

Центральноукраїнський національний технічний університет

Агротехнічний факультет

Кафедра сільськогосподарського машинобудування

“Допущено до захисту”

Зав. кафедрою СГМ

к.т.н., професор

_____ Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

« ____ » _____ 2025 р

ДИПЛОМНА РОБОТА

**за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:**

«Механізація вирощування ріпаку з дослідженням та розробкою
пневмокамери сепаратора САД-10»

Виконав здобувач вищої освіти II курсу,
групи АІ-24М-1

ОПП «Агроінженерія»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

_____ Філіпов Павло Павлович

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи

доцент, канд. техн. наук

_____ Олександр НЕСТЕРЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент

професор, докт. техн. наук

_____ Ігор ШЕПЕЛЕНКО

« ____ » _____ 2025 р.

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет: АГРОТЕХНІЧНИЙ

Кафедра: СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

Рівень вищої освіти: МАГІСТР

Галузь знань: «СІЛЬСЬКЕ, ЛІСОВЕ, РИБНЕ ГОСПОДАРСТВО ТА
ВЕТЕРИНАРНА МЕДИЦИНА»

Освітньо-професійна програма: Н7 «АГРОІНЖЕНЕРІЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____Олексій ВАСИЛЬКОВСЬКИЙ

«_____» _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ НА ВИПУСКНУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА

Філіпова Павла Павловича

1. Тема роботи: «Механізація вирощування ріпаку з дослідженням та розробкою пневмокамери сепаратора САД-10»
2. Керівник роботи: Нестеренко О.В., канд. техн. наук, доцент
3. Строк подання студентом роботи до захисту: 26.12.2025 року
4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи: вдосконалення технології вирощування ріпаку шляхом підвищення ефективності його післязбирального очищення пневмосепаратором САД-10
5. Перелік ілюстративного матеріалу 1. Огляд пневмосистем сепараторів; 2. Об'єкт досліджень; 3. Операційно-технологічна карта післязбирального очищення насіння ріпаку; 4. Функціональна схема САД-10; 5. Аналіз теоретичних досліджень; 6. Результати експериментальних досліджень.
7. Складальне креслення та деталювання

АНОТАЦІЯ

Тема: «Механізація вирощування ріпаку з дослідженням та розробкою пневмокамери сепаратора САД-10»

Ключові слова: пневмосепаратор; насіння ріпаку; розподільник зернового матеріалу;

В дипломній роботі вдосконалено технологію вирощування насіння ріпаку шляхом підвищення ефективності післязбирального очищення та модернізації повітряної камери сепаратора САД-10.

Проведений огляд пневмосистем сепараторів з горизонтальними каналами, означено їх переваги та недоліки та обґрунтовано напрямки підвищення ефективності їх роботи.

Теоретично та експериментально обґрунтовані основні конструктивні та режимні параметри пневмосистеми сепаратора, які дозволяють отримати високу ефективність виділення легких домішок при підготовці насінєвого матеріалу.

На основі експериментальних досліджень розроблені креслення вузла та деталей пневмосистеми сепаратора.

ABSTRAKT

Topic: «Mechanization of rapeseed cultivation with research and development of the pneumatic chamber of the separator SAD-10»

Key words: pneumatic separator; rapeseed; grain material distributor

In the thesis, the technology of growing rapeseed was improved by increasing the efficiency of post-harvest cleaning and modernizing the air chamber of the SAD-10 separator. A review of pneumatic systems of separators with horizontal channels was conducted, their advantages and disadvantages were identified, and directions for increasing the efficiency of their work were substantiated.

The main design and operating parameters of the separator pneumatic system were theoretically and experimentally substantiated, which allow for high efficiency of separation of light impurities during the preparation of seed material.

Drawings of the unit and parts of the separator pneumatic system were developed based on experimental studies.

Зміст

1. Вступ.....	6
2. Стан технології післязбирального очищення ріпаку в господарстві та обґрунтування напрямку досліджень.....	7
3. Наукова частина	24
4. Практична реалізація результатів досліджень пневмосепаратора САД-10...	44
5. Охорона праці.....	49
6. Загальні висновки.....	51
Список використаних джерел.....	52
Додатки.....	54

1. ВСТУП

Впродовж останніх десятиліть ріпак є одною з базових олійних культур у структурі аграрного виробництва України та багатьох країн світу.

Його продукція активно використовується в харчовій промисловості, тваринництві, фармацевтиці, хімічній галузі, а також у виробництві біопалива [1]. Стабільне зростання попиту на насіння ріпаку зумовлює підвищені вимоги не лише до обсягів його виробництва, а й до якості готової продукції, що значною мірою формується саме на етапі післязбиральної обробки.

Післязбиральне очищення насіння є одним із найбільш відповідальних технологічних процесів, оскільки від його ефективності залежить схожість, збереження товарних властивостей, якість зберігання та відповідність насіння встановленим стандартам [2, 3].

У виробничих умовах для очищення дрібнонасінних культур широке застосування отримали пневмосепаратори різних конструктивних схем, серед яких використовується і пневмосепаратор САД-10.

Специфічні фізико-механічні властивості ріпаку, зокрема малі розміри, незначна маса та висока засміченість вороху, істотно ускладнюють процес його очищення і потребують застосування сучасних технологічних рішень на основі пневмосепарації.

Разом із тим, практика експлуатації даного обладнання свідчить про наявність ряду недоліків, пов'язаних із нестабільністю параметрів повітряного потоку, нерівномірністю процесу розділення та зниженням якості сепарації за зміни вологості й засміченості насінневого матеріалу. У зв'язку з цим виникає нагальна потреба у вдосконаленні конструкції пневмосепаратора.

Актуальність теми магістерської роботи визначається необхідністю підвищення ефективності післязбирального очищення ріпаку, зменшення технологічних втрат, покращення якісних показників насіння та зниження енергоємності технологічних процесів.

Дипломна робота спрямована на підвищення ефективності післязбирального очищення насіння ріпаку шляхом модернізації пневмосистеми сепаратора САД-10.

2. СТАН ТЕХНОЛОГІЇ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОГО ОЧИЩЕННЯ РІПАКУ В ГОСПОДАРСТВІ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Загальна характеристика ріпаку та його технології вирощування

Ріпак (рис. 2.1) належить до стратегічно важливих олійних культур, оскільки характеризується високим вмістом олії та білка. Насіння озимого ріпаку містить у середньому 40–50% олії, ярого – до 30%, а також значну частку білкових речовин і клітковини [1, 4]. Завдяки такому хімічному складу ріпак має високу кормову цінність. Його зелена маса використовується для годівлі великої рогатої худоби, силосування та виготовлення трав'яного борошна.

Найбільша поживність відмічається на стадії бутонізації – початку цвітіння, коли 1 кг зеленої маси містить близько 0,08 кормових одиниць.

Ріпак є високоефективним попередником для озимої пшениці та інших зернових культур. Включення його у сівозміну сприяє зниженню ураженості рослин корневими гнилями та плямистостями на 15–20%, оскільки кореневі рештки ріпаку виявляють пригнічувальний ефект на ряд збудників. Крім того, посів ріпаку як сидерата підвищує вміст органічної речовини в ґрунті, що еквівалентно внесенню 10–15 т/га гною [5].



Рис. 2.1 Зовнішній вигляд ріпака

Крім того, ріпак є цінною медоносною культурою – з одного гектара посівів можна отримати близько 100 кг меду. Він не спричиняє надмірного висушування ґрунту та характеризується раннім звільненням поля, що робить його одним із найкращих попередників для озимих і ярих зернових культур [5].

Ріпакова олія має широке застосування у харчуванні населення, а також використовується у кондитерській, консервній та інших галузях харчової промисловості. Олія, отримана зі звичайних сортів озимого ріпаку, придатна до споживання лише після рафінування.

За наявності родючих ґрунтів озимий ріпак характеризується високою продуктивністю. Середній рівень урожайності в сучасних умовах досягає 2,0–2,5 т/га, а рентабельність вирощування може наближатися до 40 %, що свідчить про економічну доцільність цієї культури [1, 4, 5].

Також значними є показники врожаю зеленої маси – до 90 т/га, а за сприятливих умов окремі сорти здатні формувати 100–120 т/га [4, 5]. Раннє використання зеленої маси робить озимий ріпак важливою культурою також для тваринництва.

Проростання насіння озимого ріпаку спостерігається вже за температури 1–3 °С, а сходи характеризуються достатньою стійкістю до весняних заморозків. Разом із тим культура є дуже чутливою до нестачі вологи та погано переносить посушливі умови, що може призводити до зниження врожайності до 50 % [1, 4].

Також ріпак потребує підвищені вимоги до якості ґрунтів. Найбільш придатними є ґрунти з високим рівнем забезпеченості поживними речовинами та слабокислою або нейтральною реакцією середовища. У разі вирощування на перезволожених ділянках із близьким заляганням ґрунтових вод існує загроза загнивання кореневої системи та істотних втрат урожаю.

2.1.1 Агротехнічні вимоги

Озимий ріпак є холодостійкою культурою і здатний витримувати значні зниження температури: до –30 °С під сніговим покривом та –15...–18 °С за його відсутності [4, 5]. Разом з тим культура чутлива до перепадів температури та

весняних заморозків, що можуть пошкоджувати бруньки і суцвіття. Стійкість рослин до низьких температур значною мірою визначається вологою ґрунту: на перезволожених ґрунтах рослини гинуть навіть при $-6...-8$ °С.

Насіння ріпаку проростає вже за $+2$ °С, а оптимум становить $15-18$ °С. Для появи дружних сходів потрібна сума температур $60-90$ °С [4, 5]. Культура належить до вологолюбних і потребує $500-700$ мм опадів за рік. Найкритичнішими щодо водозабезпечення є фази стеблуння, бутонізації та наливання стручків. Дефіцит вологи в цей період призводить до осипання бутонів і зниження врожаю.

Найкращі результати ріпак демонструє на родючих ґрунтах зі слабокислою або нейтральною реакцією, добрим водно-повітряним режимом і легким або середнім механічним складом.

2.2. Інтенсивна технологія вирощування ріпаку

Інтенсивна технологія вирощування ріпаку побудована на оптимальному використанні природних, матеріально-технічних та фінансових ресурсів із метою забезпечення рослин усіма необхідними факторами росту. Такий підхід включає три ключові складові: технологічну, технічну та економічну.

Проектуючи технологію вирощування озимого ріпаку, особливу увагу слід приділяти вибору попередників. Вони мають бути ранньостиглими, щоб забезпечити своєчасну підготовку ґрунту до сівби.

Правильне чергування культур- один із головних чинників стабільного врожаю. У спеціалізованих ріпакових сівозмінах частка ріпаку може бути від 20 до 25% [4, 5]. Повернення на попереднє місце допускається не раніше ніж через $4 - 6$ років, що зменшує ризик накопичення збудників фомозу, альтернаріозу, пероноспорозу, різних гнилей та шкідників [4, 5].

Найкращими попередниками вважаються бобові й багаторічні трави, соняшник, кукурудза на силос, озиме жито, картопля, тритікале, коріандр.

Ріпак досить інтенсивно споживає елементи живлення з ґрунту, тому технологія його вирощування передбачає суворе дотримання системи удобрення.

Восени доцільно вносити органічні добрива в дозі 30–60 т/га перегною, а також 45–60 кг/га мінеральних добрив. Основну роль у формуванні врожаю відіграє азот. Навесні рекомендовано вносити близько 90 кг/га азотних добрив з подальшим підживленням у дозі близько 30 кг/га [4, 5].

Основний обробіток ґрунту під озимий ріпак включає лущення стерні, проведення оранки та поверхневий обробіток за напівпаровою схемою. Передпосівний обробіток спрямований на максимальне збереження вологи.

Боронування виконують у ранні строки. На важких та сильно забур'яненних ґрунтах культивуацію проводять на глибину 5–8 см. У посушливих умовах перед сівбою доцільно застосовувати ущільнення ґрунту кільчастими або кільчасто-шпоровими котками.

