

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра агроінженерії та автомобільного транспорту

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
на тему: «Дослідження процесу розділення зернових сумішей на сепараторі
для очищення зернового матеріалу»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Технології і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
спеціальності 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти «*магістр*»
групи 208АІмд_22

Шевченко Андрій Миколайович

Керівник: Лапенко Г. О.

Рецензент: Шейченко В. О.

Полтава – 2022 року

ВСТУП

Актуальність теми. В даний час виробництво зернових матеріалів характеризується тенденцією обробки всього валового збору врожаю безпосередньо в господарствах, а постійне зростання цін на енергоносії призводить до того, що багато господарств не можуть вже зберегти зібране зерно без істотних його втрат через несвоєчасну обробку, які складають 22...35% [1].

Наявна в сільському господарстві зерноочисна техніка морально застаріла, оскільки не відповідає сучасним умовам зерновиробництва і фізично зношена на 70 - 90%. Забезпеченість великих і середніх господарств не перевищує 35%, а малі та фермерські господарства зовсім не мають необхідної техніки.

У зв'язку з цим пошук шляхів підвищення ефективності сепарації зерна при мінімальних капітальних і енергетичних витратах в повітряних і гравітаційних сепараторах без особливого їх подорожчання, є актуальним завданням, що призводить до підвищення якості поділу зернового матеріалу і зменшення його втрат.

Мета дослідження. Підвищення ефективності очищення зерна від великих, дрібних і легких домішок.

Об'єкт дослідження. Фізико-механічні властивості зернового матеріалу і основних домішок, процес очищення зернових культур.

Предмет дослідження. Закономірність процесу очищення зерна від легких, дрібних і великих домішок за розмірами на каскаді гребінок і пневмоканалі.

Методика досліджень. Фізико-механічні властивості зерна і домішок визначали згідно з міжнародними стандартами. Основні параметри сепаратора для очищення зерна були досліджені за спеціально розробленою методикою на

експериментальній установці. Також оцінили економічну ефективність сепаратора.

Практичну цінність становлять теоретичні та експериментальні залежності продуктивності, потужності приводу, в розробці конструктивно-технологічної схеми, аналітичних залежностей процесу подрібнення зернових матеріалів.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Характеристика зернового вороху, що надходить на післязбиральну обробку

У виробництві зерна післязбиральна обробка є основною, тому що на неї припадають основні енерговитрати і втрати зерна, а отже, майбутній урожай залежить від того як пройшла обробка і зберігання зернового матеріалу [2]. На даній стадії відбувається доведення зернового матеріалу до кондиційного стану за посівними якостями відповідно до нормативних вимог діючих стандартів на посівний матеріал і на продовольче зерно, а також поділ зернового матеріалу на фракції [3, 4].

До важковідділених зерен відноситься биті поперек і биті уздовж зерна основної культури, до легко віддільних бур'янів відноситься вівсюг звичайний, пирій повзучий, гречишка вьюнкова, лобода, кукулі звичайний, полин гіркий, берізка польова. Головна – це захворювання зернових культур, яке завдає значної шкоди сільськогосподарському виробництву виснажуючи рослини і знижуючи врожайність легкої домішки (пилу, частинки оболонки, лушпиння, щуплі, дрібні, сміттєві домішки) в зерновому матеріалі, що надходить на післязбиральну обробку складає від 2,1% до 8,6%.

Вологість – одна з найбільш важливих характеристик якості зерна, яка впливає на тривалість зберігання і посівні якості насіння [3].

Аналіз показує, що більша половина заготовленої кількості насіння має некондиційність по вологості і засміченості.

Поліпшення якості зерна залежить від його своєчасної якісної обробки і очищення від легко відокремлюваних домішок, наявності технічних засобів і технології, їх вдосконалення та ефективності застосування. Тому необхідне

створення ефективних технічних засобів і технологій для післязбиральної обробки [3, 5].

1.2. Аналіз технічних засобів і технологій для післязбиральної обробки зерна

Таким чином, на основі вищенаведених даних потрібне вдосконалення післязбиральної техніки, яка повинна забезпечити відповідність кліматичним умовам [2], збільшення продуктивності, зниження металоємності, зменшення собівартості та експлуатаційних витрат, а також заснована на енергозберігаючих технологіях.

Для отримання кондиційного насіння використовується класична трьохступенева обробка. Зерно, яке прийшло від комбайнів з насіннєвої ділянки, піддається спочатку попередньому і первинному очищенні, потім вторинному, а після цього остаточного очищення.

Відомо, що в неочищеному і вологому зерновому воросі вже на другу добу відбувається накопичення вуглекислого газу і витіснення кисню з міжзернового простору, що призводить до пошкодження зародка і втрат зерна при посіві. Тому необхідно, щоб зерновий ворох був якомога швидше очищений від домішок і доведений до кондиційної вологості [3, 4].

У сільському господарстві більшість експлуатованих машин є машинами повітряно-решітного (вітро-решітного) типу, головним органом яких є решітна частина, а додатковим – пневмосистема.

Застосовувані в даний час машини для очищення зернового вороха повітряним потоком можна розділити на чотири основні групи: вібраційні, гравітаційні, відцентрові і інерційні.

Об'єднання в одній машині пневмосепаратора і решітного сепаратора сприяє підвищенню ефективності очищення. Компонування повітряного і решітного сепараторів в одній машині дає можливість використовувати один

механізм розподілу зернового потоку по ширині сепаруючих органів машини - пневмоканалу і решета, підвищити якість очищення вороху при пропуску через одну машину

Схеми компоновання повітряно-решітних машин різні. Найбільш поширена схема, при якій повітряне очищення передусь очищенню на решетах. Так як наявність в матеріалі домішок, що виділяються решетом, великого впливу на роботу пневмосепаратор не чинить, а ефективність роботи решіт після виділення легких домішок істотно підвищується [6]. Така схема компоновання присутня в машині попереднього очищення зерна МПР-50 [6].

Існують схеми, де пневмосепаратор розташований після решета. Ці схеми застосовуються в машинах вітчизняних і зарубіжних фірм при малій продуктивності або в попередньому очищенні, де встановлені решета з великими отворами.

Мають місце технологічні схеми дворазовою очищення зерна повітряним потоком після решета і до нього, наприклад, в машинах СВУ-5, К-531 «Петкус».

Схеми решітної частини в машинах різноманітні, при цьому одиночне решето в них застосовується рідко. Найбільшого поширення набула двох'ярусна схема розташування решіт і включає в себе три основні схеми, що відрізняються способом розподілу матеріалу по ярусах.

Перша схема передбачає виділення спочатку великої домішки, потім дрібної. Решето з дрібними отворами розташовують під решетом з великими. Зерновий матеріал подається на верхнє решето, проходив через нього виділяється основне зерно і дрібні домішки, сходом – великі домішки. Нижнім решетом в прохід виділяються дрібні домішки.

Спочатку виділяються дрібні домішки згідно з другою схемою, потім – великі. При цьому решета встановлені по ходу матеріалу, спочатку – з дрібними отворами, за ним – з великими.

Найбільш ефективною вважається третя схема - фракційна. В її основі лежить ідея поділу на першому етапі матеріалу приблизно на дві рівні частини, одна з яких не містить великих домішок, а інша - дрібних. На другому етапі ці фракції обробляються окремо [7].

Сутність ідеї фракційної переробки полягає в поділі вихідного потоку зерна на фракції, що відрізняються складом домішок і фізико-механічних властивостей з метою їх подальшої роздільної очистки, гідротермічної обробки і розмелу. За розвиненою схемою поетапного фракціонування кількість виділених фракцій зерна може перевищити число потоків, що піддаються надалі роздільній обробці.

Елементи методу фракційної обробки закладені, наприклад, в конструкції сепаратора ЗСМ-20, де фракціонування проводиться на розвантажувальному ситі.

Фракційна схема очищення, поряд з класичною схемою, передбачається в ЗАВ-50, де для поділу на фракції, що відрізняються по фізико-механічними властивостями домішок, передбачається використовувати повітряно-решітну машину [8].

Досвід створення зерноочисних машин з плоскими решетами вказує на недостатність інформації для створення раціональних рішень задач по різкому збільшенні продуктивності при одночасному зниженні металоємності і енергоємності обладнання, що відповідає сучасним вимогам економічним і технологічним вимогам виробництва зерна [9].

Процес сепарації на решеті можна інтенсифікувати за рахунок збільшення товщини шару оброблюваного матеріалу і за рахунок збільшення швидкості його руху по решету. Підвищення інтенсифікації процесу сепарації за рахунок збільшення товщини шару можливо до певної межі [9].

Відносно решета збільшення швидкості руху матеріалу тягне за собою необхідність підвищення інтенсивності перемішування шарів матеріалу, щоб якомога більша кількість прохідних частинок за короткий час могли б

дістатися до поверхні решета і пройти в його отвори. Цей шлях малоефективний, і його не можна назвати перспективним. В машинах традиційного типу цього можна домогтися за рахунок підвищення частоти і амплітуди коливань робочих органів. У свою чергу це спричиняє відповідне збільшення маси машини з метою забезпечення її міцності і стійкості процесу очищення, призводить до створення громіздких і дорогих конструкцій.

Можна виділити два основних напрямки пошуку технічних рішень: інтенсифікація процесу очищення із застосуванням решіт на основі особливих технічних розробок; інтенсифікація процесу очищення за допомогою створення нових робочих органів і нових принципів сепарування матеріалу.

Можна до першого напрямку віднести розробку решета оптимізованої кривизни [10]. В її основі лежить ідея про можливість управління процесом розподілу сепарованого матеріалу по довжині решета за рахунок його вигину в поздовжньо-вертикальній площині. При оптимальній формі решета досягається рівномірний одношаровий розподіл матеріалу по поверхні решета. Встановлено, що при певних умовах очищення продуктивність плоского решета довжиною 1 м може бути підвищена за рахунок оптимізації форми не менше ніж в 2 рази [11].

Для поділу зернового матеріалу по аеродинамічним властивостям використовують пневмосепаруючі пристрої, які являють собою самостійні машини (пневмосепаратор, аспіраційні колонки, аспіратори), які включають пневмосепаруючий канал; пристрій осадження легких домішок; пилеуловлювальний пристрій; живильний і відводильний пристрої; механізми регулювання технологічного процесу; з'єднувальні пневмоприводи.

Пневмосепаруючі системи підрозділяються на наступні групи:

1. За способом циркуляції повітряного потоку:

- із замкнутим;
 - розімкненим;
 - замкнуто-розімкненим циклом повітря;
2. За кількістю сепаруючих каналів:
- з одним каналом;
 - двома або кількома каналами;
3. За способом використання:
- централізовані системи;
 - самостійні системи (пневмосепаратор);
 - складні системи (повітряно-решітні системи в зерно- і насіннєсочисних машинах);
4. У напрямку повітряного потоку в сепаруючих каналах і камерах:
- вертикальним;
 - горизонтальним;
 - похилим;
5. За способом підведення повітря в зону пневмосепарації:
- з всмоктуючим потоком повітря;
 - горизонтальним;
 - з нагнітальним потоком повітря.
6. За формою пневмоканалу:
- прямокутної;
 - кільцевої;
 - круглим;
 - квадратної.

Відомо, що найбільший вплив на ефективність очищення надає форма, конструкція і геометрія каналів, який є основним робочим органом пневмосепаруючих пристроїв [12]. Тому ефективність очищення зернового матеріалу від легких домішок залежить перш за все від цих параметрів.

Найбільшого поширення набули пневмосепаруючі пристрої з вертикальним повітряним потоком [12]. Пневмоканали яких в поперечному перерізі мають такі форми: прямокутної, кільцевої, круглої і квадратної. На рисунку 1.1 показані схеми пневмосепаруючих каналів.

