{тз}}$ – продуктивність базового засобу сепарації, $P_{\text{тз}} = 50$ т/год.

$P_{\text{тз.м}}$ – продуктивність модернізованого варіанту, $P_{\text{тз.м}} = 52$ т/год. (планується)

збільшення продуктивності не менше, ніж на 5%)

$$T_{\text{тз.}} = 36060/50 = 721,2 \text{ години.}$$

$$T_{\text{тз.м}} = 36060/52 = 693,5 \text{ години.}$$

Тоді для базового варіанту розрахуємо за формулами при $N = 1,9 \text{ кВт}$:

$$C_{\text{роб}} = 721,2 * 80 * 1,15 = 66350,4 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{ее}} = 1,9 * 4 * 1,68 = 12,8 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{сепар}} = 66350,4 + 12,8 = 66362,2 \text{ грн.}$$

$$Д = 1200000 - 66362,2 = 1133637,8 \text{ грн}$$

Тоді для модернізованого варіанту розрахуємо за формулами при $N = 1,9 \text{ кВт}$:

$$C_{\text{роб}} = 693,5 * 80 * 1,15 = 63802 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{ее}} = 1,9 * 4 * 1,68 = 12,8 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{сепар}} = 63802 + 12,8 = 63814,8 \text{ грн.}$$

$$Д = 1200000 - 63814,8 = 1136185,2 \text{ грн.}$$

Згідно розрахунків, річний економічний ефект від застосування вдосконаленого решетного стану, що здійснює обертовий рух складе 25047 грн, а термін окупності – біля одного року.

4.4 Висновки до четвертого розділу

1. На основі проведеної екологічної експертизи щодо виявлення ступеня негативного впливу технологічного процесу сепарації на стан природного навколишнього середовища не було встановлено фактів можливого радіоактивного, бактеріального, хімічного та інших видів забруднень

2. Основним об'єктом дослідження на предмет виявлення та упередження небезпечних ситуацій та дотримання вимог охорони праці є техніка безпека та правила поведінки при експлуатації технологічного засобу зі сепарації зернової маси.

3. У ході проведення аналізу наявних потенційних небезпек при використанні технологічного засобу сепарації були окреслені ймовірні причини виникнення небезпечних ситуацій та випадків. Більшість травмонебезпечних і аварійних ситуацій було піддано аналізу та надано рекомендації по їх недопущенню та профілактики.

4. На основі проведеного техніко-економічного обґрунтування було встановлено, що при впровадженні запропонованої технологічного засобу сепарації можна досягти суттєвої річної економічної вигоди 25047 грн при достатньо незначному терміну окупності капіталовкладень біля 1 року.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Розглянуто процес сепарації зернової маси на решетах з отворами продовгуватої форми, розташованими під кутом, що здійснюють обертовий рух і обґрунтовані робочі параметри плоского решета.

2. На підставі проведених експериментальних досліджень, отримані оптимальні конструктивно-режимні параметри робочих решета, що сприяє інтенсифікації технологічного процесу сепарації.

3. Процес сепарації поліпшується при куті нахилу отворів решета $\beta = 44^\circ$, частота коливань решета $n = 109 \text{ хв}^{-1}$, амплітуда коливань решета $A = 0,085 \text{ м}$, кут поперечного нахилу решета $\alpha = 1,4 \dots 2,4$. На цьому режимі роботи, очищення зернової суміші проводиться якісно, відповідно до агротехнічними вимогами.

4. Результати експериментальних досліджень продуктивності підсівних решета з отворами продовгуватої форми, що розміщені під кутом, що здійснює обертовий рух має розбіжність не більше 5%.

5. Детальне опрацювання питань впливу технологічного процесу сепарації зернової маси на стан природнього навколишнього середовища не виявило потенційних загроз в порушенні екологічних норм та стандартів. При проведенні аналізу на безпечність використання та можливості виникнення травмонебезпечних або аварійних ситуацій при експлуатації технологічного засобу сепарації не було встановлено серйозних причин по їх можливому виникненню.

6. На основі проведеного техніко-економічного обґрунтування було встановлено, що при впровадженні запропонованої технологічного засобу сепарації можна досягти суттєвої річної економічної вигоди 25047 грн при достатньо незначному терміну окупності капіталовкладень біля 1 року.