Перед висівом насіння обов'язково протруюють з метою захисту від шкідників і хвороб, використовуючи препарати з концентрацією 80 % у дозі близько 2 кг/т [4, 5].

Сівбу здійснюють рядковими сівалками типу СЗФ-4000 -V та аналогами з нормою висіву 12–15 кг/га, а при широкорядному способі – 6–8 кг/га. Глибина загортання насіння зазвичай становить 2–3 см, а за недостатньої вологості верхнього шару ґрунту її збільшують до 4–5 см. Для контролю бур'янів застосовують 25 %-й розчин гербіцидів, який вносять під час культивуації в нормі 2,4–6 л/га з заробкою на глибину 6–8 см [4, 5].

У разі утворення ґрунтової кірки до появи сходів проводять боронування впоперек рядків. Догляд за посівами включає міжрядні обробітки, підживлення, захист від бур'янів, шкідників і хвороб. Першу міжрядну культивуацію виконують у фазі 2–3 листків на глибину 5–8 см із дотриманням захисної зони, другу – на глибину 10–12 см. Для знищення шкідників застосовують обприскування 50 %-м розчином препарату з витратою 0,6–0,8 л/га [4, 5].

Збирання ріпаку здійснюють прямим комбайнуванням або роздільним способом. Роздільне збирання застосовують за нерівномірного дозрівання, коли частина стручків залишається зеленою. У фазі жовто-зелених стручків

(вологість насіння 30–33%) рослини скошують у валки, які обмолочують через 5–8 днів, коли вологість насіння знижується до 10–12% [4, 5].

2.2.1 Технологія обробки ґрунту при вирощуванні ріпаку

Одним із найбільш результативних шляхів отримання стабільно високих врожаїв ріпаку є впровадження інтенсивних технологій його вирощування. За таких умов у більшості господарств використовується традиційний комплекс основного обробітку ґрунту, проте дрібне насіння культури потребує особливо ретельного вирівнювання поверхні поля.

Під час виконання поверхневих операцій для створення рівного ґрунтового фону застосовують агрегати для вирівнювання поля. Крім вирівнювання, такий обробіток сприяє руйнуванню ґрунтової кірки й частковому знищенню бур'янів [4, 9]. Передпосівну культивуацію проводять комбінованими агрегатами Lemken smaragd (рис. 2.1), дотримуючись глибини, яка відповідає майбутньому загортанню насіння.



Рис. 2.1 Комбінований агрегат Lemken smaragd

У технології вирощування озимого ріпаку все більше поширюється застосування агрегатів комбінованого типу. Їх використання дозволяє за один прохід виконувати кілька операцій, що суттєво скорочує загальну кількість польових робіт, економить паливо та забезпечує якісну підготовку ґрунту. За потреби додаткового ущільнення площ, відведених під ріпак, у технологічний процес включають прикочування кільчасто-шпоровими котками.

Стерньові рештки після збирання попередника луцять у максимально стислі строки, щоб зберегти вологу та стимулювати проростання бур'янів. Це полегшує їх подальше знищення, сприяє рівномірному розподілу поживних залишків і створює сприятливі умови для якісного основного обробітку. Для таких операцій використовують трактори Т-150К, МТЗ-100, МТЗ-82 у комплекті з дисковими боронами ДАН-2,5 (рис. 2.2) [4, 9].



Рис. 2.2 Борона дискова навісна ДАН 2.5

Інтенсивна технологія вирощування ріпаку передбачає застосування орних агрегатів з додатковими пристосуваннями для обробки ґрунту. У господарстві використовують плуги ПЛН-5-35 у агрегуванні з тракторами Т-150К, а також плуги ПЛН-3-35 у комплекті з тракторами ЮМЗ-6. За необхідності додаткового розпушування застосовують борони БЗСС-1,0 [4, 9].

2.2.2 Система удобрення озимого ріпаку

Ріпак добре реагує на збалансоване мінеральне живлення. Азот визначає інтенсивність росту та рівень урожайності, але його надлишок спричиняє переростання рослин і погіршення їх зимостійкості. Фосфор сприяє розвитку кореневої системи та прискоренню дозрівання, а калій підвищує вміст олії, масу 1000 насінин та загальну стійкість рослин [4, 9].

Важливу роль відіграють мікроелементи - бор, молібден, марганець, цинк, мідь, які забезпечують повноцінні обмінні процеси та посилюють імунітет рослин.

Органічні добрива вносять під попередник, оскільки безпосереднє внесення гною перед сівбою ріпаку здатне спричинити значне засмічення поля.

2.2.3. Сівба озимого ріпаку

Перед висівом насіння обов'язково протруюють, щоб запобігти передачі збудників хвороб. Обробка виконується у два прийоми: перший – приблизно за місяць до посіву, другий – за 1–7 днів до початку сівби [4, 9].

Для забезпечення дружних та рівномірних сходів застосовують спеціалізовані сівалки: зерно-ріпакову пневматичну СПР-6, а також сівалки СЗТ-5,4, СЗФ-4000-V (рис. 2.3), та подібні моделі. У досліджуваному господарстві використовують зернову сівалку СЗФ-4000-V, агреговану з тракторами МТЗ-80, МТЗ-82.



Рис. 2.3 Зернова сівалка СЗФ-4000-V компанії «Favorit»

Щоб врожай встиг дозріти у встановлені строки, строки посіву регламентуються – ріпак висівають за 2–3 дні до початку передбачуваного оптимального періоду.

2.2.4. Догляд за посівами ріпаку

Після завершення сівби у більшості регіонів України проводять коткування посівів. Якщо ріпак висіяний широкорядним способом, то восени, а також навесні виконують міжрядні обробітки просапними культиваторами.

Ущільнення посівів здійснюють котками ЗКК-6А. Для руйнування ґрунтової кірки використовують борони БЗТ-1,0. Міжрядний обробіток, підживлення та захист рослин проводять культиваторами ALTAIR 5,6-04 (рис. 2.4) [4, 9].



Рис. 2.4. Просапний культиватор ALTAIR 5,6-04 (КРНВ-5,6-04)

2.2.5. Захист озимого ріпаку

Бур'яни істотно знижують продуктивність ріпаку, особливо на початкових етапах розвитку. За щільності 20 рослин/м² втрати врожайності ярого ріпаку становлять у середньому 2,3 ц/га, а подальше збільшення забур'яненості може зменшити врожай на 25–30% [4, 9].

Хімічний захист здійснюють обприскувачами типу ОПШ-2000 та аналогічними машинами (рис. 2.5).



Рис. 2.5 Причіпний обприскувач Tetis-24 «ELVORTI»

Озимий ріпак має вищу конкурентоспроможність порівняно з більшістю культур, однак це не виключає необхідності застосування інтегрованої системи захисту, яка включає: агротехнічні прийоми, гербіциди ґрунтової та страхової дії, інсектициди, фунгіциди, профілактичні заходи у сівозміні.

Озимий ріпак здатний пригнічувати бур'яни, проте ця властивість проявляється переважно у другій половині вегетації, коли формується потужна коренева система. На ранніх етапах розвитку бур'яни можуть значно знижувати урожайність, тому важливим залишається ефективний основний обробіток ґрунту та застосування гербіцидів.

2.2.6. Збирання ріпаку

Збирання ріпаку здійснюють прямим комбайнуванням або роздільним способом. Роздільне збирання застосовують за нерівномірного дозрівання, коли частина стручків залишається зеленою. У фазі жовто-зелених стручків (вологість насіння 30–33%) рослини скошують у валки, які обмолочують через 5–8 днів, коли вологість насіння знижується до 10–12% [4, 9].

Процес збирання ріпаку ускладнений через дрібність насіння, висоту рослин, сильне розгалуження та нерівномірне дозрівання, що може призводити до значних втрат.

У господарстві збирання проводять комбайном CLAAS LEXION з жаткою VARIO (рис. 2.6).



Рис. 2.6. Збирання ріпаку комбайном CLAAS LEXION з жаткою VARIO

Застосування спеціальних приставок для збирання дрібнонасінних культур суттєво зменшує втрати та знижує пошкодження насіння. Роздільне збирання дає змогу істотно підвищити повноту збору врожаю та мінімізувати обсіпання.

2.7. Післязбиральна обробка насіння

Післязбиральну обробку насіння ріпаку проводять у стислі строки, оскільки воно має підвищену вологість і містить також значні домішки насіння бур'янів, що призводить до швидкого самозігрівання і його псування.

Для цього застосовують комплекси типу ЗАВ-20, ОВП-20А та інші. На етапі первинного очищення необхідно видалити щонайменше 50% домішок при мінімальних втратах повноцінного насіння [12, 13].

Вторинне очищення у господарстві здійснюють на сепараторі САД-10. На цей етап надходить матеріал з вологістю не більше 11% та засміченістю до 14% [17]. Посівний матеріал ріпаку потребує вторинної очистки і сортування на машинах САД-10; «Петкус-Гігант К-531».

Після очищення насіння просушують, використовуючи установки активного вентилявання, бункери активного вентилявання, екранні або шахтні сушарки.

Сушіння є важливою операцією, що забезпечує зберігання насіння. Найоптимальніший варіант – сушіння в каскадних або шахтних сушарках. За один цикл сушарки допустимий вологоз'єм становить 5–8%. Якщо потрібно знизити вологість сильніше, проводять повторне сушіння з технологічними перервами на вирівнювання температури й вологості.

2.8. Операційна технологія післязбиральної очищення насіння ріпаку.

Визначаємо етапи післязбирального очищення насіння ріпаку на зерновому комплексі ЗАВ-20

Відомості про кількісний та якісний склад насіння ріпаку:

Призначення – посівний матеріал;

Засміченість домішками:

- сміттєвими – 10%

- зерновими - 8%

Вологість насіння ріпаку – 16%

Технічна характеристика засобів для післязбирального очищення
насіння ріпаку

Таблиця 2.1

машина	Назва операції	продуктивність		Кіл-ть машин, шт.	добова продуктивність, т/зміну.
		т/год.	т/зм.		
1	2	3	4	5	6
Комплекс ЗАВ-20	Попередня сепарація	20	400	1	400
Сушарка	Сушіння	4	80	1	80
ОВС-25	Первинна обробка	12	96	1	96
САД-10	Вторинна обробка	5	40	2	40

1. Визначаємо нормозміни при збиранні озимого ріпаку:

$$t_{зб} = \frac{S}{C_k \cdot P_p} \quad (2.1)$$

де S – площа поля при вирощуванні ріпаку, га;

C_k – кількість комбайнів при збиранні ріпаку, шт.;

P_p – змінна продуктивність збирання ріпаку, га/доб.

$$t_{зб} = \frac{70}{1 \cdot 20} = 3,5 \text{ норм.}$$

2. Визначаємо добове надходження насіння ріпаку на тік господарства, т:

$$m_{pin} = C_k \cdot P_p \cdot U_p \quad (2.2)$$

де U_{pin} – планова врожайність ріпака, т/га.

$$m_{pin} = 1 \cdot 20 \cdot 3,6 = 72 \text{ т/доб}$$

3. Виконуємо визначення добової продуктивності комплексу, враховуючи тривалість кожної технологічної операції та зміни маси насіння ріпаку після їх виконання.

Додатково необхідно встановити операції, що обмежують максимальну добову продуктивність комплексу.