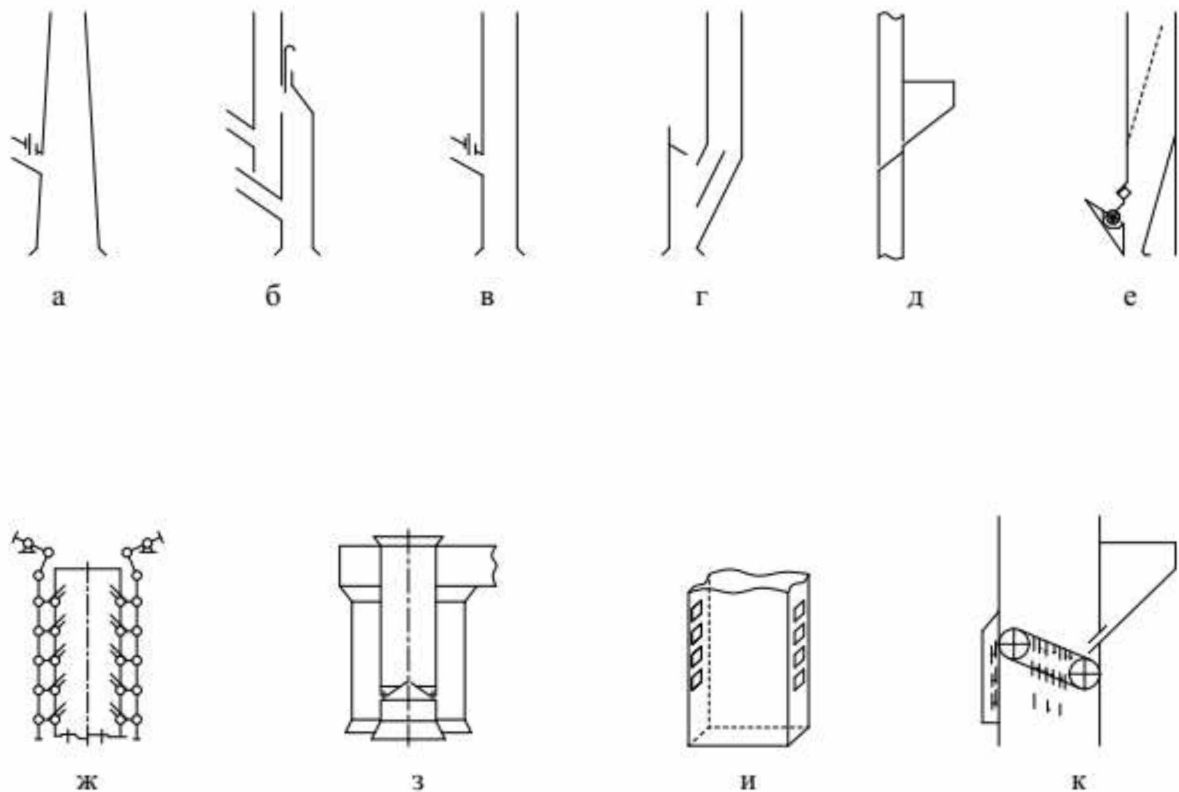


Рисунок 1.1 – Схеми пневмосепаруючих каналів

а - прямокутний постійного перетину; б - похилий з подвійною продувкою; в - конічний; г - подвійний; д - клиновидний розширюється верх; е - з ситовим транспортером; ж - з підтримуючою сіткою; з - з отворами в бічних стінках; и - кільцевою формою перетину; до - з відбивними козирками

Ряд дослідників і конструкторів віддають перевагу пневмоканалам кільцевої форми, тому що вони найбільш повно відповідають вимогам ефективності очищення, раціонального компонування і в них порівняно легко домогтися вирівнювання швидкості повітряного потоку за допомогою вирівнюючої решітки [13]. Такі пневмоканали компактні і зручно

компонуються в самостійних пневмосепаруючих машинах. Однак значно важче забезпечити в цих каналах рівномірність по довжині каналу в зв'язку з односторонніми або місцевими відсмоктувачами повітря.

У повітряно-решітних сепараторах застосовуються пневмоканали прямокутної форми, що пояснюється необхідністю подавати зерновий матеріал рівномірно по ширині решета. Однак існують труднощі щодо забезпечення рівномірності швидкості повітряного потоку по довжині пневмоканала [14], тому в конструкціях цих машин застосовуються різні пристрої, які усувають в тій чи іншій мірі дану проблему: сітки, решітки, перегородки, бар'єри.

Пневмоканали круглої форми рідко застосовують в машинах для очищення зерна повітряним потоком [15]. Машини такого типу відрізняються низькою продуктивністю і не можуть конкурувати з розглянутими вище пневмоканалами.

Канали квадратної форми відрізняються низькою ефективністю сепарування при відносно високих втратах зерна [15].

Існують неоднозначні думки дослідників про вплив перетину пневмоканалу у вертикальній площині на ефективність очищення. Деякі з них позитивно оцінюють пневмоканали клиновидного перетину, розширюється вгору (рисунок 1.1, в, д), які проте мають також як і попередні нерівномірність повітряного потоку. Інші [16] відзначають високу ефективність очищення прямокутних пневмоканалів постійного перетину (рисунок 1.1, в, д), а також клиновидного перетину, що звужується вгору (рисунок 1.1, в, д).

Найбільша ефективність очищення досягається в каналах похилих з подвійною продувкою і подвійних (рисунок 1.1, б, г), але в таких пневмосепаруючих каналах повноцінне зерно несеться у відходи і це є головним недоліком [16].

Пневмосепаруючі канали з відбивними козирками і з зигзагоподібними перегородками (рисунок 1.8, к) найбільш трудомісткі у виготовленні. В даних пневмосепаруючих каналах головним недоліком є те, що легка домішка (лушпиння, бур'яни, биті зерна основної культури і т. д.) вдаряючись об козирки і звивисті перегородки, направляються вниз по пневмоканалу з зернами основної культури і потрапляють в очищене зерно і тим самим знижується ефективність сепарування зернового матеріалу [16].

Таким чином основним недоліком розглянутих вище видів пневмосепаруючих каналів і камер є забезпечення рівномірності швидкості повітряного потоку по перетину каналу.

Пневмосепарування є найбільш розповсюдженим прийомом при попередньому очищенні зернового вороху. Більше половини домішок, що містяться у вихідному зерновому матеріалі, можна виділити повітряним потоком. У виробничих умовах при обробці зернових культур на зерноочисних агрегатах і комплексах можливості повітряного потоку використовуються на попередньому очищенні не більше ніж на 15%, а вторинного очищення і сортуванні – на 30% [17], хоча ефективність виділення домішок в застосовуваних пневмосепараторах знаходиться в межах 60...70% [17]. Пояснюється це недосконалістю конструкцій пневмосепаруючих пристроїв, високою нерівномірністю повітряного потоку.

На рисунку 1.2 представлений повітряний сепаратор РЗ-БАБ призначений для очищення зерна від легких домішок.

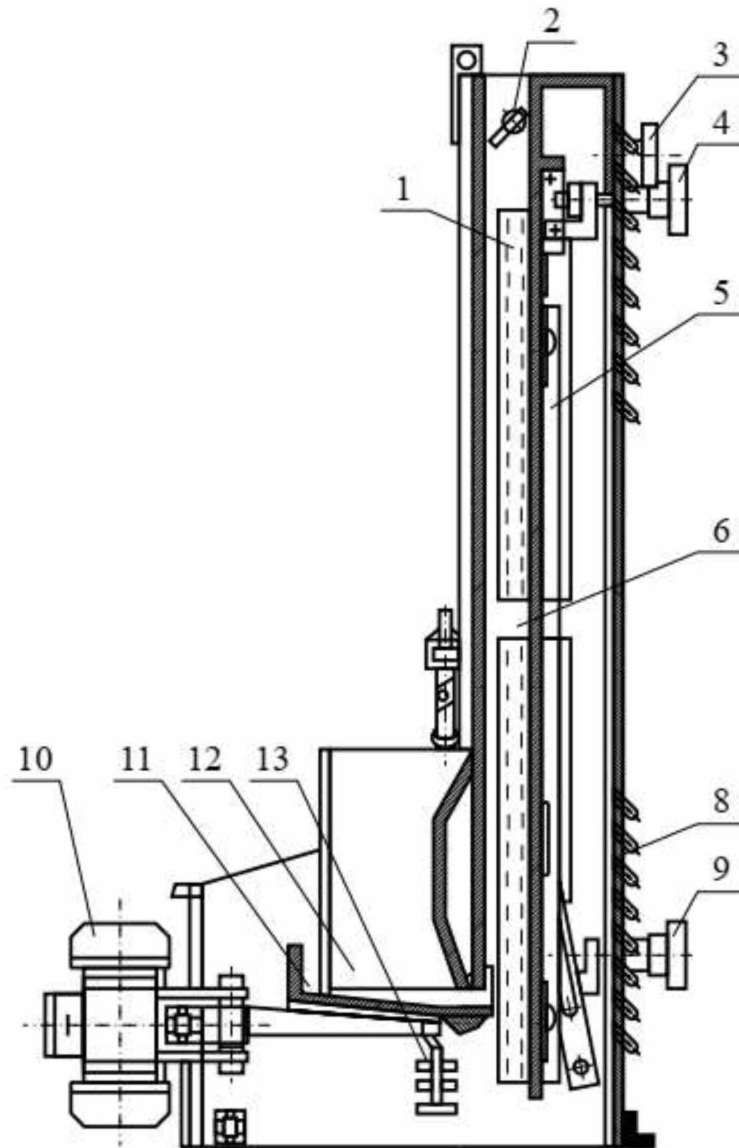


Рисунок 1.2 – Повітряний сепаратор РЗ-БАБ

1 - оглядові вікна; 2 - дросель; 3, 4, 9 - штурвали; 5 - рухома стінка; 6 - пневмосепаруючий канал; 7 - пружина; 8 - жалюзі; 10 - інерційний вібратор; 11 - вібралоток; 12 - приймальня камера; 13 – вісь

Технологічний процес в повітряному сепараторі відбувається наступним чином. Зерно надходить в приймальню камеру 12, потім на вібралоток 11. Підпор зерна перешкоджає підсосу повітря в приймальню камеру. Вібралоток не тільки вирівнює шар зерна по всій довжині пневмосепаруючого каналу, а й сприяє розшаруванню зернової суміші так,

що легкі домішки переміщуються у верхній шар. Це сприяє більш ефективному їх виділенню повітрям. Крім того, рухливу стінку 5 в нижній частині встановлюють в таке положення, щоб шар зерна, що сховався з вібротка 11, був практично горизонтальним. Все це створює оптимальні умови для пневмосепарування [3].

Відмінна особливість повітряного сепаратора РЗ-БАБ – це наявність вібротка, що забезпечує надійний розподіл і розшарування зерна по довжині пневмосепаруючого каналу, а також можливість регулювання перетину і форми пневмосепаруючого каналу, що істотно підвищує ефективність очищення зерна від легких домішок [5].

У повітряних сепараторах типу БСП корпус розділений перегородками на розвантажувальну камеру, обвідний канал та пневмосепаруючий канал. Розвантажувальна камера забезпечена живильним механізмом, який автоматично підтримує постійний рівень зерна в камері в залежності від кількості зерна, що надходить. Для рівномірного розподілу повітря по довжині і висоті пневмосепаруючого каналу вихідний патрубок має прямокутну форму по всій довжині каналу. За процесами, що відбуваються в пневмосепаруючому каналі і розвантажувальній камері машини, можна спостерігати через оглядові вікна. Шлюзовий затвор приводиться в обертання електродвигуном через черв'ячний редуктор.

Застосування машин із замкнутою системою циркуляції повітря дає деякі переваги в порівнянні із застосуванням машин із розімкненою системою циркуляції повітря.

До переваг пневмосистеми розглянутої машини можна віднести наступне:

- підвищення ефективності очищення за рахунок використання вібротка, а також можливість регулювання перетину і форми пневмосепаруючого каналу.

недоліки:

- нерівномірність швидкості повітряного потоку по перетину пневмоканалу.

Особливістю конструкції комбінованого ПСК є те, що нижня частина його зовнішньої стінки (до живильного валика) виконана вертикальною, а верхня частина – похилою, плавно спрягається зі стінкою верхньої частини каналу.

Глибина каналу в зоні сепарації складає 0,32 м, параметр $h = 0,32$ м. При розміщенні в осадовій камері криволінійного дифузора, приєднаного до ПСК, що має довжину 0,9 м, початкову висоту 0,16 м і ступінь розширення 1,56, при номінальній подачі зернового матеріалу ефект осадження легких домішок збільшиться в 1,15 рази.

Турбінні пневмосепаратори DA 67 (рисунок 1.3, зліва) продуктивністю 30 т/год і SP 68 продуктивністю 50 т/год французької фірми «Daquet» (рисунок 1.3, праворуч) відрізняються компактністю і простотою конструкції при високій продуктивності, а також невеликою встановленою потужністю 1,5 і 5,5 кВт відповідно [18]. Очищення в них вихідного вороху, що надходить по живильному патрубку 2 через розподільний конус 4 в сепаруючу камеру 3, здійснюється під впливом створюваного електровентилятором 1 повітряного потоку, що рухається від низу до верху і виділяє легкі сміттєві домішки.

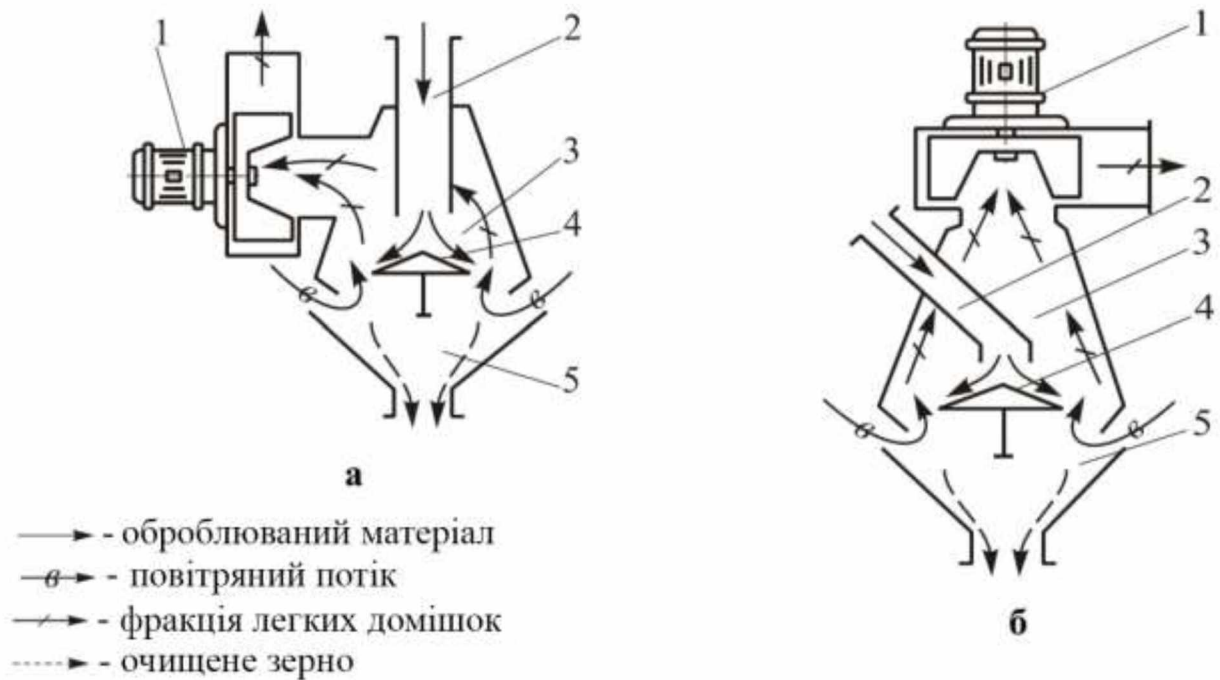


Рисунок 1.3 – Схеми пневмосепаратора DA 67 (а) і SP 68 (б) французької фірми «Daquet»

1 - електровентильатор; 2 - живильний патрубков; 3 - сепаруюча камера;
 4 - розподільний конус; 5 - приймач очищеного зерна

Подібні по конструкції пневмосепаратори випускаються також фірмами «Denis» (Франція), «Damas» (Данія), «Ocrim» (Італія) і «Forsberg» (США). Однак даним пневмосепараторам притаманне не висока якість очищення зерна внаслідок нерівномірного розподілу повітряного потоку в зоні сепарації [19].

До переваг пневмосистеми розглянутої машини можна віднести наступне:

- простота конструкції;
- висока продуктивність і невелика встановлена потужність.

недоліки:

- нерівномірність швидкості повітряного потоку по перетину пневмоканалу внаслідок того, що підведення повітря відбувається через бічний повітропровід.

У 70-х і 80-х роках XX століття західні виробники зерноочисної техніки бачили переваги у використанні замкнутого руху повітряного потоку. Але практика показала недоліки цієї технологічної схеми. В результаті чого виробники зерноочисної техніки були змушені відмовитися від ідеї використання замкнутого повітряного потоку в машинах із системою повітряного очищення зерна [3].

У замкнутих пневмосистемах повітряний потік після першого впливу з вихідним матеріалом, який надходить в пневмосепаруючий канал, повітряну камеру або ж деку пневмостолів, виносить в осадочну камеру легкі домішки і частинки пилу. Конструкції більшості осадкових камер не здатні повністю очистити надходний в них повітряний потік від дрібних і легких домішок, а також пилу. Тому вони залишаються витати в повітряному потоці, який за задумом технологічної схеми повинен використовуватися неодноразово. І при кожному впливі повітряного потоку з матеріалом в ньому накопичуються ці невіддільні в осадовій камері частки. В результаті їх витання в рециркульованому повітряному потоці стільки, що вони починають осідати на очищеному матеріалі і забруднювати його, що не є припустимим [3].

Слід врахувати те, що машина, як правило, працює не з однією культурою, а з кількома, і з різних партій, і якщо будь-яка культура або ж партія зерна містить шкідника і заражена хворобою, то машина може бути переносником зернової інфекції [5].

Також якщо враховувати, що машина призначена для обробки насіннєвого матеріалу, то використання рециркуляційної повітряної системи, як в насіннєочисних, так і в зерноочисних машинах не допустимо [5].

В даний час існує клас очисних машин, конструкція яких вільна від зазначених вище недоліків, які присутні в пневмосепаруючих пристроях. У них робочі органи нерухомо закріплені, а зерно самопливом рухається по

ним. Такі пристрої отримали назву соматичних або гравітаційних (так як матеріал рухається під дією сили тяжіння) [19].

У різних варіантах гравітаційних сепараторів, основною яких є решета, не усуваються повністю недоліки, прямо впливають на якість і швидкість протікання процесу – забиваємість отворів решіт або сит і погана працездатність при наявності в очищуваному матеріалі соломистих частинок. Такі домішки не володіють необхідною сипучістю, щоб під дією сили тяжіння рухатися по зигзагоподібному каналу. Також довгі домішки мають властивість забиватися в отвори, ставати вертикально або під кутом до решета утворюючи при цьому перешкоду на шляху руху потоку матеріалу.

До переваг даного класифікатора сипучих матеріалів можна віднести наступне:

- відсутність енергоспоживання;
 - можливість повороту дефлекторів відносно решіт.
- недоліки:
- неможливість виділення легкої фракції;
 - використання решіт, що призводять до забивання;
 - низька ефективність очищення внаслідок застосування решіт.

Висновки та завдання досліджень

Проведений огляд існуючих сепараторів для очищення зерна, що застосовуються в сільському господарстві, з урахуванням вимог, що пред'являються до них, дозволяє зробити наступні висновки:

1. Проведений аналіз конструкцій пневмосистем зерноочисних машин показав, що найбільш вираженим недоліком є нерівномірність швидкості повітряного потоку в каналі, внаслідок цього низька ефективність очищення;
2. Аналіз конструкцій сепараторів для очищення зерна від дрібних і великих домішок показав, що найбільш перспективними в плані зниження енергоємності є – гравітаційні сепаратори;

3. Тому необхідно вдосконалити гравітаційні сепаратори з метою зниження висоти каналу, зменшення металоємності і підвищення ефективності очищення за рахунок поділу зернового матеріалу на фракції.

Основні завдання дослідження:

- розробити математичну модель процесу розділення зернових сумішей на сепараторі для очищення зернового матеріалу від домішок;
- вивчити вплив основних параметрів сепаратора для очищення зерна, а також фізико-механічних властивостей зернового матеріалу на ефективність виділення великих, дрібних і легких домішок. Обґрунтувати його основні параметри.
- вивчити працездатність сепаратора для очищення зерна в господарських умовах.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Програма експериментальних досліджень

Експериментальна перевірка теоретичних передумов процесу очищення зернового матеріалу в повітряно-гравітаційному сепараторі для очищення зерна і обґрунтування основних параметрів:

1. Обґрунтування раціональної схеми повітряно-гравітаційного сепаратора для очищення зерна.
2. Експериментальне обґрунтування основних параметрів блоку попереднього розподілу повітряно-гравітаційного сепаратора.
3. Експериментальне обґрунтування основних параметрів повітряно-гравітаційного сепаратора.
4. Дослідження поділу зернового матеріалу в залежності від засміченості і вологості зерна.
5. Оцінка можливості використання повітряно-гравітаційного сепаратора по очищенню зерна різних культур (пшениці, жита та ячменю).

2.2. Експериментальні установки, обладнання та прилади

Для експериментальних досліджень використовували експериментальну установку повітряно-гравітаційного сепаратора для очищення зерна, загальний вигляд і схеми якої показані на рисунках 2.1 і 2.2.

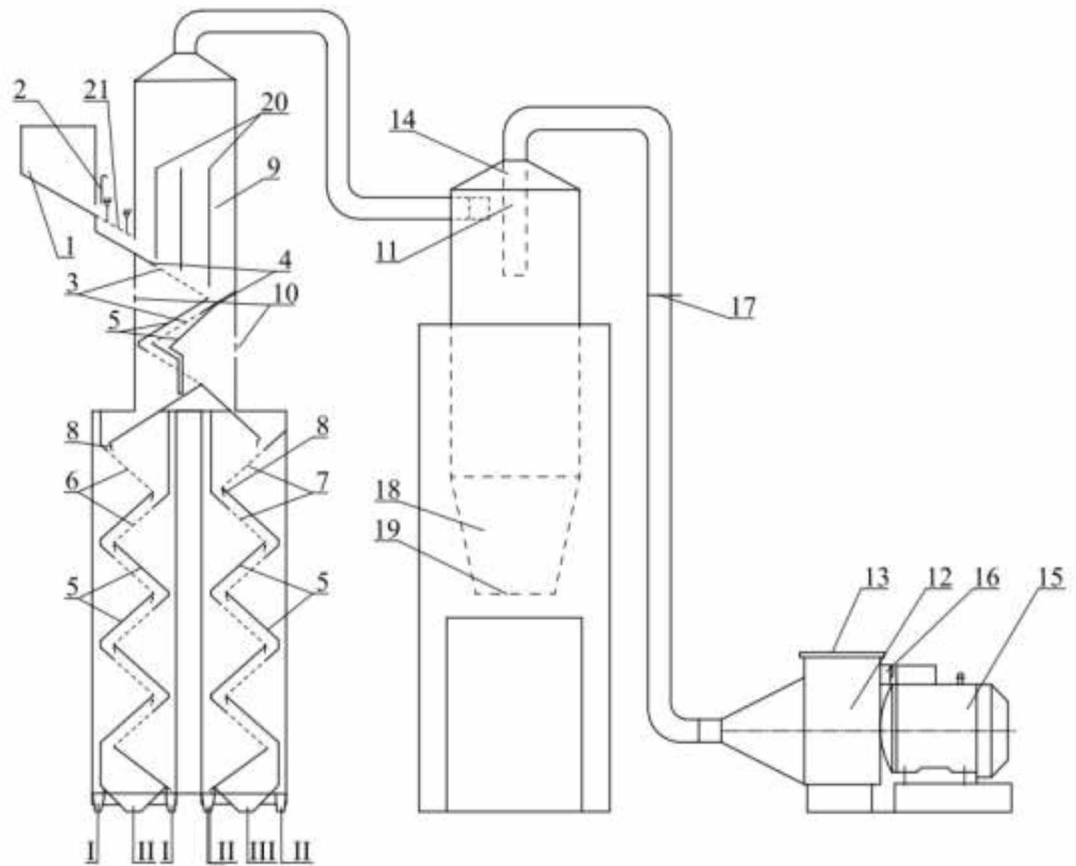


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд повітряно-гравітаційного сепаратора для очищення зерна

Повітряно-гравітаційний сепаратор (рисунок 2.1) містить завантажувальний бункер 1, приймальне решето з вібрацією 21, заслінку 2, регулюючу подачу зернового матеріалу, встановлені зігзагоподібно у вертикальному каналі сепаруючі гребінки 3 в блоці попереднього розподілу, нижче по боках якого встановлені сепаруючі гребінки 6 і 7, що утворюють відповідно ліву і праву колонки. На початку сепаруючих гребінок 3, 6 і 7 встановлені скатні дошки 4. Під гребінками 3, 6 і 7 розміщені дефлектори 5. У пневмоканалі 9 розміщені перегородки 20, в кінці якого встановлена осадова камера 18, в нижній частині якої розміщено розвантажувальний пристрій 19. Над осадовою камерою 18 розміщений сітчастий фільтр 14. У кінці пневмоканалу на виході з осадової камери 18 встановлений вентилятор 12, на виході якого розміщений матерчатий фільтр. Праворуч від вентилятора 12 встановлений електродвигун 15.

Сепаратор містить патрубки виведення розділених фракцій: патрубки I для виведення проходової (дрібної) фракції з сепаруючих гребінок 6, патрубок II для виведення сходової (середньої) фракції (основного зерна) з гребінок 6, патрубок III для виведення проходової (середньої) фракції (основного зерна) з гребінок 7, патрубок IV для виведення сходової (крупної) фракції з гребінок 7, розвантажувальний пристрій 19 для виведення легкої фракції з осадової камери 18.

Сепаруючі гребінки (рисунок 2.3) 3, 6, 7 виконані у вигляді гребінок, що представляють собою набір пальців, виготовлених зі сталевого каліброваного прутка (серебрянка) діаметром 2 мм. Пальці жорстко зафіксовані в двох місцях контактним зварюванням. Це дозволяє в процесі експлуатації зберігати постійну відстань між пальцями, яке дозволяє підвищити ефективність очищення зернового матеріалу від домішок.

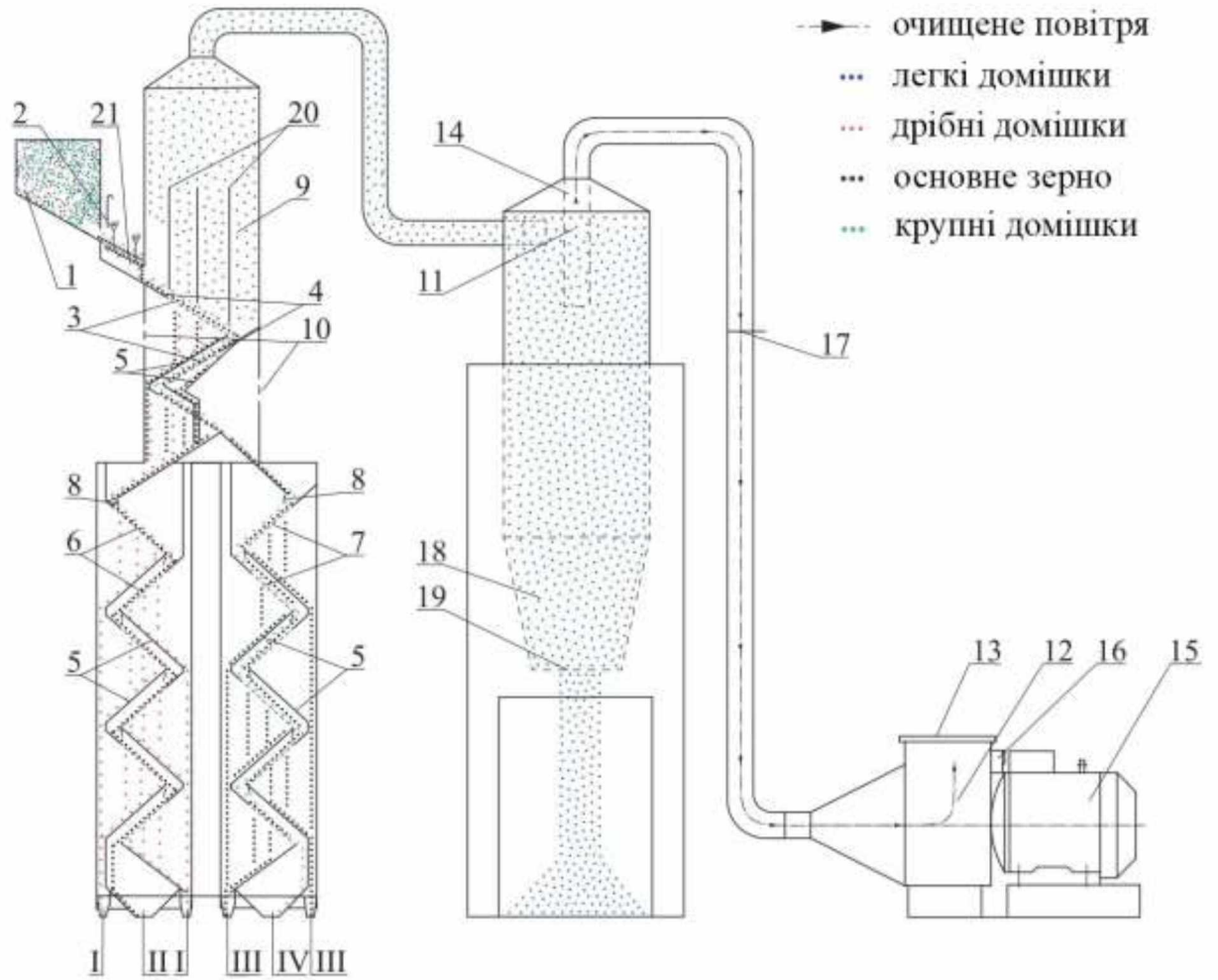


Рисунок 2.2 – Технологічна схема повітряно-гравітаційного сепаратора для очищення зерна