Визначаємо тривалість етапу первинного очищення насіння озимого ріпаку.

$$t_{перв} = \frac{m_{pin}}{P_{ек}} K_n \quad (2.3)$$

де $P_{ек}$ – продуктивність сепаратора при первинній обробці, т/год.;

K_n – коефіцієнт, що враховує робочий час зміни, $K_n = 0,8$.

$$t_{опв} = \frac{72}{17,4} \cdot 0,8 = 3,3 \text{ год}$$

Експлуатаційну продуктивність сепаратора розраховуємо за формулою:

$$P_{екс} = P_n \cdot K_{тех} \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (2.4)$$

де P_n – величина паспортної продуктивності сепаратора, т/доб.;

$K_{тех}$ – коефіцієнт, який враховує технологічні характеристики насіння ріпаку $K_{тех} = 0,7$;

K_1 і K_2 – коефіцієнти, що враховують параметри вологості та засміченості насіння ріпаку, $K_1 = 1$, $K_2 = 0,98$.

$$P_{екс} = 25 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 0,98 = 17,4 \text{ т/год}$$

4. Очищення насіння ріпаку оцінюють за двома основними параметрами - кількістю видалених домішок та рівнем втрат кондиційного насіння. Ці показники визначені агротехнічними нормами. Для стадії попереднього очищення встановлені такі вимоги: ефективність видалених домішок має становити не менше ніж 50%, а показник чистоти сепарації - не

перевищувати 2% [13]. Відповідно, зменшення вихідної маси насіння ріпаку після виконання первинної обробки становитиме, т:

$$N_{перв} = m_{\Sigma pin} - \left(m_{см} \cdot \frac{\%_{нсм}}{100} + m_{н.р.} \cdot \frac{\%_{н.р.}}{100} \right), \quad (2.5)$$

де $m_{\Sigma pin}$ – маса ріпаку, яку необхідно обробити, т;

$m_{см}$ – маса сміттєвих домішок в вихідному матеріалі ріпаку, т;

$$m_{см} = m_{\Sigma ріп} \cdot \frac{\%_{см}}{100} = 245 \cdot \frac{8}{100} = 19,6 \text{ т}$$

$\%_{см}$ – відносна маса сміттєвих домішок в вихідному матеріалі ріпаку, %;

N_{pin} – маса ріпаку в вихідному матеріалі,

$$m_{зерн} = m_{\Sigma вор} - m_{дом} = 245 - 19,6 = 225,4 \text{ т}$$

$\%_{втр}$ – втрати насіння ріпаку відповідно до агротехнічних вимог, %;

$$N_{перв} = 245 - \left(19,6 \cdot \frac{50}{100} + 225,4 \cdot \frac{2}{100} \right) = 231 \text{ т}$$

Втрату вологості після попередньої сепарації визначаємо за формулою:

$$W_{перв} = W_{pin} - \frac{m_{нсм} \cdot W_{см}}{N_{перв}}, \quad (2.6)$$

де W_{pin} – вологість ріпаку, яка потрапляла на сушку, %;

$m_{нсм}$ – масова частка в ріпаку після попередньої обробки, т;

$W_{см}$ – вологість домішок в вихідному матеріалі ріпаку, %.

$$W_{перв} = 16 - \frac{3 \cdot 245}{231} = 12,82\%$$

Визначаємо тривалість сушки насіння ріпака:

$$t_c = \frac{N_{перв}}{Пз.п \cdot K_{в.р.}}, \quad (2.7)$$

де $Пз.п$ – загальна продуктивність сушарки, т/год;

$K_{в.р.} = 0,8$ – коеф. викор. робочого часу зміни.

$$t_c = \frac{231}{4 \cdot 0,8} = 72,1 \text{ год}$$

Розраховуємо масу ріпаку, яку отримали після сушки:

$$m_{суш} = N_{перв} \frac{100 - W_{перв}}{100 - W_{суш}}, \quad (2.8)$$

де $W_{суш}$ – вологість ріпаку після сушки, %.

$$m_{с2} = 231 \frac{100 - 12,82}{100 - 12} = 228 \text{ т}$$

Визначаємо час первинної обробки ріпаку:

$$t_{I.обр} = \frac{m_{с2}}{P_{енс.I}} K_{I.вик}, \quad (2.9)$$

де $P_{енс.I}$ – експлуатаційна продуктивність сепаратора при первинній обробці, т/год;

$$P_{екс.I} = P_{сеп} \cdot K_{особ} \cdot K_{вол} \cdot K_{засм}, \quad (2.10)$$

де $P_{сеп}$ – вихідна продуктивність сепаратора при первинній обробці, т/год;

$K_{особ}$ – коефіцієнт, який враховує дрібнозернистість ріпаку, $K_{особ} = 0,7$;

$K_{вол}$ – коефіцієнт, який враховує вологість ріпаку, отриману після сушки
 $K_{вол} = 1$;

$K_{засм}$ – коефіцієнт, який враховує засміченість ріпаку при первинній обробці, $K_{засм} = 0,84$.

$$P_{екс.I} = 12 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 0,84 = 7,05 \text{ т/год}$$

$K_{вик.I}$ – коефіцієнт використання робочого часу при первинній обробці ріпаку, $K_{вик.I} = 0,74$.

$$t_{перв} = \frac{56}{7,05} = 8,02 \text{ год}$$

Розраховуємо масу ріпаку, яку отримали після первинної обробки:

$$N_I = m_{c2} - \left(m_{I_{cm}} \cdot \frac{\%_{I_{cm}}}{100} + m_{I_{pin}} \cdot \frac{\%_{I_{pin}}}{100} \right), \quad (2.11)$$

де $m_{I_{cm}}$ – маса сміттєвих домішок після попередньої обробки, т;

$$m_{I_{cm}} = m_{cm} \cdot \frac{\%_{I_{cm}}}{100} = 12 \cdot \frac{50}{100} = 6 \text{ т}$$

$\%_{I_{cm}}$ – відносна кількість сміттєвих домішок, які потрібно виділити при первинній обробці, %;

$M_{I_{pin}}$ – маса насіння ріпаку в вихідній суміші після попередньої обробки,

$$m_{I_{pin}} = m_{c2} - m_{I_{cm}} = 56 - 6 = 50 \text{ т}$$

$\%_{I_{don}}$ – допустима маса втраченого насіння при первинній обробці, %;

Зниження маси насіння ріпаку після первинного очищення визначається встановленими агротехнічними нормативами. Воно включає близько 60,0% вилучених сміттєвих домішок та не більше 2% допустимих втрат кондиційного насіння озимого ріпаку. За таких умов отримуємо:

$$M_{I_{pin}} = 50 - \left(6 \cdot \frac{60}{100} + 48,6 \cdot \frac{2}{100} \right) = 48,7 \text{ т}$$

Розраховуємо час необхідний для вторинної сепарації ріпака:

$$t_{II} = \frac{M_{II}}{P_{II_{екс}}} K_{II_{п}}, \quad (2.12)$$

де $P_{II_{екс}}$ – величина експлуатаційної продуктивності сепаратора САД-10 при вторинній обробці, т/год;

$$P_{II_{екс}} = P_n \cdot K_{екс} \cdot K_W \cdot K_{II_{cm}}, \quad (2.13)$$

$$P_{епо} = 10 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 0,97 = 6,8 \text{ т/год}$$

де $K_{II_{cm}}$ – коефіцієнт, що враховує засміченість сміттєвими домішками при вторинній обробці,

$$K_{II\text{ см}} = 1 - \frac{m_{\text{см}} - \left(m_{\text{см}} \cdot \frac{\%_{II\text{ см}}}{100} + m_{I\text{ pin}} \cdot \frac{\%_{II\text{ см}}}{100} \right)}{M_{I\text{ pin}}}, \quad (2.14)$$

$$K_{II\text{ см}} = 1 - \frac{14 - \left(14 \cdot \frac{50}{100} + 6 \cdot \frac{60}{100} \right)}{48,7} = 1 - \frac{2,8}{48,7} = 0,92$$

$K_{II\text{ вик}}$ – коефіцієнт використання робочого часу при вторинній сепарації,
 $K_{II\text{ вик}} = 0,74$.

$$t_{II} = \frac{48,7}{8,2} \cdot 0,74 = 5,9 \text{ год}$$

Розраховуємо масу ріпаку після проведення вторинної обробки:

$$M_{II} = M_I - \left(m_{I\text{ см}} \cdot \frac{\%_{II\text{ см}}}{100} + m_{I\text{ pin}} \cdot \frac{\%_{II\text{ pin}}}{100} \right), \quad (2.15)$$

де $m_{I\text{ см}}$ – маса сміттєвих домішок після первинної обробки, т;

$$m_{I\text{ см}} = m_{\text{см}} \cdot \frac{\%_{I\text{ см}}}{100} = 6 \cdot \frac{58}{100} = 3,48 \text{ т}$$

$\%_{II\text{ см}}$ – частка сміттєвих домішок, що повинні бути виділеними при вторинній обробці, %;

$M_{I\text{ pin}}$ – маса ріпака після первинної обробки,

$$m_{I\text{ pin}} = M_I - m_{I\text{ см}} = 48,7 - 3,48 = 45,22 \text{ т}$$

$\%_{I\text{ pin}}$ – допустима маса виділеного в відходи насіння при обробці, %;

Відповідно до агротехнічних нормативів, під час вторинного очищення необхідно забезпечити відбір близько 80,0% часток, а втрати кондиційного насіння озимого ріпаку не повинні перевищувати 2% [13].

Виходячи з цього:

$$M_{II} = 56 - \left(3,48 \cdot \frac{80}{100} + 45,22 \cdot \frac{2}{100} \right) = 52,32 \text{ т}$$

Для розрахунку якості сепарації ріпаку використовуємо наступну формулою:

$$E_{\text{ріп}} = \left(1 - \frac{m_{\text{II см}}}{m_{\text{см}}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{0,86}{14}\right) = 94\%$$

де $m_{\text{II см}}$ – маса сміттєвих часток в матеріалі після вторинної обробки, т;

$$m_{\text{II см}} = m_{\text{I см}} - m_{\text{I см}} \cdot \frac{\%_{\text{II см}}}{100} = 3,48 - 3,48 \frac{80}{100} = 0,7 \text{ т}$$

Аналіз отриманих технологічних розрахунків дає підстави стверджувати, що серед усіх етапів післязбиральної обробки насіння ріпаку саме стадія вторинної сепарації виступає основним обмежуючим фактором продуктивності процесу. Разом із тим застосування запропонованої технологічної схеми забезпечує вилучення приблизно 94% сміттєвих домішок, що повністю відповідає агротехнічним вимогам, встановленим для роботи сепаратора САД-10 під час вторинного очищення.

2.9. Контроль якісних характеристик при вторинному очищенні

Згідно з агротехнічними нормативами, ключовими критеріями оцінювання якості технологічного процесу на етапі вторинної сепарації виступають повнота видалення домішок, чіткість розподілу фракцій та рівень травмування насіння ріпаку під час його очищення.

Вимоги передбачають, що показник повноти виділення після повторної сепарації повинен становити не менше 99% [13]. Для визначення цього параметра застосовують парусний порційний класифікатор.

Методика контролю повноти виділення включає такі етапи:

- відбір та зважування проби очищеного насіння;
- фракційне розділення вибірки за допомогою класифікатора;
- визначення масової частки легкої фракції у відібраному зразку.

Перевірка чіткості сепарації проводиться аналогічним способом, також із використанням класифікатора. Вміст насіння ріпаку у легких та крупних домішках не повинен перевищувати 0,2 % [13].

На основі проведених технологічних розрахунків була сформована операційна карта вторинного очищення насіння ріпаку, яка подана у графічній частині роботи.

3. НАУКОВА ЧАСТИНА

3.1. Загальна характеристика роботи

Мета роботи: вдосконалення конструкції пневмокамери сепаратора САД-10 шляхом визначення раціональних параметрів розподільників зернового потоку для підвищення ефективності сепарації насіння ріпаку.

Основні задачі дослідження:

1. Провести огляд та аналіз пневмосистем та обґрунтувати напрямок вдосконалення сепаратора САД-10
2. Провести теоретичний аналіз процесу сепарації в пневмоканалі з розділювачами зернового потоку
3. Обґрунтування раціональних параметрів та режимів роботи сепаратора з розділювачами зернового потоку;

Предмет досліджень – живильник з розділювачами зернового потоку для введення насіння ріпаку в зону сепарації.

Об'єкт досліджень - процес пневмосепарації насіння ріпаку з розділювачами зернового потоку

3.2. Програма та методика експериментального дослідження

1. Визначення режимів вхідного зернового потоку насіння ріпаку залежно від конструктивних параметрів розподільників.
2. Обґрунтування раціональних параметрів струменевого живильника та проведення порівняльного аналізу роботи модернізованого і базового пневмосепаратора.