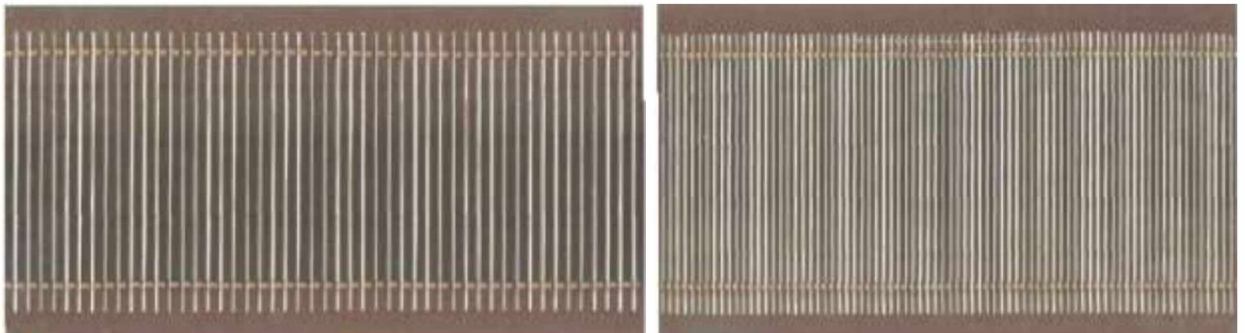


Рисунок 2.3 – Загальний вигляд сепаруючих гребінок

Відстань між пальцями сепаруючої гребінки 7 (велика домішка) становить 4 мм; сепаруючої гребінки 6 (дрібна домішка) - 2 мм; сепаруючої гребінки 3 (блок попереднього розподілу) - 3; 3 мм. Ширина робочої частини сепаруючих гребінок 300 мм, довжина 155 мм, кут нахилу гребінок до горизонту для великої домішки становить 32° , а для дрібної домішки - 36° .

Завантажувальний бункер 1 розрахований на місткість 30 кг сепарованої зернової суміші (по пшениці). Випускний отвір бункера оснащено регульованою заслінкою 2. У пневмосепаруючому каналі 9 середньою висотою 800 мм, глибиною 450 мм і шириною 300 мм встановлені по глибині перегородки 20, які дозволяють вирівняти швидкість повітряного потоку, що підвищує ефективність розділення зернового матеріалу.

Швидкість повітряного потоку в пневмоканалі визначали через його динамічний тиск, який заміряли пневмометричною трубкою Піто-Прандля (відповідно до методики), під'єднується до мікроманометра ММН. Для досягнення герметичності установки ці отвори заглушались за допомогою липкої стрічки. Також заміряли швидкість повітряного потоку за допомогою чашкового анемометра МС-13, електронного термоанемометра Testo-405, встановленого горизонтально у напрямку повітряного потоку. Вологість зернового матеріалу вимірювали за допомогою експрес-вологоміра Фауна-МЛ.

Пристрій для регулювання витрати повітря являє собою заслінку 17, якою, рухаючи по горизонталі, можна регулювати подачу повітряного потоку в пневмосепаруючий канал.

Як генератор повітряного потоку використаний відцентровий вентилятор 12 з електродвигуном 15.

Технологічний процес очищення зернового матеріалу відбувається наступним чином (рисунок 2.2).

Вихідний зерновий матеріал надходить із завантажувального бункера 1 на приймальне решето з вібрацією 21, на якому виділяються особливо великі

домішки і далі зерновий матеріал надходить в пневмоканал, який оснащений вертикальними перегородками для ефективного виділення легких домішок. Під впливом повітряного потоку домішки, швидкість витання яких менше швидкості витання зерен основної культури, піднімаються вгору по пневмосепаруючому каналу 9 і надходять в осадочну камеру 18. З осадкової камери легка домішка вивантажується за допомогою клапана 19, який закриває випускний отвір за допомогою замка. Повітряний потік з осадкової камери 18, пройшовши через сітчастий фільтр 14, розташований в осадковій камері і очищаючись від пилу, надходить у вентилятор 12 і виходить назовні через вихідний патрубок, на якому встановлений матерчатий фільтр 13.

Очищене від легких домішок зерно скочується по суцільній дошці 4, де формується зерновий шар певної товщини. Частинки зернового матеріалу скочуються на суцільну скатну дошку 4 і потрапляють на перший просівальний пристрій 3 (гребінку). В результаті руху частина основного зерна і дрібної домішки виділяється і потрапляє на дефлектор 5, а потім скочується і надходить в ліву колонку. Інша частина основного зерна сходом з гребінки 3 потрапляє на суцільну скатну дошку 4 і надходить на наступну гребінку 3, частина основного зерна з дрібною домішкою проходить в отвори другої гребінки і по боковому патрубку надходить в ліву колонку. Сходження з другої гребінки 3 надходить на суцільну скатну дошку 4 третьої гребінки 3, частина основного зерна з дрібною домішкою проходить в отвори третьої гребінки 3 і надходить у ліву колонку. А сходження основного зерна з великою домішкою згодом надходить в праву колонку.

В результаті руху основного зерна з дрібною домішкою по гребінці 3 частина основного зерна з дрібною домішкою, що надійшла в ліву колонку спочатку надходить на суцільну скатну дошку, а потім на гребінку 6. На гребінці 6 проходом виділяється дрібна домішка. Дрібна домішка, що пройшла через гребінку 6 надходить на дефлектор 5, скочуючись потрапляє в патрубок I для виведення проходової дрібної фракції. Зерно, яке не пройшло

основного зерно з дрібної домішкою сходом надходить на суцільну скатну дошку другий гребінки 6, де змінює напрямок руху і швидкість руху зернового матеріалу падає. На другій гребінці 6 частина дрібної домішки надходить на дефлектор 5, скочуючись надходить в патрубок I для виведення прохідової дрібної фракції. У патрубок II потрапляє сходова середня фракція основного зерна з гребінок 6.

Фракція основного зерна з великої домішкою по скатній дошці надходить в праву колонку на суцільну скатну дошку і змінює напрямок руху, а потім потрапляє на першу гребінку правій колонці. Частина основного зерна проходить в отвори гребінки 7 надходить на дефлектор 5, скочуючись надходить в патрубок III для виведення прохідової середньої фракції основного зерна з гребінок 7. Основне зерно, що залишилося з великими домішками сходом надходить на суцільну скатну дошку при цьому зерновий матеріал змінює напрямок руху і надходить на другу гребінку 7 правої колонки, де частина основного зерна проходить в отвори гребінки 7 надходить на дефлектор 5, скочуючись по ньому потрапляє в патрубок III для виведення прохідової середньої фракції основного зерна з гребінок 7. у патрубок IV потрапляє сход – велика домішка з гребінок 7.

Характеристику повітряного потоку в пневмосепаруючих каналах визначали за допомогою пневмометричної трубки Піто-Прандля, мікроманометра ММН, ротаметра, чашкового анеометра МС-13 (рисунок 2.4), термоанеометр Testo-405 (рисунок 2.5).

Для вимірювання середньої швидкості повітряного потоку в пневмосепаруючому каналі експериментальної установки використаний чашковий анеометр МС-13 (рисунок 2.4), який призначений для вимірювання середньої швидкості повітряного потоку в промислових умовах. Діапазон вимірювання середньої швидкості повітряного потоку від 1 до 20 м/с.

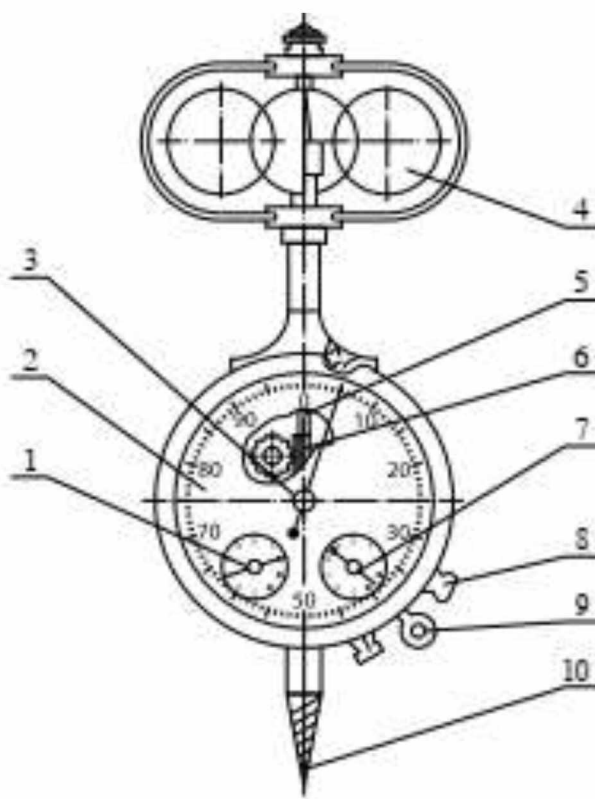


Рисунок 2.4 – Анемометр чашковий МС-13

1 - стрілка шкали сотень; 2 - циферблат; 3 - стрілка шкали одиниць; 4 - вертушка; 5 - вісь; 6 - черв'як; 7 - стрілка шкали тисяч; 8 - вушка; 9 - аретир; 10 - гвинт

Чашковий анемометр МС-13 влаштований таким чином: вітроприймачем анемометра служить чотирьохчашкова вертушка 4, насаджена на вісь 5, що обертається в опорах. На нижньому кінці осі нарізаний черв'як 6, зв'язаний з редуктором, що передає рух трьома вказівними стрілками. Циферблат 2 має відповідно шкали одиниць, сотень, тисяч. Черв'як 6 через черв'ячне колесо і триб передає рух центральному колесу, на осі якого закріплена стрілка 3 шкали одиниць. Триб центрального колеса через проміжне колесо приводить в обертання мале колесо, на осі якого насаджена стрілка (шкали сотень). Від малого колеса через друге проміжне колесо обертання передається другому малому колесу, вісь якого несе на собі стрілку шкали тисяч 7.

Включення і вимикання механізму проводиться аретиром 9, один кінець якого знаходиться під вигнутою пластинчастою пружинкою, що є підп'ятником черв'ячного колеса. Для виключення лічильного механізму аретир 9 повертають за годинниковою стрілкою.

Інший кінець аретира при цьому піднімає пластинчасту пружину, яка, переміщаючи вісь колеса в осьовому напрямку, виводить черв'ячне колесо із зачеплення з черв'яком 6.

Для вимірювання швидкості повітряного потоку в пневмосепаруючому каналі використовували термоанемометр Testo-405 (рисунок 2.5), який вимірює швидкість потоку повітря до 10 м/с, об'ємної витрати і температури від мінус 20 до плюс 50°C з телескопічною рукояткою до 30 см і поворотним дисплеєм, ідеальний для вимірювань в повітроводах.



Рисунок 2.5 – Термоанемометр Testo-405

Тривалість експериментів вимірювали за допомогою секундоміра.

Вологість зернового матеріалу вимірювали за допомогою лабораторного вологоміра Фауна-МЛ. Точність лабораторного вологоміра

при вимірюванні вологості зернового матеріалу $\pm 0,5\%$. Діапазон вимірювань вологості в залежності від зернової культури - від 3,0 до 38%.

Висновки

Представлена загальна методика досліджень, що враховує залежність конструктивних і технологічних параметрів на показники досліджуваного процесу сепарування зерна.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Теоретичний опис процесу сепарації зернового матеріалу в повітряно-гравітаційному сепараторі

Оскільки показники процесу сепарації зернового матеріалу багато в чому залежать від характеру відносного руху частинок зернового матеріалу по похилій скатній дошці і сепаруючій гребінці, то виникла необхідність отримати закони відносного руху зернових частинок по похилій скатній дошці і сепаруючій гребінці в залежності від його фізико-механічних властивостей і конструктивно-кінематичних параметрів гравітаційної частини повітряно-гравітаційного сепаратора.