3.2. Огляд пневмосистем зерноочисних машин з горизонтальними каналами

Однією з ключових переваг горизонтальних повітряних каналів, або пневмокамер, є можливість сепарації зернового матеріалу на більше ніж дві фракції, як це відбувається у горизонтальних каналах, що забезпечує гнучкість технологічного процесу [3, 13]. Зазвичай такі машини застосовуються для вторинного очищення або для підготовки насінневого матеріалу високої якості.

Серед найбільш поширених моделей слід відзначити німецькі пневмосепаратори К-527А та К-525, що виготовляються компанією «Petkus» [15].

У моделі К-560 (рис. 3.1) передбачена додаткова сепараційна камера на початковому етапі, що підвищує ефективність взаємодії зернового матеріалу з повітряним потоком.

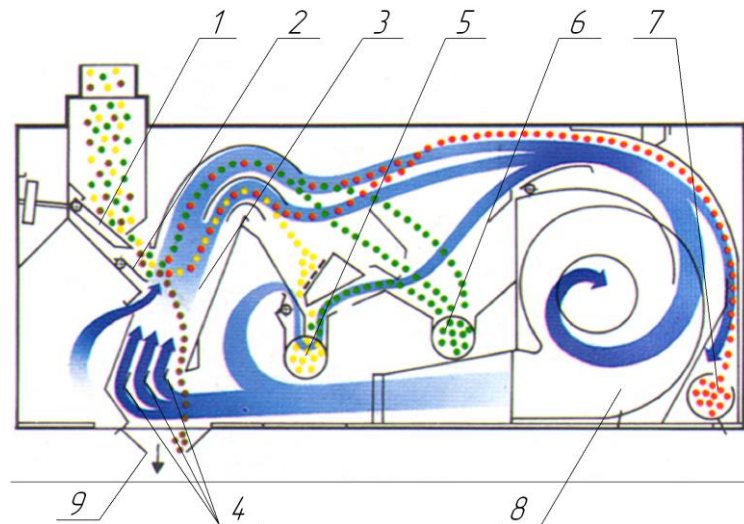


Рис. 3.1. Пневмо сепаратор К-560, «Petkus», Німеччина.

- 1 – притискний важіль; 2 – клапан- відбивач; 3 – пневмокамера;
 4 – напрямники повітряного потоку; 5 – приймач неповноцінного зерна;
 6 – приймач фуражного зерна; 7 – підсів; 8 – джерело повітряного потоку;
 9 – очищене зерно.

Німецька компанія «Harle» пропонує універсальні сепаратори з продуктивністю від 40 до 150 т/год (рис. 3.2), які забезпечують високий рівень очищення та калібрування зерна [3].

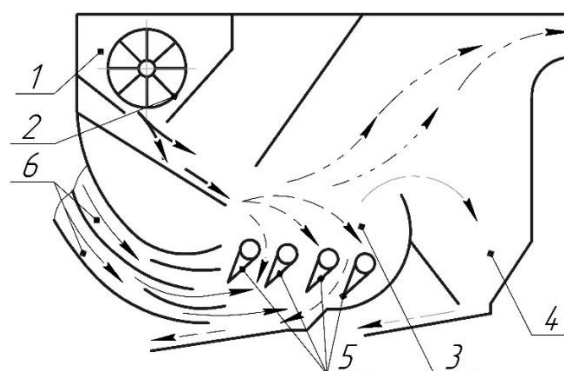


Рис. 3.2. Пневмо камера зерноочисної машини АКН 200.

- 1 – бункер зерна; 2 – живильний лоток; 3 - пневмокамера; 4 – осадова камера; 5 - направляючі лотки; 6 – пневмо канали.

У пневмосепараторі АКН-200 встановлені направляючі лопатки, що формують повітряні струмені в камері, покращуючи контакт повітряного потоку з зерном та забезпечуючи розділення на кілька фракцій.

Фракційна схема технологічного процесу передбачає поділ зерна на три основні групи, кожна з яких додатково очищується на коливальних решетах, що підвищує продуктивність решітної системи.

Сепаратор ІСМ, виготовлений Харківським заводом зерноочисного обладнання (рис. 3.3), належить до нового покоління безрешітних машин [16].



Рис. 3.3. Пневмо сепаратор ІСМ

Він ефективно відокремлює якісний насіннєвий матеріал від пошкодженого, підвищуючи схожість насіння до 98% та врожайність – до 30%. Конструктивною особливістю є використання силової установки на базі імплера, що дозволяє зменшити втрати потужності, скоротити енергоспоживання та спростити регулювання роботи обладнання.

Польський пневмосепаратор ALS (рис. 3.4) оснащений ефективною аеродинамічною системою з випрямляючим апаратом (статором), що забезпечує точне калібрування зернового матеріалу [18]. Крім того, в цій моделі передбачено пристрій для уловлювання пилоподібних домішок на виході з сепаратора, що покращує якість очищення.

Одна з ключових переваг сепаратора- спеціальна система вирівнювання повітряного потоку (straightening device), що дозволяє усунути турбулентність і неоднорідність повітряного струменя, характерну для стандартних impeller-систем. Це забезпечує точніше розділення зерна і домішок (за даними виробника, підвищення точності на 20–30%).



Рис. 3.4. Пневмо сепаратор ALS (Польща)

Сепаратор СОК-30, виготовлений Харківським заводом очисного обладнання (рис. 2.11), призначений для попереднього та первинного очищення зерна колосових, круп'яних і зернобобових культур, кукурудзи, сорго та соняшника від легких і дрібних домішок.

Сепаратор має можливість регулювання висоти вивантаження зерна до 4,3 м, що дозволяє подавати зерно безпосередньо у склад. Також підсушування насіння частково відбувається в процесі сепарації шляхом циркуляції теплого повітря, що позитивно впливає на зменшення вологості зерна [19].



Рис. 3.5. Пневмосепаратор СОК-30

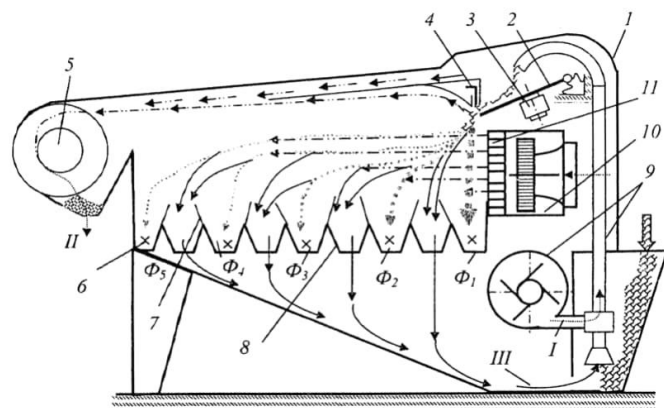
У даній моделі використовується лише пневмосепарація, що усуває необхідність застосування циклонно-осадових пристроїв і дозволяє експлуатувати її в закритих приміщеннях.

3.3. Опис об'єкта розробки та обґрунтування напрямів його модернізації

Пневмосепаратор САД-10 (рис. 3.6) належить до групи повітроочисних машин, що здійснюють відокремлення легких домішок із зернової сировини на основі різниці в їхніх аеродинамічних характеристиках [17]. Агрегат застосовується для первинного очищення насіння зернових, зернобобових, круп'яних культур та інших видів сільськогосподарської продукції з метою видалення небажаних домішок.



а)



б)

Рис. 3.6. Загальний вигляд зерноочисного комплексу САД – 10 (а) та технологічна схема пневмо сепаратора (б).

Сепаратор САД-10 набув широкого поширення як на великих елеваторних підприємствах, так і в фермерських господарствах, що займаються виробництвом товарного зерна. Його цінність полягає у здатності точно калібрувати зерновий матеріал за питомою масою, забезпечуючи однорідність фракцій на рівні $\pm 3\%$. Така точність дає можливість ефективно виділяти високоякісні зерна з підвищеним вмістом білка або клейковини.

Порівняно з іншими відомими сепараторами та калібрувальними пристроями, САД-10 демонструє вищі якісні показники сортування. Крім того, він характеризується простотою експлуатації та високою надійністю [17].

Особливістю агрегату є те, що процес підготовки насіння до висіву не потребує використання решітних систем, тоді як більшість пневмосепараторів працюють саме за принципом решітної класифікації.

Традиційний підхід до відбору посівного матеріалу – «крупніше зерно означає вищу якість» – часто не враховує ймовірність потрапляння пошкоджених чи порожніх насінин у фракції, що вважаються кондиційними. Застосування пневмосепарації у САД-10 дає змогу виділяти насіння з найкращими посівними характеристиками та отримувати однорідні фракції з високими показниками клейковини.

Сепаратор здійснює очищення та калібрування за один робочий цикл, незалежно від вологості або ступеня засміченості вхідного матеріалу. Для контролю якості процесу він обладнаний пробовідбірником. Агрегат може встановлюватися на зерноочисних комплексах типу ЗАВ, КЗС, а також у приміщеннях із можливістю організації завантаження та розвантаження.

Основними складовими частинами сепаратора є бункер із регульованою заслінкою, вентилятор, кілька електроприводів, струменевий генератор, вібраційний лоток, робоча камера, приймальні ємності для фракцій, подільник із фіксатором та пульт керування.

Технологічний процес роботи пневмосепаратора САД-10.

Насіння ріпаку із бункера 1 надходить вертикально вниз та потрапляє на вібралоток 2 (рис. 3.7). У нижній частині сепаратора розміщується вентилятор 10, який формує повітряний потік через струменевий генератор. Зерновий матеріал, перетинаючись із повітряним струменем, під дією аеродинамічних сил розділяється на фракції: важкі домішки та каміння потрапляють до першого приймальника, основна культура – до середніх (2-го, 3-го та 4-го), а дрібні частки та легкі домішки – до п'ятого. Загалом виділяється п'ять фракцій. Привід вентилятора забезпечує електродвигун.

Після первинного розділення попередньо очищена суміш надходить у горизонтальний пневмоканал, де відбувається більш точне розділення за аеродинамічними властивостями. Найважче насіння має значну траєкторію переміщення і спрямовується до середніх приймальників, а дрібні частки – до крайніх. На виході отримують три продукти: кондиційний насінневий матеріал,

товарне зерно та легкі домішки. Повітря додатково очищується в інерційному жалюзійному пиловловлювачі.

Пропозиції по вдосконаленню пневмосистеми САД-10

Результати виробничих випробувань засвідчують, що одним із головних недоліків існуючої конструкції є нерівномірний розподіл зернового потоку по ширині пневмосепарувальної камери. Також проблемою є недостатня ширина вхідного струменя зерна, що негативно впливає на якість очищення.

На основі аналізу особливостей пневмосепарації та даних стендових і виробничих випробувань запропоновано такі напрями вдосконалення:

Пропонується встановити замість вібраційного привідного лотка розділювачі зернового потоку. Завдяки цьому зерновий потік на вході в пневмокамеру буде рівномірніше розсіюватися та розрихлюватися, що сприятиме кращому поділу насіння ріпаку, зменшенню опору повітряного потоку та підвищенню якості очищення. Це також зменшить енергозатрати.

Перевагою такого рішення є відсутність потреби встановлення додаткового вібралотка, що, своєю чергою, зменшує енергоспоживання.

Для збільшення часу контакту зернової суміші з повітряним потоком рекомендується встановити подовжені регульовані жалюзі на вході до пневмокамери. Зміна кута нахилу жалюзі дозволяє формувати більш спрямовані повітряні струмені, що позитивно впливає на рівномірність швидкісного поля та підвищує ефективність процесу сепарації. Розширення потоку зерна на вході також дає змогу застосовувати вентилятор меншої потужності, що зменшує енергоємність роботи агрегату.

Для аналізу основних факторів, таких як рівномірність повітряного потоку, зернове навантаження швидкість повітряного потоку та геометричні параметри камери необхідно провести теоретичні дослідження.

3.2. Теоретичні дослідження процесу сепарації

Зернове навантаження є одним із ключових чинників, що визначають ефективність процесу пневмосепарації. З його зміною трансформується і структура епюри швидкостей повітряного потоку. Для оцінки рівномірності останнього застосовують коефіцієнт варіації Φ [13]:

$$\Phi = \frac{\sigma}{u_{cp}} 100\% , \quad (3.1)$$

де σ – середньоквадратичне відхилення швидкостей у вибраних точках відносно середньої швидкості, м/с;

u_{cp} – середнє значення швидкості повітряного потоку в каналі, м/с.

Коефіцієнт варіації характеризує ступінь нерівномірності руху повітря: при його зростанні різниця між локальними та середніми швидкостями збільшується, що свідчить про погіршення однорідності потоку.

Однією з причин деформації поля швидкостей у поперечному перерізі каналу є введення зернової суміші. З огляду на відмінності в аеродинамічних властивостях окремих частинок, траєкторії їх руху відрізняються, і в зоні введення формується вихрьоподібний характер.

Зернова маса, що має певну товщину шару h , частково перекриває переріз каналу, фактично утворює перешкоду для повітряного потоку. Це призводить до зменшення площі «живого перерізу» S . За умови сталості добутку sv , швидкість v повітряного потоку збільшується обернено пропорційно площі перерізу.

У центральній частині каналу, де опір найменший через розрихленість зернового шару, повітря рухається з найбільшою швидкістю. Біля стінок каналу, навпаки, швидкості мінімальні. Зі зростанням навантаження висота шару h збільшується, опір повітря зростає, а коефіцієнт варіації Φ підвищується [3].

Цей ефект обумовлює збільшення втрат повноцінного зерна у відходи в зонах підвищених швидкостей (погіршується чіткість сепарації z), тоді як у повільнішій поверхневій зоні якість очищення η знижується через недостатнє проходження повітря через зерновий матеріал.

Відповідно до рівняння Бернуллі, повний тиск є сумою статичної та динамічної складових.

Статичний тиск характеризує потенціальну енергію потоку, тоді як динамічний залежить від швидкості руху повітря. Динамічний тиск визначається за формулою [20]:

$$H_{\delta} = \frac{\rho \cdot v^2}{2 \cdot g}, \quad (3.2)$$

де ρ – густина повітря, $\text{кг} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$;

v – швидкість повітря, $\text{м} / \text{с}$;

g – прискорення вільного падіння, $\text{м} / \text{с}^2$.

Після проходження повітряного потоку через зернову суміш статичний тиск підвищується пропорційно опору шару зернового матеріалу, а динамічний – зменшується. При цьому статична складова поблизу стінки каналу майже дорівнює повному тиску, тоді як динамічний прямує до нуля.

У міру розсіювання зернового потоку в каналі повітря отримує можливість рухатись вільніше, що спричиняє ріст динамічного тиску та, відповідно, ймовірності винесення повноцінного зерна у відходи.

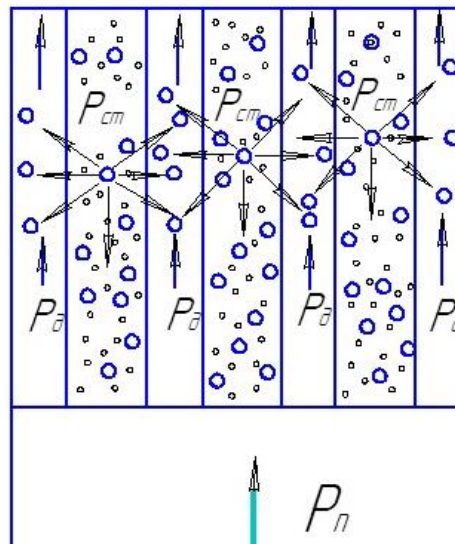


Рис. 3.2. Напрямок дії тисків : статичного H_{cm} та динамічного H_{δ} в каналі при зіткненні з зерновим матеріалом.

Таким чином, у зонах із підвищеною концентрацією зернової маси переважає статичний тиск, що зменшує інтенсивність продування. У зонах

малої концентрації переважає динамічний тиск, що призводить до погіршення сепаруючого ефекту та зростання втрат повноцінного зерна.

Для забезпечення оптимальних умов сепарації необхідно досягти вирівнювання співвідношення статичної і динамічної складових тиску по всій ширині та глибині каналу. Це можливо шляхом рівномірного розподілу зернової маси перед введенням у пневмокамеру.

Найефективніший спосіб - використання розподільників потоку, які поділяють загальний суцільний потік на кілька вузьких струменів. Простір між струменями забезпечує зменшення опору повітрю та сприяє вирівнюванню швидкісного поля.

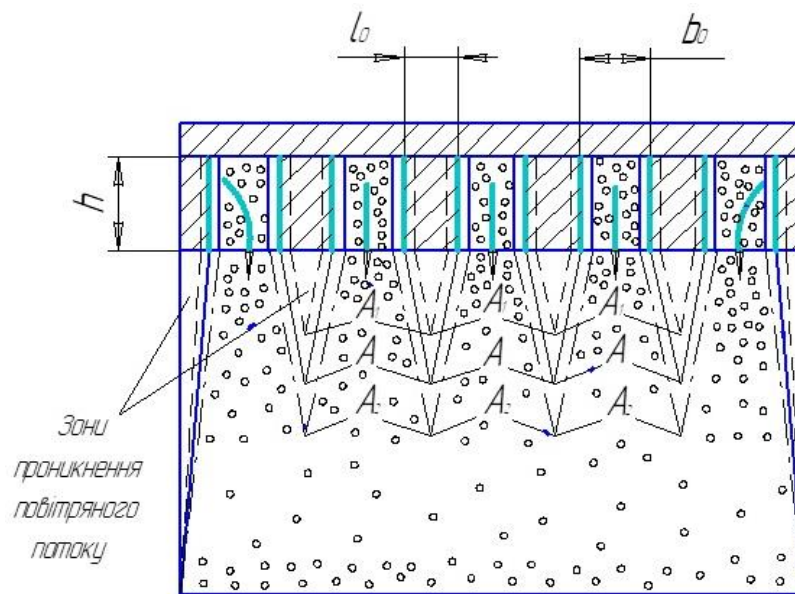


Рис. 3.6. Розділення зернового потоку при введенні насіння.

Параметри розподільників істотно впливають на ефективність пневмосепарації. Ширина b_0 визначає початкову відстань між струменями.

Наявність відповідних проміжків покращує продування зерна та інтенсифікує видалення легких домішок. Зменшення b_0 покращує аеродинамічний режим, однак надто мала ширина може викликати застрягання великих частинок. Тому b_0 вибирають із умови: $b_0 > 2b$ зерна, і для насіння ріпаку її доцільно приймати в межах 4–8 мм.

З іншого боку, зі зменшенням b_0 зростає висота шару h_0 , що потребує збільшення висоти розділювача H :

$$H > h_{0max} = \frac{3.6 \cdot Q}{z \cdot b_0 \cdot v_0 \cdot \gamma} \quad , \quad (3.3)$$

h_{0max} – максимальна товщина шару на вході, мм;

Q – продуктивність каналу, т/год;

z – кількість струменів;

v_0 – швидкість руху зерна, м/с;

γ – об'ємна маса зернового шару між розподільниками, кг/м³.

При збільшенні навантаження зростає h_0 та тиск у зоні перед входом у канал, що сприяє швидшому розширенню струменів після введення.

Відповідно, точки їх об'єднання (рис. 3.6) зміщуються до області A_1 , що залежить від величини навантаження.

На основі теоретичного аналізу отриманий графік залежності ширини розподільника повітряного потоку від величини динамічного тиску H_d

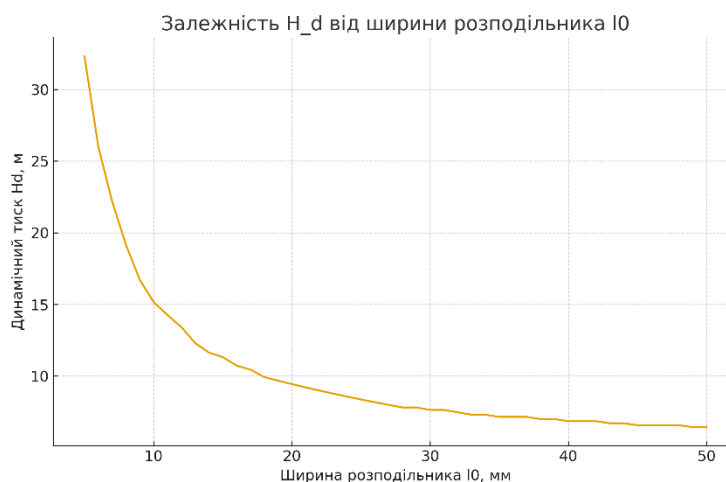


Рис. 3.7. Залежність величини динамічного тиску від ширини розподільника

З графіка видно, що збільшення ширини розподільника повітряного потоку призводить до зменшення динамічного тиску, що в свою чергу впливатиме на ефективність розділення зернового матеріалу.

Тому, ширину розподільників зернового потоку необхідно встановлювати виходячи з геометричних розмірів пневмокамери в межах від 4 до 8 мм. При цьому, необхідно врахувати розміри фракції зернового матеріалу, який проходить обробку.

3.3. Методика проведення експериментальних досліджень

3.3.1 Методика визначення аеродинамічних характеристик компонентів насіння.

Аеродинамічні параметри насіння ріпаку та наявність домішок визначали за допомогою пневмокласифікатора (рис. 3.8). Установка змонтована на столі 1 і включає всмоктувальний (робочий) трубопровід 2 з прозорою секцією 3, в нижній частині якої розташовується стакан із сітчастим дном для навіски досліджуваного матеріалу 4.

Трубопровід 2 підключений до циклону 5, де відбувається осадження обробленого матеріалу, який збирається в стакані 6. Повітря проходить через трубопровід 2 за допомогою вентилятора 9, витрата якого контролюється ротаметром 8 через допоміжні трубопроводи 7. Вентилятор 9 обертається електродвигуном 10 через клинопасовий варіатор 11.

Регулювання швидкості повітряного потоку в робочому трубопроводі 2 здійснюють за допомогою дросельної заслінки вентилятора 9 та зміни частоти його обертання. Регулювання лише дроселюванням або лише частотою обертання може викликати автоколивання поплавка ротаметра та зернового матеріалу, що порушує стабільність роботи установки. Швидкість повітряного потоку визначають через виміряну витрату повітря ротаметром 8.

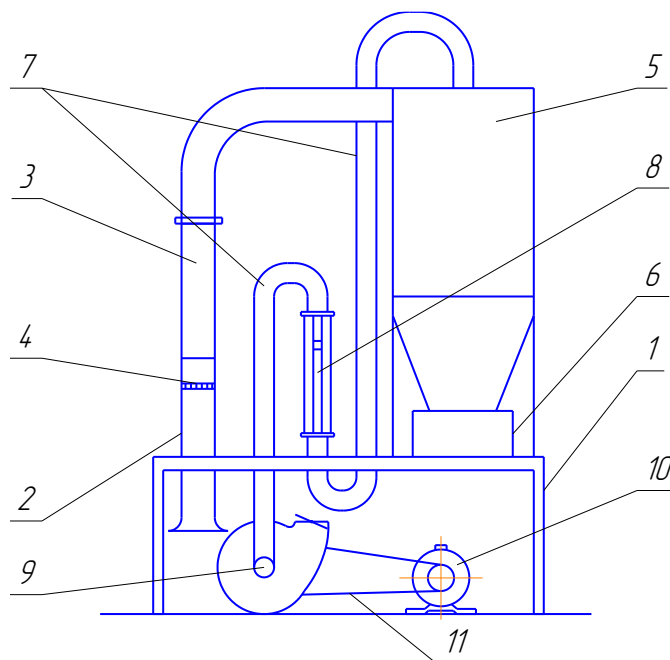


Рис. 3.8. Парусний класифікатор

З основної зернової культури та домішок методом середньої проби формують навіски кожного компоненту масою 100 г. Для визначення граничних швидкостей повітряного потоку кожену навіску поміщали у стакан із сітчастим дном 4. Дросельну заслінку вентилятора 9 спочатку повністю закривали і вмикали привід вентилятора, після чого поступово відкривали заслінку, збільшуючи швидкість потоку до початку піднімання легких фракцій. Витрата повітря реєструвалась ротаметром, а швидкість повітряного потоку розраховувалась за формулою:

$$V_{cp} = \frac{W}{F}, \quad (3.1)$$

W - витрата повітря, м³/с;

F - площа поперечного перерізу трубопроводу, м².