Зерновий матеріал є різноманіттям форм частинок, умовно їх можна звести по двох основних групах: частинки, довжина яких порівняна з їх шириною і товщиною (продукти подрібнення зернового матеріалу, горох, просо, кукурудза і т. д.); частинки, довжина яких переважає над іншими її лінійними розмірами (зерна пшениці і злакових культур, вівсюг і т. д.). Як модельне тіло першої групи – при вивченні законів відносного руху зернових частинок по похилій скатній дошці і сепаруючої гребінки може бути використана модель частинки у формі кулі, а для другої групи – у формі еліпсоїда, довжина якого перевищує діаметр його поперечного перерізу. У зв'язку з цим нами описаний процес руху частинок зернового матеріалу.

Зважаючи на складність повного опису динамічного стану зерна на похилій скатній дошці і сепаруючій гребінці для отримання математичної

моделі, зручної для подальших розрахунків, і достовірного опису руху соломи по похилій скатній дошці і сепаруючій гребінці, прийmemo такі припущення:

- для теоретичного аналізу прийmemo солому у вигляді однорідного порожнього циліндра, який котиться без ковзання;
- опір повітря не враховується;
- пружні властивості соломи і опір повітря не роблять значного впливу на процес руху.

Розглянемо рух соломи як рух однорідного порожнього циліндра вагою G і радіусом R , який котиться без ковзання по похилій площині довжиною L , яка утворює з горизонтом кут α . Похила площина довжиною L складається з суцільної скатної дошки із закріпленими на ній прутами круглої форми довжиною L_1 і сепаруючої гребінки довжиною L_2 . Схема сил діючих на порожній циліндр, що рухається по похилій скатній дошці і сепаруючій гребінці, показаний на рисунку 3.1. Коефіцієнт зчеплення дорівнює $f_{c\eta}$.

Розглянемо рух порожнього циліндра на другій ділянці по сепаруючій гребінці довжиною L_2 . Рух порожнього циліндра відбувається під дією трьох зовнішніх сил: ваги G , нормальної реакції площині N і сили зчеплення $F_{c\eta 2}$. Напрямом осі x і y , як зазначено на рисунку 3.1. Через центр ваги соломи проведемо осі ξ і ν , і вісь ζ , перпендикулярну до площини креслення і спрямовану до читача. Момент сили відносно осі ζ буде позитивний, якщо сила прагне обертати площину креслення навколо точки проти руху годинникової стрілки, і негативний – в протилежному випадку.

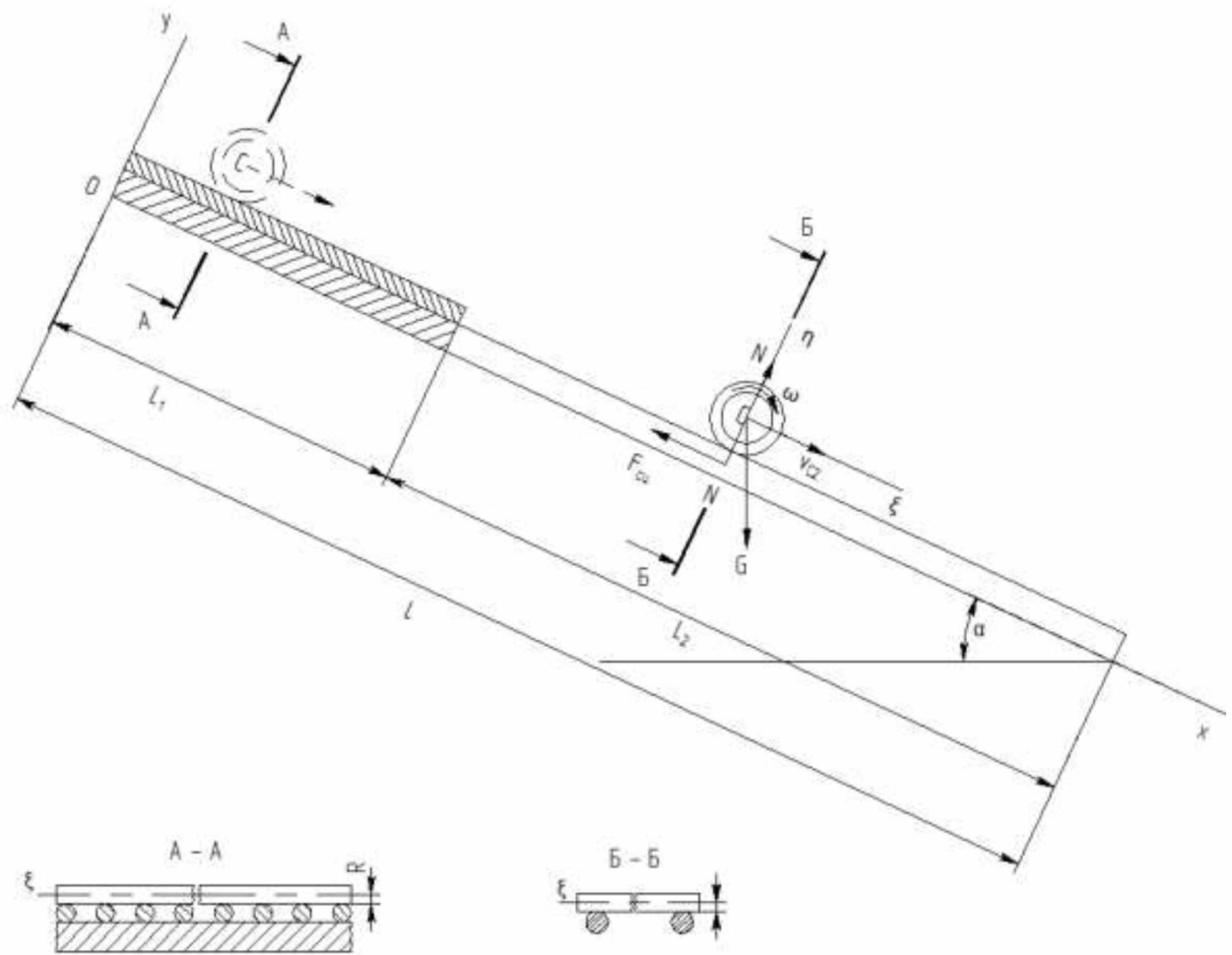


Рисунок 3.1 – Схема сил діючих на порожній циліндр, що рухається по похилій скатній дошці та сепаруючій гребінці

Диференціальні рівняння плоского руху твердого тіла мають вигляд:

$$\begin{cases} m\ddot{x}_c = \sum X_i^E = X^E, \\ J_\zeta \ddot{\varphi} = \sum M_{i\zeta}^E = M_\zeta^E, \end{cases} \quad (3.1)$$

де m - маса тіла;

$\ddot{x}_c$ – проекції прискорень центру мас на вісь x ;

X^E – проекції головного вектора зовнішніх сил, прикладених до тіла, на вісь x ;

X_i^E – проекції зовнішніх сил на вісь x ;

$M_{i\zeta}^E$ – моменти зовнішніх сил відносно осі ζ ;

M_ζ^E – головний момент зовнішніх сил, прикладених до тіла, відносно осі ζ ;

J_ζ – момент інерції твердого тіла відносно осі ζ ;

φ'' – кутове прискорення твердого тіла.

Таким чином, диференціальне рівняння руху порожнього циліндра на другій ділянці по похилій сепаруючій гребінці довжиною L_2 має вигляд:

$$\begin{cases} m\ddot{x}_c = \Sigma X_i^E = G \sin \alpha - F_{\text{сн}2}, \\ J_\zeta \ddot{\varphi} = \Sigma M_{i\zeta}^E = F_{\text{сн}} d_0, \end{cases} \quad (3.2)$$

де d_0 – відстань від осі миттєвого обертання полого циліндра ζ до паралельної їй осі, що проходить через точки дотику полого циліндра з пальцями сепаруючої гребінки.

Диференціальні рівняння (3.3) і (3.4) містять дві невідомі величини: $\ddot{x}_c$ і $F_{\text{сн}}$.

Так як порожній циліндр котиться без ковзання, то точка дотику полого циліндра з пальцями сепаруючої гребінки є миттєвим центром швидкостей.

Тому швидкість центру полого циліндра v_{c2} знайдемо через його кутову швидкість ω_2 :

$$v_{c2} = |\omega_2| d_0. \quad (3.3)$$

Проекція швидкості точки на вісь x :

$$\dot{x}_{c2} = v_{c2} = |\omega_2| d_0. \quad (3.4)$$

Алгебраїчна величина кутової швидкості φ_2 негативна, так як порожній циліндр обертається по руху годинникової стрілки, тобто:

$$\dot{\varphi}_2 = -|\omega_2|, \quad (3.5)$$

де $|\omega_2|$ – абсолютне значення кутової швидкості.

Момент інерції соломи щодо осі ζ :

$$J_\zeta = \frac{1}{3}ml^2. \quad (3.6)$$

Підставивши ці значення в рівняння (3.6), отримуємо:

$$\frac{ml^2\ddot{x}_{c2}}{3R} = F_{\text{сц}}R. \quad (3.7)$$

Вирішивши рівняння спільно з рівнянням, знайдемо:

$$F_{c2} = \frac{G \sin \alpha l^2}{3 \left(\frac{l}{R} \right)^2 + 1}, \quad (3.8)$$

На першій ділянці суцільної скатної дошки завдовжки L_1 знайдемо і підставивши в рівняння значення R : отримуємо:

$$\begin{aligned} \ddot{x}_{c1} &= \ddot{x}_{c2}, \\ F_{c1} &= F_{c2}. \end{aligned} \quad (3.9)$$

З формул видно, що центр ваги порожнього циліндра рухається по суцільній скатній дошці і сепаруючій гребінці рівноприскорено з прискоренням, що не залежить від ваги порожнього циліндра. На першій ділянці суцільної скатної дошки завдовжки L_1 знайдемо час руху порожнього циліндра t_1 шляхом інтегрування виразу за часом при нульовій початковій швидкості:

$$t_1 = \sqrt{\frac{2L_1 \left(1 + \frac{1}{3} \left(\frac{l}{R}\right)^2\right)}{g \sin \alpha}} \quad (3.10)$$

Знаючи час руху порожнього циліндра t_1 , по суцільній скатній дошці завдовжки L_1 і інтегруючи вираз знайдемо швидкість руху порожнього циліндра по дошці:

$$\dot{x}_{c1} = \sqrt{\frac{2g \sin \alpha L_1}{1 + \frac{1}{3} \left(\frac{l}{R}\right)^2}} \quad (3.11)$$

Для визначення кута нахилу площини довжиною L , при якій починається ковзання полого циліндра, скористаємося відомим положенням зі статyki:

$$F_{c1} \leq F_{c1}^{max} = f_{cц} N, \quad (3.12)$$

де $f_{cц}$ – коефіцієнт зчеплення;

F_{c1}^{max} – сила зчеплення в момент початку руху.

Таким чином, ковзання почнеться при:

$$\alpha = \frac{f_{cц}}{\frac{2R^2}{(R^2 + r^2)} + 1}, \quad (3.13)$$

Знаючи зовнішній радіус порожнього циліндра, відстань між пальцями сепаруючої гребінки і радіус пальця сепаруючої гребінки знайдемо d_0 :

$$d_0 = \sqrt{R^2 \left(1 - \frac{H^2}{4(R + r_1)^2} \right)}. \quad (3.14)$$

Отримані результати показують, що центр ваги порожнього циліндра рухається по суцільній скатній дошці і сепаруючій гребінці рівноприскорено з прискоренням, що не залежить від ваги порожнього циліндра. Час руху порожнього циліндра також не залежить від ваги кулі.

Для визначення граничних значень кута нахилу скатної дошки і сепаруючої гребінки були визначені швидкість руху соломи у вигляді порожнього циліндра і коефіцієнта зчеплення при наступних вихідних параметрах скатної дошки і гребінки: $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; $L_2 = 0,155 \text{ м}$; $R = 0,0015 \text{ м}$; $r = 0,00125 \text{ м}$.

Вплив кута нахилу скатної дошки і сепаруючої гребінки на швидкість руху соломи у вигляді порожнього циліндра і коефіцієнта зчеплення представлені на рис. 3.2 і 3.3.