Послідовне підвищення швидкості дозволяло поступово виділити всі частинки зернової суміші в стакан циклону, що забезпечувало формування повного варіаційного ряду аеродинамічних характеристик.

3.3.2. Визначення раціональних параметрів розподільників зернового потоку.

Для визначення раціональних параметрів розподільника проводили серію дослідів, де було вибрано три найбільш впливові фактори, питома зернове навантаження q_b , ширина розділювача b_0 та швидкість повітряного потоку V_n .

Величину питомого зернового навантаження q_b визначали шляхом зважування маси насіння ріпаку, яка пройшла в одиницю ширини пневмо камери за певний проміжок часу t :

$$q_b = \frac{M_p}{B_k \cdot t}, \quad (3.4)$$

де M_p – маса насіння ріпаку;

B_k – ширина пневмо камери, м;

t – час руху насіння через канал, с.

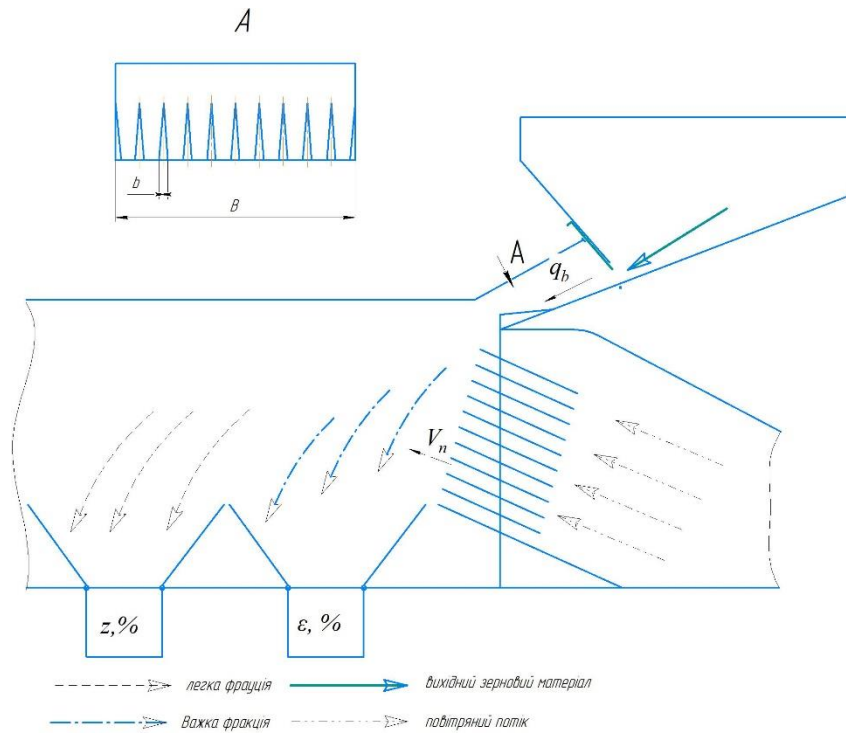


Рис. 3.9. Схема експериментальної установки для обґрунтування параметрів розподільників пневмосепаратора САД-10

При проведенні дослідів змінювали наступні параметри пневмо каналу сепаратора:

1. Ширину розподільників зернового потоку змінювали в діапазоні: $b_0 = 4 \text{ мм}$; $b_0 = 6 \text{ мм}$; $b_0 = 8 \text{ мм}$;
2. Величину питомого зернового навантаження встановлювали в межах $q_b = 600 \dots 800 \text{ кг дм/год}$;
3. Швидкість повітря встановлювали в межах $V_n = 4,5 \dots 6,5 \text{ м/с}$.



Рис. 3.10. Розподільники зернового потоку

Для кожного параметру визначалась середнє значення відповідно до запропонованої методики. Завантаження експериментальної установки відбувалось 10 кг насіння ріпаку. Досліди повторювались тричі.

3.3.3. Порівняльна характеристика пневмо каналів.

При визначенні порівняльної характеристики вдосконаленого та базового пневмо каналу керувались оцінкою якісних показників пневмо сепарації, ефектом сепарації ε , % та кількістю повноцінного матеріалу у відходах z , %.

При проведенні серії дослідів брали насіння ріпаку при вологості 15% та засміченістю 10%. Готовий матеріал отримали після проведення операції первинної сепарації.

Якість сепарації насіння визначали [13]:

$$\varepsilon = \frac{G_d - G_n}{G_3} \cdot 100\%, \quad (3.6)$$

та кількістю повноцінного насіння, які виділились у відходи:

$$z = \frac{G_n}{G_o} \cdot 100\%, \quad (3.8)$$

де G_o – вага домішок, яка виділялись з пневмо каналу, кг;

G_3 – загальна маса вага домішок в вихідному матеріалі ріпаку, кг;

G_n – вага насіння ріпаку, який потрапив в легку фракцію, кг;

Загальну кількість повноцінного насіння в фракції легких домішок визначали за допомогою парусного класифікатора.

Оцінку ефективності роботи удосконаленого пневмо сепаратора у порівнянні із базовим проводили шляхом отримання порівняльної характеристики пневмо каналу з розділювачами зернового потоку.

При виконанні цього етапу були досліджень була проведені порівняльні випробування пневмо каналів з однаковим питомим навантаженням.

3.4. Результати експериментальних досліджень параметрів пневмо системи сепаратора САД-10

У ході виконання експериментальних досліджень були визначені раціональні значення основних параметрів пневмоканалу сепаратора САД-10, а також здійснено оцінювання ефективності його функціонування.

У відповідній таблиці (3.1) наведено перелік факторів, що мають найбільший вплив на результативність роботи пневмосистеми сепаратора САД-10, разом із рівнями їх зміни та інтервалами варіювання.

Таблиця 3.1

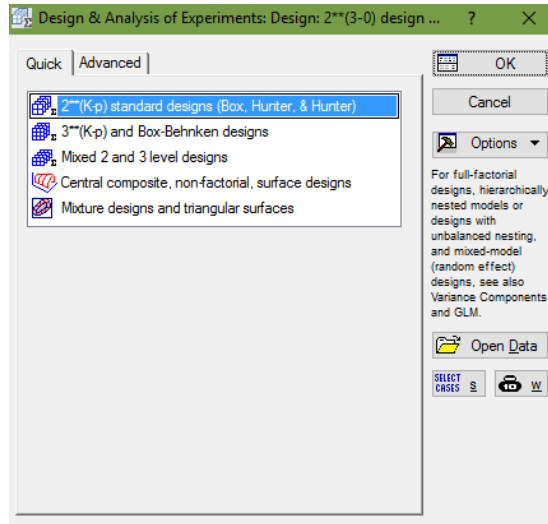
Основні рівні варіювання факторів при дослідженні пневмосистеми сепаратора САД-10

№	Фактори		Рівні варіювання		Інтервал варіювання
	Назва	Позначення	Нижній (-)	Верхній (+)	
1	Величина питомого навантаження, q_b , кг дм/год	x_2	400	800	200
2	Ширина розділювача, b , мм	x_1	4	8	2
3	Швидкість повітряного потоку, U_n	x_3	4,5	6,5	1

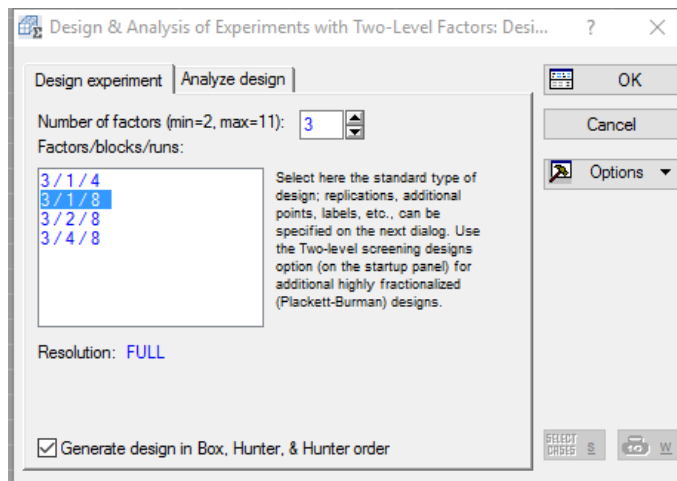
Планування експерименту здійснювалося відповідно до загальноприйнятих методичних підходів із використанням прикладного програмного комплексу STATISTICA 10 [21].

Формування матриці експерименту за схемою повного факторного плану $n = 2^3 = 8$ реалізовувалося шляхом послідовного виконання стандартних процедур програмного середовища, що забезпечували задання досліджуваних факторів і діапазонів їх зміни.

Планування експерименту здійснювалося відповідно до загальноприйнятих методичних підходів із використанням прикладного програмного комплексу STATISTICA 10 [21].



Після завершення етапу компіляції програмне забезпечення автоматично згенерувало експериментальну матрицю з рекомендованим порядком виконання дослідів для горизонтального пневмоканалу сепаратора.



Для кожної комбінації факторів вимірювання проводилися з триразовою повторюваністю, що дало змогу визначити середні значення показника повноти розділення $Y(\varepsilon)$, які в подальшому заносилися до підсумкової таблиці результатів.

	1- q_b	2- b	3- U_p	4 - Y
1	400	4	4,5	94
2	800	4	4,5	91
3	400	8	4,5	96
4	800	8	4,5	93
5	400	4	6,5	95
6	800	4	6,5	93
7	400	8	6,5	97
8	800	8	6,5	94

Обчислення табличної регресійної моделі здійснювалося в автоматизованому режимі, що дозволило безпосередньо отримати числові значення коефіцієнтів математичного опису процесу.

Effect Estimates; Var.: ϵ , %; R-sqr=,99497; Adj:,96482 (Spreadsheet8)										
3 factors at two levels; MS Residual=,125										
DV: ϵ , %										
Factor	Effect	Std.Err.	t(1)	p	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt	Coeff.	Std.Err. Coeff.	-95,% Cnf.Limt	+95,% Cnf.Limt
Mean/Interc.	94,12500	0,125000	753,0000	0,000845	92,53672	95,71328	94,12500	0,125000	92,53672	95,71328
(1) q_b , кг дм/год	-2,75000	0,250000	-11,0000	0,057716	-5,92655	0,42655	-1,37500	0,125000	-2,96328	0,21328
(2) b_0 , мм	1,75000	0,250000	7,0000	0,090334	-1,42655	4,92655	0,87500	0,125000	-0,71328	2,46328
(3) U_n , м/с	1,25000	0,250000	5,0000	0,125666	-1,92655	4,42655	0,62500	0,125000	-0,96328	2,21328
1 by 2	-0,25000	0,250000	-1,0000	0,500000	-3,42655	2,92655	-0,12500	0,125000	-1,71328	1,46328
1 by 3	0,25000	0,250000	1,0000	0,500000	-2,92655	3,42655	0,12500	0,125000	-1,46328	1,71328
2 by 3	-0,25000	0,250000	-1,0000	0,500000	-3,42655	2,92655	-0,12500	0,125000	-1,71328	1,46328

На основі обробки експериментальних даних було побудовано статистичну регресійну модель, яка відображає взаємозв'язок між вхідними параметрами дослідження та узагальненим критерієм якості роботи пневмосистеми - ефектом пневмосепарації в горизонтальному каналі сепаратора.