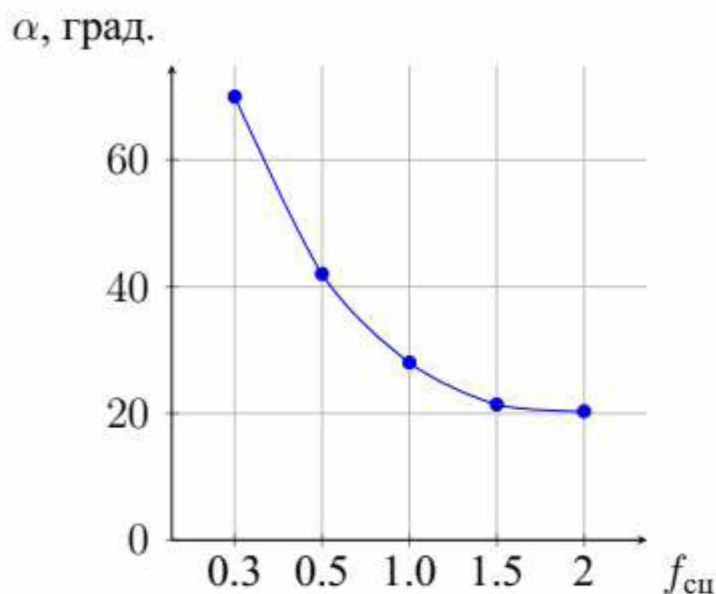


Рисунок 3.2 – Графік залежності коефіцієнта зчеплення $f_{сц}$ від кута нахилу скатної дошки і сепаруючої гребінки

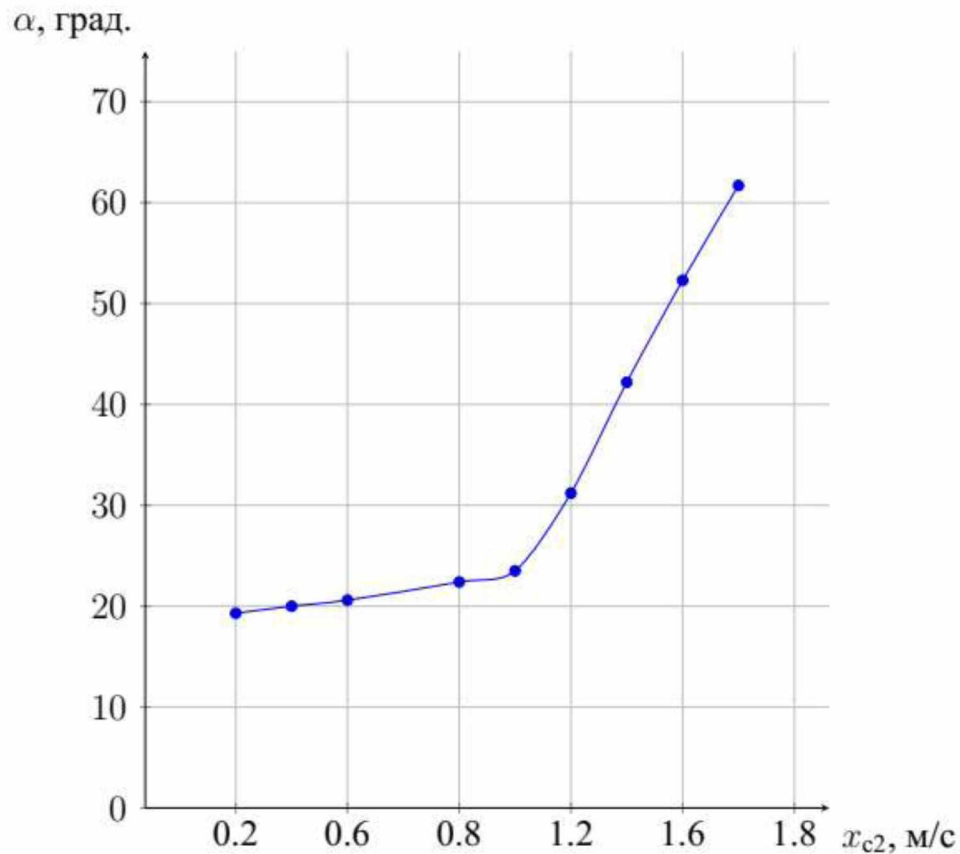


Рисунок 3.3 – Графік залежності швидкості руху x_{c2} від кута нахилу скатної дошки і сепаруючої гребінки

Аналіз даних свідчить про те, що солома у вигляді порожнього циліндра починає рух по скатній дошці і сепаруючій гребінці при $\alpha = 20^\circ$.

3.2. Результати досліджень

Аналіз існуючих пневмоканалів при очищенні зернового матеріалу показав, що одним з основних недоліків є нерівномірність швидкості повітряного потоку по перетину пневмоканалу. Тому ефективність очищення зерна від легких домішок в пневмоканалах невисока. Існують різні способи по вирівнюванню швидкості повітряного потоку по перетину пневмоканалу. Одним з перспективних способів є установка прямокутних перегородок

певної висоти по перетину пневмоканалу. Як показали експериментальні дослідження [21], установка перегородок в пневмоканалах дозволяє збільшити ефективність очищення зернового матеріалу від легких домішок до 10%, за рахунок вирівнювання швидкості повітряного потоку в пневмоканалі. Тому в розробленому повітряно-гравітаційному сепараторі необхідно встановити прямокутні перегородки певної довжини по ширині пневмоканалу. Крім того, з метою збільшення ефективності очищення легких домішок з вихідного зернового матеріалу доцільно встановити приймальне решето з вібрацією. Як показують експериментальні дослідження [22], приймальне решето з вібрацією дозволяє на першому етапі перерозподілити частки зернового матеріалу в шарі, тобто дрібні частинки зернового матеріалу опускаються в нижні шари зернового матеріалу, а легкі частинки спливають у верхні шари. І вже підготовлений, перерозподілений шар зернового матеріалу надходить в пневмоканал. Ймовірно тому ефективність виділення легких домішок збільшиться.

Після очищення вихідного зернового матеріалу від легких домішок в пневмоканалі, зерновий матеріал надходить в гравітаційну частину повітряно-гравітаційного сепаратора для очищення від дрібних і великих домішок. Як показують експериментальні дослідження [19, 23] очищення зерна від дрібних і великих домішок на гравітаційних (енергозберігаючих) сепараторах здійснюється наступним чином – спочатку на верхніх гребінках зерновий матеріал очищається від великих домішок, а потім надходить на нижні гребінки, де очищається від дрібних домішок. З метою зменшення висоти гравітаційного сепаратора, збільшення ефективності виділення дрібних і великих домішок необхідно на першому етапі обробки зернового матеріалу розділити на дві фракції:

- основне зерно і дрібна домішка;
- основне зерно і велика домішка.

А потім кожну фракцію обробити на окремих гравітаційних сепараторах (колонках).

У завдання роботи входило оцінка впливу основних параметрів повітряно-гравітаційного сепаратора на ефективність очищення зерна пшениці від легких, дрібних і великих домішок:

- кількість сепаруючих гребінок в двох колонках, в яких встановлені зигзагоподібні каскади гребінок;
- кількість сепаруючих гребінок в блоці попереднього розподілу;
- питома подача зернового матеріалу;
- швидкість повітряного потоку;
- кількість перегородок;
- вологість зернового матеріалу;
- засміченість зернового матеріалу.

Досліди проводили при наступних параметрах: питомої подачі 10 т/год·м; кут нахилу решета до горизонту 6°.

За результатами проведених досліджень по вивченню впливу приймального решета з вібрацією на ефективність виділення особливо великих домішок з'ясувалося, що ефективність виділення особливо великих домішок (грудочки землі, камінчики, гілочки і ін.) склала 78%.

На підставі попередніх досліджень на експериментальній установці встановлено, що на ефективність очищення зернового матеріалу від легкої домішки істотно впливає питома подача, кількість перегородок і швидкість повітряного потоку. Рівні варіювання факторів показані в таблиці 3.1.

Параметром оптимізації робочого процесу гравітаційної частини повітряно-гравітаційного сепаратора для очищення зерна була ефективність очищення E від легкої домішки.

Матриця планування експерименту наведена в таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 – Матриця кодування змінних і рівні варіювання

Змінні	Позначення		Рівні варіювання				
	Загальні	Кодовані	-1,682	-1	0	+1	1,682
Питома подача	т/год·м	X_1	6,59	10	15	20	23,41
Кількість перегородок	шт.	X_2	0	1	2	3	4
Швидкість повітряного потоку	м/с	X_3	2,818	3,5	4,5	5,5	6,182

Таблиця 3.2 – Матриця планування експерименту

№	X_1	X_2	X_3	X_{12}	X_{13}	X_{23}	X_1^2	X_2^2	X_3^2
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1	1
2	1	-1	-1	-1	-1	1	1	1	1
3	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1
4	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	1
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1
6	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	1
7	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	-1,682	0	0	0	0	0	2,829	0	0
10	1,682	0	0	0	0	0	2,829	0	0
11	0	-1,682	0	0	0	0	0	2,829	0
12	0	1,682	0	0	0	0	0	2,829	0
13	0	0	-1,682	0	0	0	0	0	2,829

Продовження табл. 3.2

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>
14	0	0	1,682	0	0	0	0	0	2,892
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0

За отриманими значеннями, а також відповідно до матриці планування експерименту визначимо плановані точки збору статистичних даних (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Плановані точки збору статистичних даних

№ досліду	X_1	X_2	X_3	y^e
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
1	10	4	1	71,68
2	20	4	1	51,83
3	10	6	1	88,01
4	20	6	1	63,97
5	10	4	3	80,27
6	20	4	3	77,53
7	10	6	3	91,54
8	20	6	3	80,63
9	6,59	4	2	79,43
10	23,41	4	2	63,98
11	15	2,818	2	72,27
12	15	6,182	2	78,16

Продовження табл. 3.3

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
13	15	4	0	65,43
14	15	4	4	82,24
15	15	4	2	81,52
16	15	4	2	88,22
17	15	4	2	83,78
18	15	4	2	80,93
19	15	4	2	85,83
20	15	4	2	88,08

На підставі проведених досліджень отримаємо рівняння регресії:

$$y = 88,91 - 5,97x_1 + 3,77x_2 + 5,91x_3 + 3,6x_1x_3 - 5,94x_1^2 - 4,76x_2^2 - 5,22x_3^2. \quad (3.15)$$

Поверхні відгуків взаємодії факторів X_1 , X_2 і X_3 на ефективність виділення легкої домішки показані на рисунках 3.4, 3.5, 3.6.

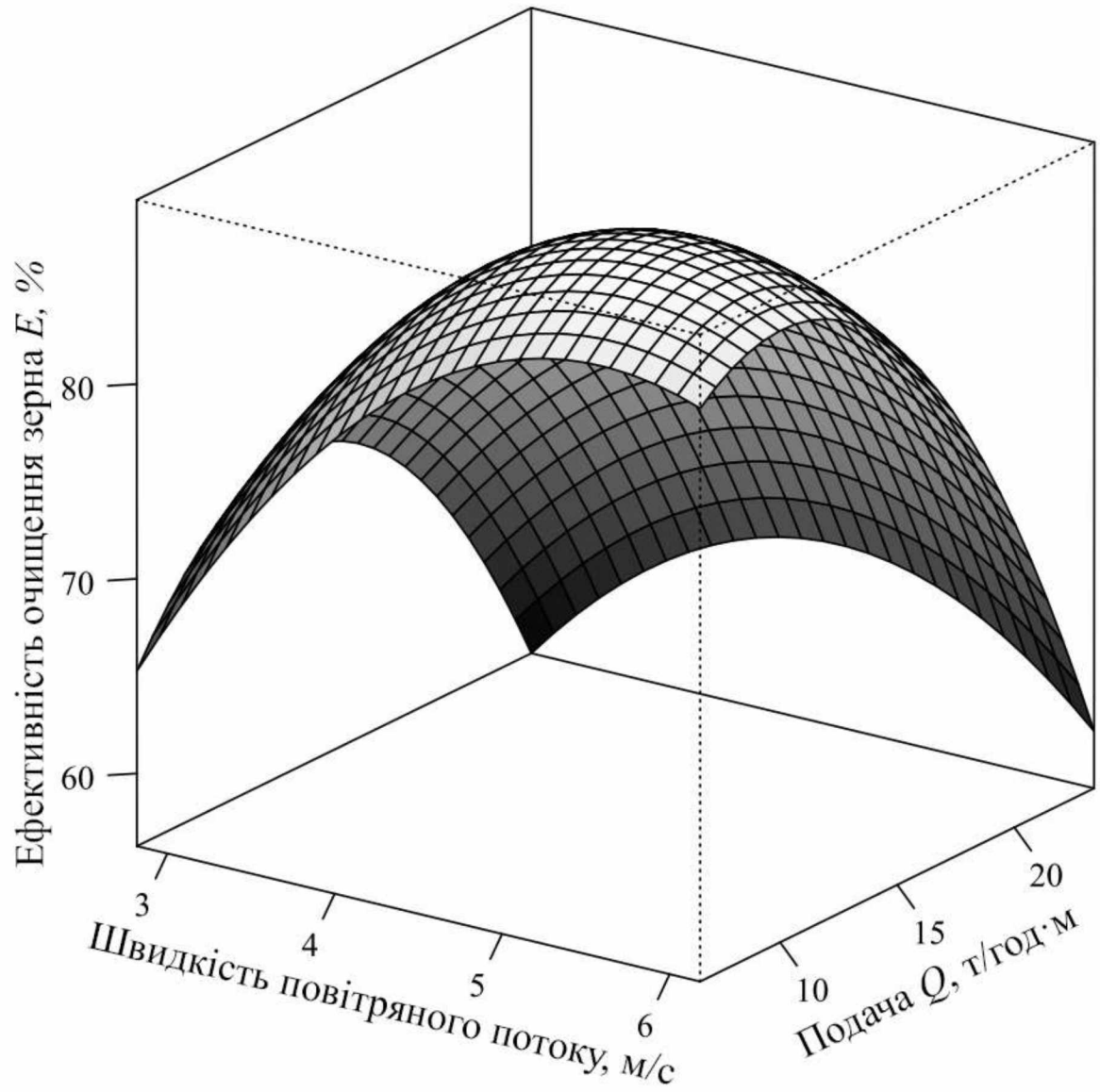


Рисунок 3.4 – Ефективність виділення легкої домішки в залежності від питомої подачі зернового матеріалу і швидкості повітряного потоку

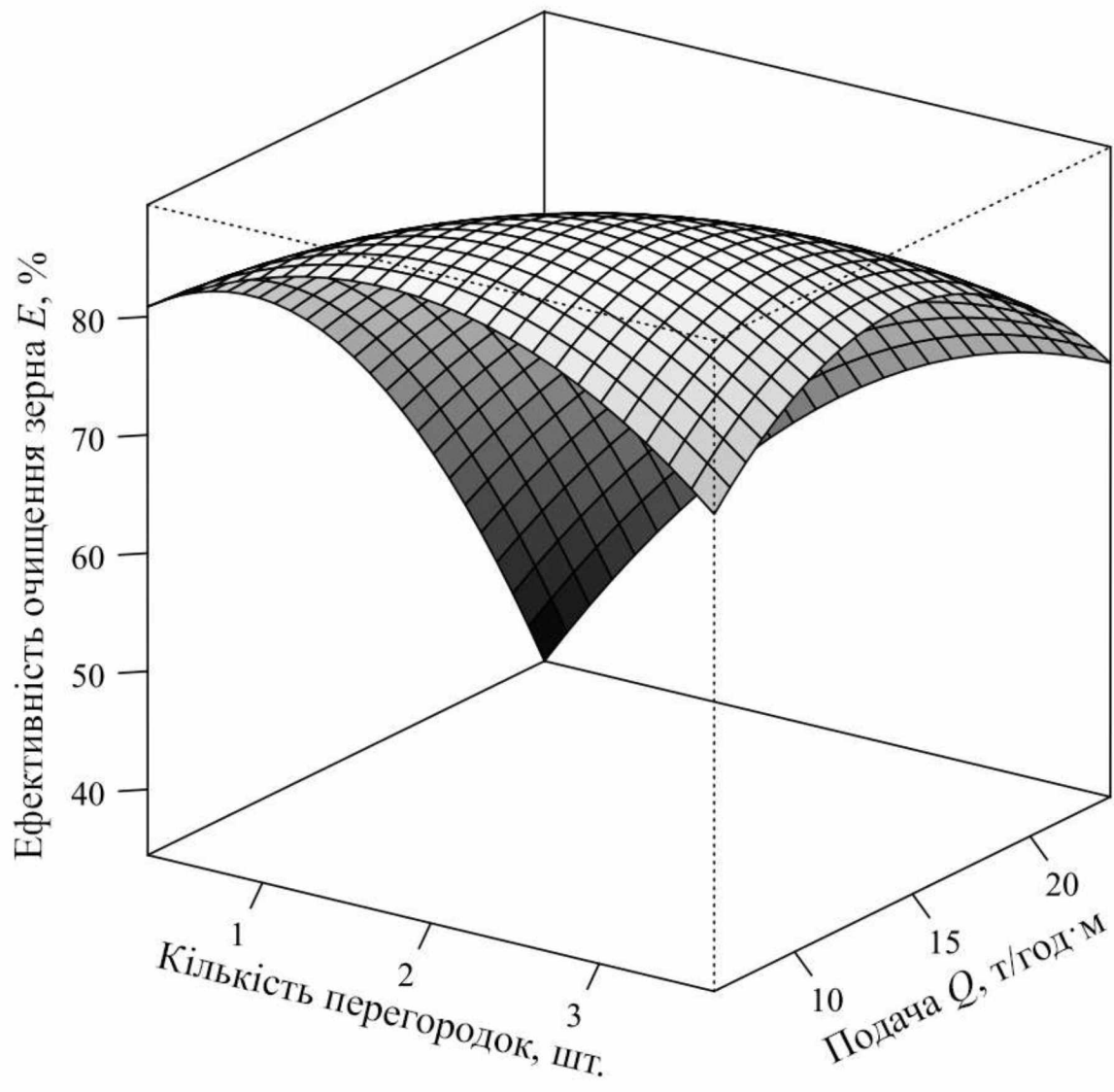


Рисунок 3.5 – Ефективність виділення легкої домішки в залежності від питомої подачі зернового матеріалу і кількості перегородок

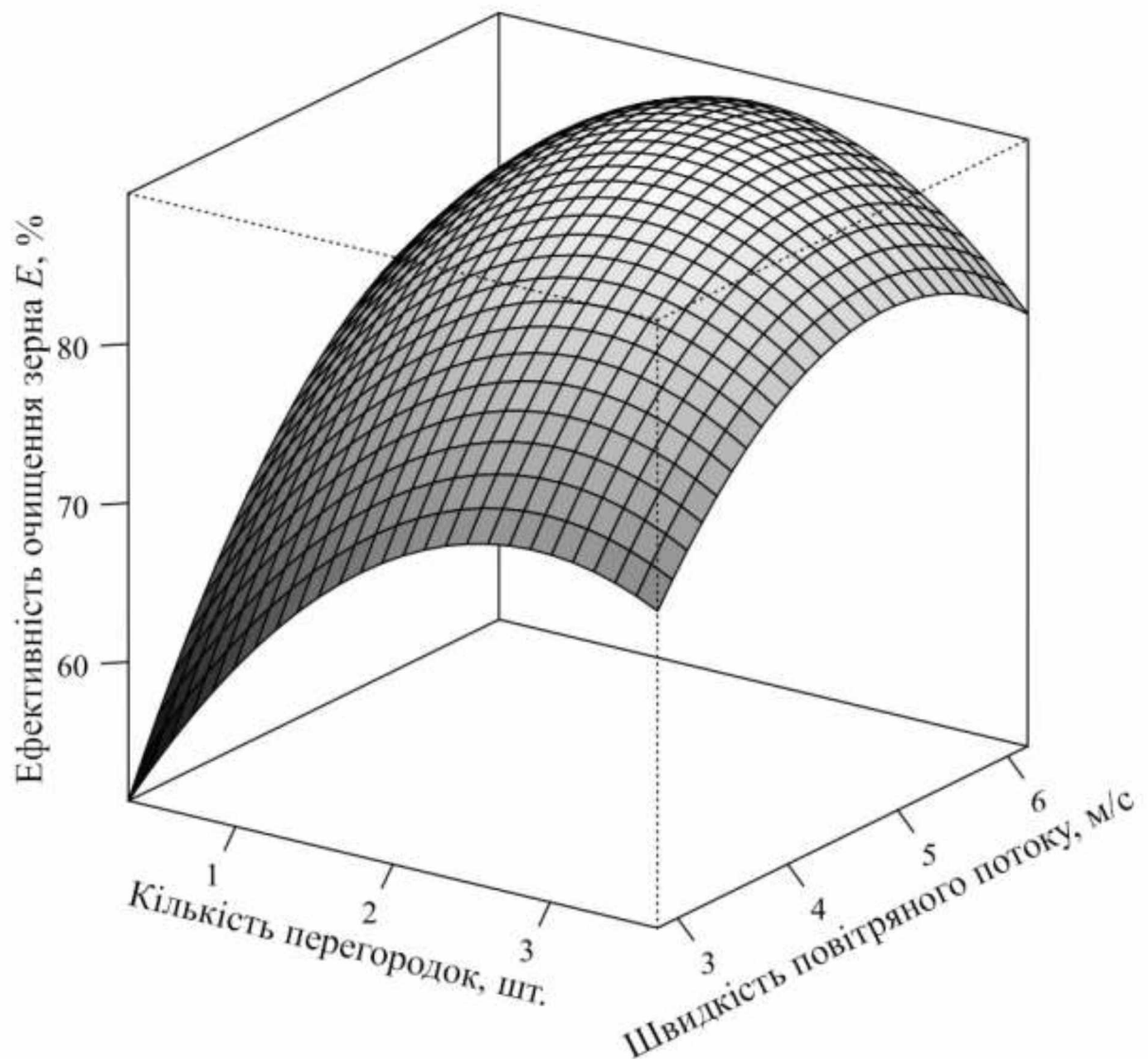


Рисунок 3.6 – Ефективність виділення легкої домішки в залежності від швидкості повітряного потоку і кількості перегородок

Отримана регресійна модель аналізувалася методом побудови поверхонь відгуку, з яких випливає, що при питомій подачі 11 т/год·м, кількості перегородок 2 шт., швидкості повітряного потоку 5, 4 м/с, ефективність очищення від легкої домішки становить 85%.

Висновки

Експериментальними дослідженнями обґрунтовано такі раціональні параметри повітряно-гравітаційного сепаратора для очищення зерна продуктивністю 10 т/год·м, в якому є приймальне решето, пневмоканал, блок попереднього розподілу зернового матеріалу і дві колонки, всередині яких встановлені каскади гребінок.

Повітряно-гравітаційний сепаратор дозволяє збільшити ефективність очищення зерна від дрібних і великих домішок на 6 – 13% за рахунок розподілу зернового матеріалу на дві фракції в блоці попереднього розподілу і зниження питомого навантаження на гребінки.

Обґрунтовано основні параметри повітряно-гравітаційного сепаратора для очищення зерна продуктивністю 10 т/год·м, в якому є приймальне решето, пневмоканал, блок попереднього розподілу зернового матеріалу і дві колонки, всередині яких встановлені каскади гребінок. Кількість перегородок в пневмоканалі 2 шт.; висота перегородок 250 мм; швидкість повітряного потоку – 5,4 м/с.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

4.1. Екологічна експертиза

Екологічна паспортизація ремонтно-обслуговуючих підприємств є одним з ефективних перспективних засобів охорони навколишнього природного середовища. Екологічний паспорт підприємства належить до його основної проєктно-технічної документації. Поряд з технологічним регламентом він повинний бути на кожному підприємстві. У цьому документі наведені дані, що характеризують взаємовідносини підприємства з довкіллям.

У першій частині паспорта наводяться загальні відомості про виробництво: назва підприємства та продукції, що виробляється, район розташування, його потужність, займана площа, кількість працюючих та основні витратні величини споживаної сировини, води, енергії, палива, пари, повітря тощо, а також відомості про споживану сировину, джерела водо- і теплопостачання, короткий опис технологічних схем виробництва основної продукції, технології очищення газо- димових викидів в атмосферне повітря та стічних вод, оборотність, зберігання, транспортування та вилучення твердих відходів (назва, кількість, хімічний склад та деякі основні властивості, технологія відновлення або виготовлення), утримання приміщень і споруд, плани дій в аварійних умовах, небезпечні матеріали, відомості про кращі альтернативні технології, що застосовуються на інших підприємствах країни чи світової практики і завдають меншої шкоди довкіллю.

Характеризується також санітарно-захисна зона підприємства (площа зони, прилеглі об'єкти, її оформлення).

У другій частині паспорта відображені заплановані природоохоронні заходи із зазначенням конкретних термінів, виконавців, обсягів і витрат, питомих і загальних газо-димових викидів в атмосферне повітря і скидів стічних вод та відходів виробництва до і після впровадження кожного заходу.

Екологічні паспорти дають змогу зробити аналіз екологічного середовища в регіоні, порівняти техніко- і еколого-економічні дані з даними інших підприємств, що характеризуються природоохоронними заходами.

Одночасно можна оцінити й ефективність застосованої технології, повноту використання матеріалів й палива, ефективність технології очищення стічних вод і газо-димових викидів.

Можна також зробити еколого-економічну оцінку збитків взагалі і завданих природі зокрема, ефективність використання палива та енергії.

Оскільки об'єкти підприємства є джерелами забруднення атмосфери і навколишнього середовища, то проводять аналіз забезпеченості технічними засобами контролю за станом навколишнього середовища, викидами забруднюючих речовин в атмосферу і дають оцінку виконання екологічних заходів, приводять дані про використання і охорону земельних і водних ресурсів, описують методи контролю за шкідливими викидами, заходи щодо їх зменшення.

Екологічні порушення (злочини) караються відповідно до вимог Кримінального кодексу України. Вимоги закону передбачають встановлення чіткого причинного зв'язку між зробленим порушенням і погіршенням навколишнього середовища.

До екологічних злочинів відносять: забруднення навколишнього природного середовища (води, повітря, ґрунту); порушення правил обороту небезпечних матеріалів і відходів.

Забруднення, виснаження поверхневих чи підземних вод, джерел питної води або зміна її природних властивостей можуть завдати шкоди сільському господарству. Оцінка завданого збитку здійснюється з

урахуванням реальної вартості затрат на відновлювальні роботи та ліквідацію наслідків.

Порушення правил викиду забруднювальних речовин в атмосферу, експлуатації очисних споруд чи інших об'єктів спричиняють забруднення або зміну природних властивостей повітря, що може завдати істотної шкоди здоров'ю людини.

Шкідливий плив на ґрунти чинить забруднення їх відходами господарської діяльності, що може бути небезпечним для здоров'я людей, забруднювати сільськогосподарську продукцію і водойми.

Порушення правил охорони навколишнього середовища полягає у використанні непередбачених правилами методик, відмови від виконання відповідних робіт або в бездіяльності при необхідних обов'язках. Це може бути, зокрема, ігнорування інформації, відмова від проведення екологічної експертизи та будівництва очисних споруд, порушення правил будівництва, експлуатації і ліквідації побудованих споруд тощо.

За скоєні екологічні злочини порушники несуть правову відповідальність. Екологічне законодавство передбачає три рівні покарання: порушення; порушення, що завдали значних збитків; порушення, що спричинили смерть людей (тяжкі наслідки).

Залежно від величини заподіяних збитків це можуть бути штрафи, заборона обіймати певні посади на встановлений термін, виправні роботи та позбавлення волі на визначений законом термін.

Система екологічного менеджменту в країні визначається і регламентується Закони України «Про охорону навколишнього природного середовища» Згідно з цим законом, метою державного управління в галузі охорони довкілля є реалізація законодавства, контроль за дотриманням вимог екологічної безпеки, забезпечення проведення ефективних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища. Отже, державний екологічний менеджмент включає чотири основні функції:

- здійснення природоохоронного законодавства;
- контроль за екологічною безпекою;
- забезпечення проведення природоохоронних заходів;
- досягнення узгодженості дій державних і громадських органів.

Ринково орієнтована економіка охоплює такі групи функцій екологічного менеджменту: реструктуризація виробництва, приватизація, створення конкурентного середовища і ринкового ціноутворення.