Загальний вигляд отриманої статистичної моделі пневмосепарації, що характеризує вплив факторів які досліджувались на ефективність розділення домішок в горизонтальному пневмо каналі, має наступну форму:

$$Y=94,12-1,37x_1+0,87 x_2+0,62 x_1-0,125 x_1 x_2+0,125 x_1 x_3-0,125 x_2 x_3$$

Достовірність та якісні характеристики отриманої регресійної залежності, зокрема відтворюваність результатів, адекватність моделі та статистична значущість коефіцієнтів, перевірялися відповідно до стандартної процедури автоматизованого контролю в середовищі STATISTICA 10 [21].

Застосування рівняння регресії дало можливість побудувати поверхні відгуку, які наочно ілюструють вплив досліджуваних факторів на цільову функцію оптимізації - показники якості очищення зернового матеріалу. Відповідні графічні залежності наведені нижче.

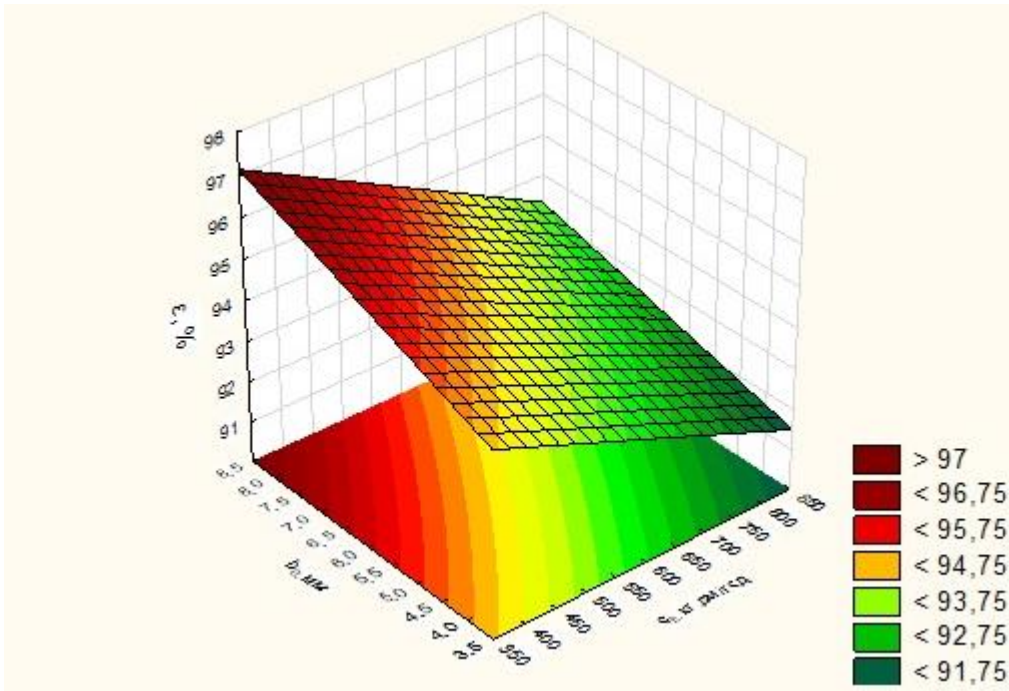


Рис. 3.11. Поверхня відгуку $Y = f(x_1, x_2)$, що характеризує вплив питомого навантаження та ширини розділювача потоку на ефективність виділення легких домішок.

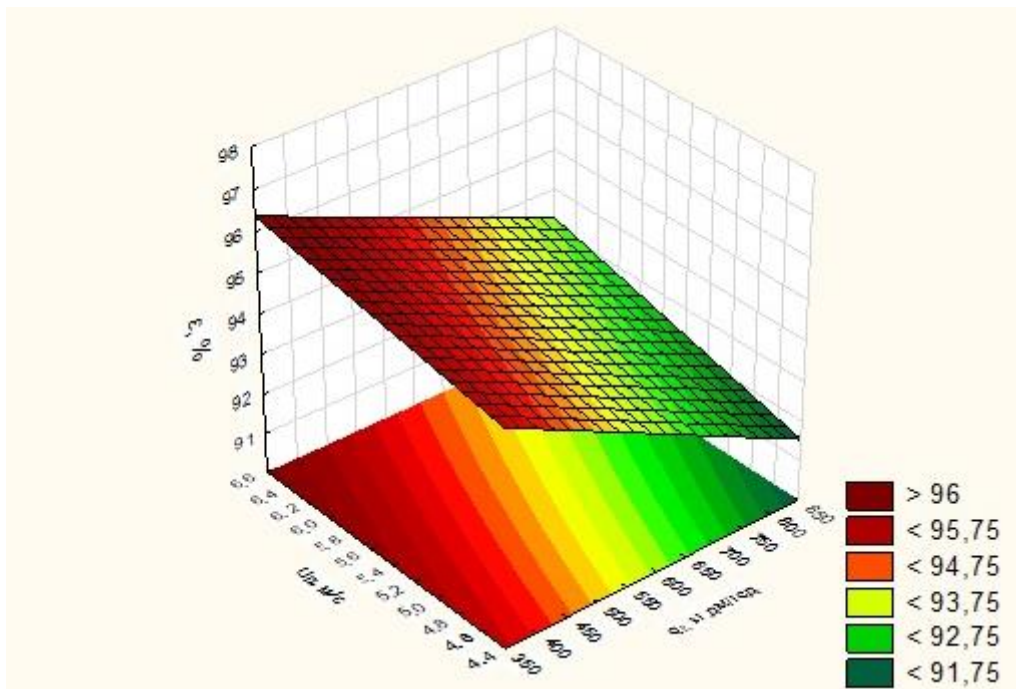


Рис. 3.12. Поверхня відгуку $Y = f(x_1, x_3)$, яка відображає спільний вплив питомого навантаження та швидкості повітряного потоку на ефективність сепарації легких домішок.

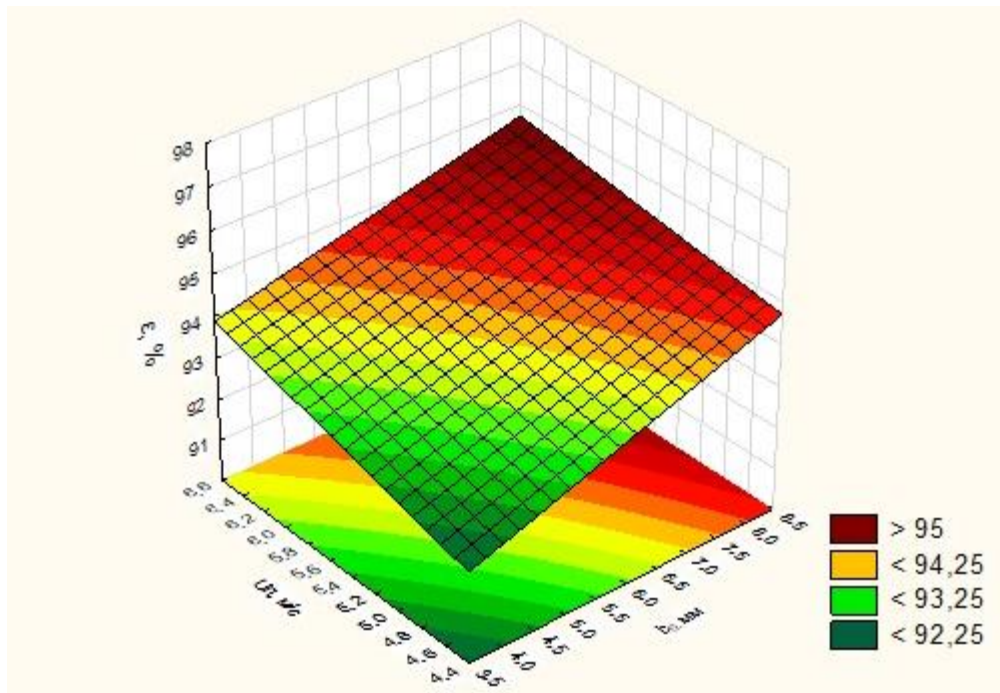


Рис. 3.13. Поверхня відгуку $Y = f(x_2, x_3)$, що демонструє залежність ефективності виділення легких домішок від ширини розділювача потоку та швидкості повітряного потоку.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що серед розглянутих факторів визначальний вплив на ефект виділення домішок мають ширина розділювачів зернового потоку та питома навантаження.

Згідно з графічними залежностями, раціональними є значення швидкості повітряного потоку $V = 5,5 \dots 6$ м/с та ширина розділювача $b = 4 \dots 6$ мм.

Подача зернового матеріалу на очищення також впливає на значення цільової функції оптимізації, однак у межах обраного діапазону більш суттєвим є сумісний вплив подачі зерна та швидкості повітряного потоку. При цьому слід враховувати, що саме величина подачі визначає загальну продуктивність повітряної очистки сепаратора.

За умови створення необхідної технологічної продуктивності сепаратора при калібруванні насіння ріпаку раціональним є забезпечення подачі на рівні $Q = 550 \dots 600$ кг/с.

Для підтвердження працездатності модернізованої конструкції сепаратора та обґрунтованості визначених параметрів пневмосистеми на наступному етапі виконуються відповідні інженерні розрахунки.

4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Визначення параметрів завантажувального бункера пневмосепаратора САД-10

Об'єм бункера визначається з урахуванням продуктивності пневмосепаратора, потрібного часу перебування насіння в бункері і коефіцієнту заповнення об'єму [13]:

$$V = \frac{P_3 \cdot \tau}{24 \cdot \gamma \cdot \phi}, \quad (4.1)$$

де γ – об'ємна вага насіння ріпаку, т /м³;

ϕ – коефіцієнт заповнення насінням ріпаку об'єму бункера,
 $\phi = 0,7 \dots 0,85$

Визначаємо об'єм бункера пневмосепаратора САД-10:

$$V = \frac{54,7 \cdot 0,6}{24 \cdot 0,82 \cdot 0,85} = 2 \text{ м}^3$$

Приймаємо об'єм бункера 2 м³

4.2. Визначаємо режимні параметри пневмоканалу сепаратора.

Вихідні дані: продуктивність сепаратора Q , повнота розділення ε , чіткість сепарації z та характеристика насіння.

Визначаємо раціональну швидкість повітряного потоку, при якій буде максимальне виділення легкої фракції із насінневого матеріалу [22]:

$$V_{сер} = \sqrt{V_{кр}^1 \cdot V_{кр}^2}, \quad (4.2)$$

де: $V_{кр}^1$ – мінімальна швидкість витання домішок, м/с;

$V_{кр}^2$ – максимальна швидкість витання насіння, м/с;

$$V_{сер} = \sqrt{4,2 \cdot 5,6} = 4,84 \text{ м/с,}$$

Робоча ширина пневмоканалу B , м приймаємо конструктивно по робочій ширині базового сепаратора $B = 0,9 \text{ м}$.

Глибину каналу C визначаємо за формулою:

$$C = \frac{W \cdot B - 60 \cdot B^2 \cdot \sqrt{\pi \cdot W \cdot V_{сер}}}{3600 \cdot \pi \cdot B^2 \cdot V_{сер} \cdot W} \quad (4.3)$$

де W – витрати повітря в каналі, м³/год.

$$C = \frac{124 \cdot 0,9 - 60 \cdot 0,9^2 \cdot \sqrt{3,14 \cdot 124 \cdot 4,84}}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,9^2 \cdot 4,84 \cdot -124} = 1,4 \text{ м}$$

Секундну подачу насіння з врахуванням введення матеріалу через розподільники визначимо як:

$$Q_{сек} = V_n \cdot h_n \cdot c \cdot n_c \cdot \rho_n \quad (4.4)$$

де c – ширина насінневого струменя, м;

h_n – товщина шару зернового матеріалу, м;

n_c – кількість струменів згідно ширини вихідного отвору бункеру;

ρ_n – об'ємна маса насіння, кг/м³

$$Q_{сек} = 0,35 \cdot 0,008 \cdot 0,006 \cdot 44 \cdot 168 = 0,154 \text{ кг/с}$$

Розраховуємо масу повітря, яка витискається вентилятором за секунду [20]:

$$m_{нов} = \frac{\gamma_{нов} \cdot S_{лоб} \cdot i \cdot V_l^2}{g}, \quad (4.5)$$

де $\gamma_{нов}$ - об'ємна вага повітря, $\gamma_{нов} = 1,2$ кг/м³;

$S_{лоб}$ - площа однієї крильчатки, м²;

i - кількість крильчаток, шт;

V_l - лінійна швидкість центру площини, м/с;

g - прискорення сили тяжіння, м/с².

$$m_{нов} = \frac{1,2 \cdot 0,04 \cdot 18 \cdot 3,6^2}{9,8} = 0,114 \text{ кг}$$

Розраховуємо швидкість повітряного потоку

$$V_{нов} = \xi \cdot V_{лоб} \quad (4.6)$$

де ξ - коефіцієнт пропорційності, який залежить від показника кінематичного режиму вентилятора, та кількості крильчаток. Експериментально встановлено, що для $i = 18$ та $k = 284,2$; $\xi = 0,58$

$$V_{нов} = 0,58 \cdot 8,9 = 5,16 \text{ м/с}$$

Розрахунок витрат повітря в пневмо сепараційній камері та обґрунтування параметрів розділювачів зернового потоку.