На рівні підприємства до загальних функцій управління належить:

- формування екологічної політики;
- визначення екологічних цілей та завдань відповідно до екологічної політики;
- розроблення стратегічного плану реалізації екологічної політики;
- розроблення та реалізація програми екологічного управління;
- формування екологічної свідомості та мотивування;
- ведення документації екологічного менеджменту;
- оперативне управління, аналіз та вдосконалення.

Виконання системо утворювальних функцій екологічної політики, визначення екологічних цілей і завдань, розроблення та реалізація екологічної програми здійснюється за допомогою екологічної експертизи. Екологічна експертиза – це науково-практична діяльність спеціально уповноважених державних органів, еколо- експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці перед проєктних, проєктних та інших матеріалів чи об'єктів, дія яких впливає або може негативно впливати на стан довкілля та здоров'я людей.

Основними завданнями екологічної експертизи є визначення ступеня екологічного ризику й безпеки суб'єкта господарської діяльності; встановлення відповідності вимогам екологічного законодавства; оцінка

впливу різних об'єктів на довкілля, здоров'я людей та можливих негативних екологічних наслідків.

Основними принципами екологічної експертизи є:

- гарантування безпечного життя довкілля;
- наукова обґрунтованість життя довкілля;
- державне регулювання та законність.

Державну екологічну експертизу об'єктів загальнодержавного і міжобласного значення проводить управління екологічної системи України, об'єктів місцевого значення – відділи екологічної експертизи обласних управлінь екологічної безпеки.

Законом «Про екологічну експертизу», прийнятим Верховною Радою України у 1995 р., передбачено державне регулювання і управління в галузі екологічної експертизи, статус експерта, обов'язки замовників експертизи, порядок проведення експертизи, її фінансування, відповідальність за порушення та міжнародне співробітництво [26].

Висновки громадської експертизи направляють в органи, що здійснюють державну екологічну експертизу, центральні й місцеві влади, замовникам проєкту.

4.2. Охорона праці

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому полегшенні умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці.

Охорона праці в умовах сільського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і

оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

Кожна людина і, безперечно, людина з вищою освітою повинна усвідомлювати важливість питань уникнення ризиків у житті та праці.

Україна в освітньому плані приєдналася до Європейської програми навчання з ризиків FORM-OSE. Безпека життя та праці сьогодні формується як меганаука, без якої людство приречене на значні втрати.

Умови праці – це складне об’єктивне суспільне явище, що формується в процесі трудової діяльності під впливом взаємопов’язаних факторів соціально-економічного характеру, які впливають на здоров’я, працездатність людини, на її відношення до праці та ступінь задоволення від неї, на ефективність праці та інші економічні результати виробництва. Вони характеризуються оціночними показниками мікроклімату, наявністю в робочій зоні шкідливих та небезпечних виробничих факторів, психофізичним та естетичними елементами діяльності працівників господарства.

Охорона життя та здоров’я громадян у процесі їх трудової діяльності, створення безпечних та нешкідливих умов праці є одним з найважливіших державних завдань. Успішне вирішення цього завдання значною мірою залежить від належної підготовки фахівців усіх освітньо-кваліфікаційних рівнів з питань охорони праці.

З часу виникнення людської цивілізації кожна людина дбала про власну безпеку та безпеку своїх близьких так само, як і людству доводилось дбати про безпеку свого існування. Людська цивілізація досягає все більшої могутності, а проблема безпеки її існування стає все більш гострою. Актуальність проблеми охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях в світі значно зросла на початку третього тисячоліття. Сьогодні ця проблема стала пріоритетною для світової цивілізації.

Основними технічними засобами охорони праці в цьому випадку є захисні пристрої.

Для запобігання захоплення, удару робочими механізмами всі види передач різних верстатів і установок, які використовуються при відновленні гільз і нанесенні покриттів повинні мати огорожувальні пристрої - кожухи, щити, екрани, козирки, планки, бар'єри (суцільні та сітчасті).

Крім того застосовують: блокувальні пристрої (механічні, електронні, електричні, пневматичні, гідравлічні), пристрої, до яких відносяться системи захисту від ураження електричним струмом, пристрої сигналізації.

Для безпеки експлуатації при нормальному режимі роботи електроустановок необхідно забезпечити захисне заземлення.

При виявленні нагріву тертьових деталей, появі гару або диму верстат потрібно негайно зупинити і приступити до гасіння пожежі наявними засобами, викликати пожежну команду. Двигун, що загорівся, або електропроводку необхідно гасити сухим піском або вогнегасником (вуглекислотним або порошковим). При значному поширенні пожежі, коли його не можна ліквідувати наявними на ділянці засобами, робітники будуть евакуюватися через заздалегідь передбачену необхідну кількість дверей.

Робота з шкідливими речовинами створює небезпеку отруєнь, опіків та професійних захворювань. Вдихання шкідливих речовин призводить до ураження верхніх дихальних шляхів і загальнотоксичного впливу. Попадання кислот і лугів на шкіру може викликати подразнення або опік. Тому необхідно працювати в спеціальній захисній формі.

Поряд з хімічними небезпечними і шкідливими факторами технологічний процес характеризується і фізичними факторами: шумом, вібрацією, запиленістю та ін.

Щоб захистити працюючих від запиленості, шуму і вібрації потрібно встановити в приміщенні вентиляцію, кондиționери, звукоізолюючі кожухи, екрани, стіни, перетинки, які виготовляють із щільного матеріалу.

Також для працівників повинні проводитись всі потрібні інструктажі і навчання з охорони праці, повинен бути журнал з проведення інструктажів, з відповідними замітками.

Всяке порушення аналітичної цілості організму або його функцій внаслідок дії на людину, дії будь-якого небезпечного фактора визначається як травма.

Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що їх можна поділити на групи, які:

- характеризують стан або рівень безпеки виробничого обладнання або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретного вузла чи машини;
- спонукають працюючого допускати помилки у процесі роботи, низька кваліфікація працюючого та рівень знань з охорони праці;
- створюють можливість проникнення працюючого у небезпечну зону в наслідок відсутності відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці, та інші.

У розділі охорони праці представлений аналіз загальних питань охорони праці, розглянуто основні шкідливі фактори, що виникають в під час технологічного процесу та їх вплив на організм людини, запропоновано заходи для забезпечення нормальних умов праці:

- 1) для забезпечення безпеки обладнання запропоновані захисні і огорожувальні пристрої;
- 2) для виключення ураження електричним струмом необхідно застосування заземлюючих пристроїв;
- 3) для захисту від небезпечних хімічних речовин – використання спеціального захисного одягу;
- 4) для зменшення запиленості – використання вентиляції, для зменшення шуму і вібрацій – звукоізолюючі засоби.

4.3. Техніко-економічне обґрунтування розробки

Результати досліджень процесу сепарації компонентів зернового матеріалу на повітряно-гравітаційному сепараторі для очищення зерна свідчать про можливість його використання для очищення зерна від великих, дрібних і легких домішок. За один прохід матеріалу через повітряно-гравітаційний сепаратор можуть бути виділені одночасно легкі, дрібні і великі домішки.

Нижче дана техніко-економічна оцінка застосування повітряно-гравітаційного сепаратора для очищення зерна від легких, дрібних і великих домішок при продуктивності 10 т/год.

Повітряно-гравітаційний сепаратор для очищення від великих, дрібних і легких домішок забезпечує виділення 79-96% ефективності очищення зерна від великих, дрібних і легких домішок

Розрахунок галузевої собівартості повітряно-гравітаційного сепаратора для очищення зерна для очищення зерна від великих, дрібних і легких домішок визначали:

$$C_0 = \lambda \frac{100 \cdot M_0}{q \cdot k_y} + d_c, \quad (4.1)$$

де M_0 – загальна вартість сепаратора без покупних виробів, грн.;

d_c – вартість покупних виробів і деталей з додаванням витрат на транспортно-заготівельні витрати, грн.;

λ – коефіцієнт конструктивної складності нової машини в порівнянні з аналогічними за технологією серійними машинами [34].

q – питома вага витрат на матеріали в собівартості машини без покупних виробів даної або аналогічної групи, %: $q = 54\%$ [34];

k_y – коефіцієнт зміни питомої ваги матеріалів в залежності від масштабу виробництва:

$$k_y = 0,6586 + 0,037x - 0,00035x^2, \quad (4.2)$$

де x – масштаб виробництва, тис. штук на рік.

Масштаб виробництва зерноочисних машин продуктивністю 10 т/год становить 2,5 тис. штук на рік: $k_y = 0,749$ [34].

Транспортно-заготівельні витрати становлять 7% від вартості покупних виробів і деталей.

Частка покупних виробів в собівартості повітряно-гравітаційного сепаратора для очищення зерна становить від 21% до 30%, при цьому галузевий норматив рентабельності приймаємо 10%.

Річне виробництво машини:

$$W_r = W \cdot t_r \cdot K, \quad (4.3)$$

де W – продуктивність машини за годину;

$t_r = 260$ год. – річне завантаження зерноочисної машини [34];

K – коефіцієнт використання робочого часу $K = 0,95$ [34].

Експлуатаційні витрати обчислюють для кожної з порівнюваних машин за формулою:

$$B = Z + E + A + R + Z_x \quad (4.4)$$

де Z – зарплата робітників, що припадає на одиницю роботи;

E – вартість електроенергії за одиницю роботи;

A – амортизаційні відрахування на реновацію на одиницю роботи;

R – витрати на ремонт і технічний догляд на одиницю роботи;

Z_x – витрати на зберігання зерна.

Повітряно-гравітаційний сепаратор:

$$B = 3,55 + 0,005 + 0,07 + 0,07 + 0,05 = 3,75$$

Питомі капіталовкладення на одиницю роботи визначаються:

$$K = \frac{\Pi_6}{W \cdot t_r \cdot K}, \quad (4.5)$$

Приведені витрати на одиницю роботи визначаються за формулою:

$$J = B + B_3 \quad (4.6)$$

де B_3 – питомі витрати по втратах повноцінного зерна.

Питомі витрати по втратах повноцінного зерна визначаються за формулою:

$$B_3 = \frac{\Pi_3 \cdot \Pi_3}{100}, \quad (4.7)$$

де Π_3 – втрати зерна у відходи, %;

Π_3 – ціна зерна, грн./т.

Річний економічний ефект від впровадження нової машини визначається:

$$E_P = ((J_C + E_{\text{нор}} \cdot K) - (J_H + E_{\text{нор}} \cdot K)) \cdot W \cdot t_z \cdot K, \quad (4.8)$$

де J_C – приведені витрати на одиницю роботи по старій машині;

J_H – приведені витрати на одиницю роботи по новій машині;

$E_{\text{нор}}$ – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладення становить 0,15.

Результати розрахунку представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Основні техніко-економічні показники

Показники	Нова машина Повітряно- гравітаційний сепаратор для очищення зерна	Базова машина Комбінований сепаратор
Балансова вартість, грн.	72000	105000
Річне напруження, т.	2470	2470
Витрати на заробітну плату, грн./г	3,55	3,55
Витрати на електроенергію, грн./т	0,005	0,015
Амортизаційні відрахування на реновацію, грн./т	0,07	0,13
Витрати на ремонт та технічне обслуговування, грн./т	0,07	0,14
Експлуатаційні витрати, грн./т	3,75	3,88
Питомі капіталовкладення, грн./т	57,26	104,06
Питомі витрати на зберігання зерна, грн./т	0,05	0,05
Приведені витрати, грн./т	3,75	7,76
Річний економічний ефект, грн.	20250	—
Економія капіталовкладень, грн.	65650	—

Річний економічний ефект від впровадження у виробництво повітряно-гравітаційного сепаратора для очищення зерна продуктивністю 10 т/год складе більше 20 тис. грн.

Висновки

Проведена екологічна експертиза свідчить, що запропонована конструкція повітряно-гравітаційного сепаратора для очищення зернової маси є безпечною для навколишнього середовища.

Виконано аналіз умов виникнення і розвитку травм і аварій, для їх усунення запропоновані наступні заходи: встановлення захисних щитків, блокуючих приладів, заземлення при роботі з металообробними верстатами, використання спецодягу для приготування технологічних розчинів, проведення регулярних інструктажів з техніки безпеки.

Річний економічний ефект від впровадження у виробництво повітряно-гравітаційного сепаратора для очищення зерна продуктивністю 10 т/год складе більше 20 тис. грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Повітряно-гравітаційний сепаратор дозволяє збільшити ефективність очищення зерна від дрібних і великих домішок на 6 – 13% за рахунок розподілу зернового матеріалу на дві фракції в блоці попереднього розподілу і зниження питомого навантаження на гребінки.

2. Обґрунтовано основні параметри повітряно-гравітаційного сепаратора для очищення зерна продуктивністю 10 т/год·м, в якому є приймальне решето, пневмоканал, блок попереднього розподілу зернового матеріалу і дві колонки, всередині яких встановлені каскади гребінок. Кількість перегородок в пневмоканалі 2 шт.; висота перегородок 250 мм; швидкість повітряного потоку – 5,4 м/с. Кількість сепаруючих гребінок в блоці попереднього розподілу 3 шт., що мають зазор між прутами 3,3 мм; кут нахилу сепаруючих гребінок до горизонту в блоці попереднього розподілу 36°; кількість гребінок в правій колонці 6 шт. для виділення великих домішок, що мають зазор між прутами 4 мм.

3. Річний економічний ефект від впровадження у виробництво повітряно-гравітаційного сепаратора для очищення зерна продуктивністю 10 т/год складе більше 20 тис. грн.