Розраховуємо витрату повітря на виході з вентилятору [20]:

$$W = S_1 \cdot V_{\text{пов}} \quad (4.7)$$

де $S_{\text{поп}}$ – величина поперечної площі перерізу пневмо камери сепаратора

$$S_{\text{поп}} = B_1 \cdot C, \text{ м}^2 \quad (4.8)$$

$$S_{\text{поп1}} = 0,890 \cdot 10,5 = 8,9, \text{ м}^2$$

Відповідно,

$$W = 8,9 \cdot 5,16 = 45,92 \text{ м}^3/\text{с}$$

Визначаємо кількість розподільників зернового потоку виходячи із ширини пневмо каналу сепаратора B , при цьому приймаємо їх ширину та відстань між ними відповідно до результатів експериментальних досліджень $b=8$ мм та проміжок між ними $l_p=12$ мм.

$$n_p = \frac{B}{b_p + k_p} \quad (4.9)$$

де b – ширина розподільників зернового потоку, мм;

l_p – відстань між розподільниками, мм;

$$n_p = \frac{890}{8+12} = 44 \text{ шт}$$

Приймаємо кількість розподільників зернового потоку – 44 шт, кожен з яких шириною 6 мм, а відстань між ними – 12 мм.

5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Аналіз потенційно небезпечних і шкідливих факторів при експлуатації пневмосепаратора САД-10

При роботі з модернізованим пневмосепаратором можуть виникати наступні небезпечні та шкідливі фактори [23, 24]:

а) Фізичні небезпеки та шкідливі виробничі фактори:

- рухомі та обертові елементи і механізми установки;
- підвищений рівень запилення повітря в зоні роботи пневмосепаратора;
- високий рівень шуму та вібрацій на робочому місці механіка;
- підвищена температура повітря та підвищена вологість у робочій зоні;
- небезпечна напруга в електромережі (380/220 В);
- наявність гарячих поверхонь і деталей обладнання;
- недостатнє природне освітлення робочого місця.

б) Хімічні небезпеки та шкідливі фактори:

- контакт із токсичними речовинами, що діють через шкіру, зокрема під час технічного обслуговування або ремонту (транспортні масла ТАП-15В, ТСП-15К, солідол).

в) Пожежна безпека:

- можливі займання електричної схеми пневмосепаратора через несправності.

5.2. Заходи пожежної безпеки при роботі з пневмосепаратором

Відповідальність за підтримання пожежної безпеки на підприємстві покладається на керівника, головного інженера та інженера з охорони праці. У підрозділах (бригади, ферми тощо) відповідальність несе керівник відповідного підрозділу.

Найбільш критичними з точки зору пожежної безпеки є зерноочисні відділення та інша сільськогосподарська техніка. Робоче місце оператора стаціонарного пневмосепаратора САД-10 повинно бути обладнане пристроями

для кріплення первинних засобів пожежогасіння (вогнегасники ОУ-5 та ОПС-10), а також щитами з протипожежним інвентарем та ящиками з піском об'ємом 0,5 м³, що забезпечує доступ до них протягом ≤ 8 с без додаткових інструментів.

У разі займання електродвигуна сепаратора його слід відключити від мережі та ліквідувати пожежу всіма доступними способами. Згідно з ГОСТ 12.4026-72, засоби пожежогасіння повинні мати червоне маркування [23, 24].

Для гасіння пожеж у зерноочисних відділеннях відповідно до ДСТУ 2189-93 передбачено комплект первинних засобів: два вогнегасники ОП-5, дві санітарні лопати, два пожежні відра, ящик з піском та резервуар з водою. Зони зберігання зерноочисної техніки повинні бути оснащені засобами пожежогасіння згідно з ГОСТ 12.2.037 [23, 24].

5.3. Заходи щодо забезпечення санітарно-гігієнічних умов праці

До роботи на сепараторі САД-10 допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли підготовку з обслуговування та безпечної експлуатації обладнання, а також навчання з охорони праці та мають відповідні посвідчення і кваліфікацію [23].

Оператори електрифікованих комплексів і машин повинні мати відповідну групу з електробезпеки. Основні вимоги безпеки:

- узгодження меж робочої зони з керівником;
- заборона перебування сторонніх осіб у робочій зоні;
- виконання робіт у справному спецодязі без пошкоджень і

звисяючих елементів, які можуть потрапити в рухомі або обертові деталі.

При сильному запиленні слід використовувати респіратор для захисту дихальних шляхів та захисні окуляри ПО-02 для очей. Не допускається робота з несправним інструментом чи пристосуваннями при обслуговуванні пневмосепаратора.

6. ВИСНОВКИ

1. У результаті аналізу чинної технології вирощування ріпаку в умовах господарства встановлено, що одним із стримувальних факторів підвищення якості продукції є недостатня ефективність операції післязбирального очищення насіння.

2. На підставі проведеного аналізу розроблено та обґрунтовано операційну карту вторинного очищення насіння ріпаку з використанням модернізованого сепаратора САД-10, що забезпечило покращення показників якості очищення та зменшення питомих енерговитрат технологічного процесу.

3. Виявлено, що основною причиною зниження ефективності роботи пневмосепаратора є недостатня інтенсивність очищення, зумовлена підвищеним опором зернового матеріалу на вході до пневмоканалу та обмеженою тривалістю його взаємодії з повітряним потоком.

4. Для усунення виявлених недоліків запропоновано конструктивне рішення, яке передбачає встановлення розділювачів зернового потоку на днищі бункера, що сприяє формуванню більш розпушеного шару матеріалу та покращенню умов взаємодії зернової суміші з повітряним потоком.

5. За результатами експериментальних досліджень обґрунтовано раціональні параметри та режими роботи пневмоканалу, а саме: питома навантаження в межах 550...600 кг·дм·год, ширина розділювачів потоку 4... 6 мм, швидкість повітряного потоку - 5,5...6 м/с.

6. Порівняльний аналіз показників роботи базового та модернізованого сепаратора засвідчив зростання ефективності очищення зернового матеріалу на 12...14 %.

7. Виконані технологічні та інженерні розрахунки з урахуванням запропонованих конструктивних змін підтвердили працездатність і доцільність застосування вдосконаленого пневмосепаратора САД-10 у виробничих умовах.

Список використаної літератури

1. Влащук А. М. Формування продуктивності посівів ріпаку озимого залежно від елементів технології вирощування в умовах південного степу України / А. М. Влащук, М. М. Прищепо, Д. П. Войташенко, Н. В. Демченко // Зрошуване землеробство. - 2012. - Вип. 58. - С. 33-35.
2. Котов Б.І. Перспективи розвитку конструкцій зернонасіннеочисної техніки / Б.І. Котов, М.І. Волошин // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин: Загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. зб. Кіровоград, 2001. Вип. 31. С. 110–111.
3. Васильковський О.М. Підвищення ефективності повітряного очищення зерна / О. М. Васильковський, Д. І. Петренко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : Загальнодерж. міжвідомч. наук.-техн. зб. Кіровоград: КНТУ, 2005. Вип. 35. С. 286–288.
4. Секун М.П., Лапа О.М. та ін. Технологія вирощування і захисту ріпаку. – Київ: ТОВ "Глобус-Принт", 2008. – 116 с.
5. Гайдаш В. Д. /Ріпак: його сучасний стан і перспективи в Україні / В. Д. Гайдаш// Пропозиція. – 2002. – №8–9. – С. 50–51.
6. Рослинництво: Підручник / О. І. Зінченко, В. Н. Салатенко, М. А. Білоножко; За ред. О. І. Зінченка. – К.: Аграрна освіта, 2001. - 591 с.
7. Технологічні карти та витрати на вирощування сільськогосподарських культур / За ред. П.Т. Саблука, Д.І. Мазоренка, Г.Є. Мазнева. – К.: ННЦ ІАЕ, 2004. – 402 с.
8. ДСТУ 2240-93. Насіння сільськогосподарських культур. Сортові та посівні якості. Технічні умови: чинний від 1994-07-01. К.: Держстандарт України, 1994. 73 с.
9. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.

10. Методичні рекомендації до виконання дипломної роботи здобувачів другого (магістерського) освітнього рівня спеціальності Н7 «Агроінженерія» за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» / уклад.: Д.І. Петренко, С.М. Лещенко, О.М. Васильковський, С.М. Мороз, Ю.В. Мачок, О.В. Нестеренко. М-во освіти і науки Укр., Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2025.– 46 с.
11. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з курсів «Технологія механізованих робіт в рослинництві» та «Машиновикористання в рослинництві» : для студ. спец. 208 «Агроінженерія» та 133 «Галузеве машинобудування» / М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. с.-г. машинобуд. ; [уклад. В. М. Сало, С. М. Лещенко, Д. І. Петренко та ін.]. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018. – 170 с. URL: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/8095>.
12. Сільськогосподарські машини: основи теорії та розрахунку: Навчальний посібник / За ред. Д.Г. Войтюк, С.С. Яцун, Довжик М.Я. // Суми. Університетська книга – 2008. – 450 С.
13. Комаристов В.Ю. Довідник з механізації післязбиральної обробки зерна / В.Ю. Комаристов, М.М. Петренко. – К.: Урожай, 1990. – 184 с.
14. Сисолін П.В., Сало В.М., Кропівний В.М. Сільськогосподарські машини: теоретичні основи, конструкція, проектування, Книга 1. Машини для рільництва / за ред. Черновола М.І. – К. Урожай, 2001. – 384 с.
15. Проспект фірми «Petkus». Машини предварительной и интенсивной очистки К-527, К-526, К-560.
16. <https://ismgrain.com.ua/ru/goods/vozdushniy-separator-ism-40-4560761/>
17. <https://aeromeh.com.ua/product/separator-sad-5/>
18. <https://alistan-agro.com/ru/separator/als-5/>
19. <https://ismgrain.com.ua/ru/goods/samoperedvizhnoy-ochistitelniy-kompleks-sok-30-4560670/>
20. Гідравліка : підручник / О. В. Ратушний, О. Г. Гусак. – 2-ге вид., переробл. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 251 с.

21. Підручник дослідника: навч. посіб. для студ. агротехн. спец. / О. Васильковський, С. Лещенко, К. Васильковська, Д. Петренко. Харків: Мачулін, 2016. 204 с
22. Васильковський М.І. Обґрунтування параметрів сепарації зерна в похилому повітряному потоці / М.І. Васильковський, С.Я. Гончарова, С.М. Лещенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. – Кіровоград, 2007. – Вип. 37. – С. 132–137.
23. Основи охорони праці: Підручник / М.С. Одарченко, А.М. Одарченко, В.І. Степанов, Я.М. Черненко. – Х.: Стиль-Издат, 2017. – 334 с.
24. Пістун І.П., Хом'як Й.В., Хом'як В.В. Охорона праці в галузі сільського господарства: Навчальний посібник. – Суми: Університетська книга, 2009. – 365 с.

ДОДАТКИ