

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

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

УДК 631.362

Кваліфікаційна робота на правах
рукопису

АНТОНЕНКО Євгеній Михайлович

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ
АЕРОДИНАМІЧНОГО СЕПАРАТОРА**

208 «Агроінженерія»

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело

(підпис)

(ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
к.т.н., доцент О. В. Медведський

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Антоненко Є. М. **Удосконалення конструкції та режимів роботи аеродинамічного сепаратора.** – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота подається на здобуття першого освітнього ступеня бакалавр зі спеціальності 208 – агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025 р.

Кваліфікаційна робота спрямована на пошук оптимальних параметрів та режимів роботи аеродинамічних сепараторів. Проведена оцінка технологічних параметрів та режимів функціонування аеродинамічних сепараторів різних промислових виробників, виділені їх переваги та недоліки.

У кваліфікаційній роботі удосконалено аеродинамічний сепаратор шляхом обґрунтування конструкційної схеми та технологічних регулювань розробленого повітряного генератора, який змінює інтенсивність у камері сепарування потоку повітря, встановлені геометричні та конструкційні розміри та межі регулювань.

Визначено переваги удосконаленого аеродинамічного сепаратора порівняно із прототипом, встановлена економічна доцільність впровадження запропонованих удосконалень.

Ключові слова: повітряний генератор, камера сепарування, калібрування

ANNOTATION

Antonenko E. M. **Improvement of the design and operating modes of an aerodynamic separator.** – Qualification work in the form of a manuscript.

The qualification work is submitted for the first degree of bachelor in specialty 208 – agricultural engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

The qualification work is aimed at finding the optimal parameters and operating modes of aerodynamic separators. The technological parameters and operating modes of aerodynamic separators of various industrial manufacturers were evaluated, their advantages and disadvantages were highlighted.

In the qualification work, the aerodynamic separator was improved by substantiating the structural scheme and technological adjustments of the developed air generator, which changes the intensity of the air flow in the separation chamber, the geometric and structural dimensions and adjustment limits were established.

The advantages of the improved aerodynamic separator compared to the prototype were determined, and the economic feasibility of implementing the proposed improvements was established.

Keywords: air generator, separation chamber, calibration

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. СПОСОБИ РЕАЛІЗАЦІЇ АЕРОДИНАМІЧНОГО СЕПАРУВАННЯ	7
1.1. Структурно-технологічні схеми та вимоги до аеродинамічного сепарування	7
1.2. Оцінка конструкцій аеродинамічних сепараторів промислового виробництва	10
Висновки до розділу	16
РОЗДІЛ 2. УДОСКОНАЛЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНОГО СЕПАРАТОРА ..	17
2.1. Встановлення показників та режимів роботи аеродинамічного сепаратора	17
2.2. Обґрунтування напрямку удосконалення системи розподілу повітряного потоку	22
Висновки до розділу	24
РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО АЕРОДИНАМІЧНОГО СЕПАРАТОРА	25
3.1. Встановлення конструкційних та геометричних параметрів повітряного генератора	25
3.2. Порівняльна оцінка ефективності удосконаленого сепаратора із прототипом	28
Висновки до розділу	30
ВИСНОВКИ	31
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	32
ДОДАТКИ	34

ВСТУП

Актуальність теми. Очищення зерна злакових, бобових або будь-яких зернових культур з яких виробляється борошно та крупи є важливою та невід'ємною технологічною операцією. Під час реалізації технологічного процесу важливо відокремити від вихідної сумішки усі сторонні компоненти які є забрудненням для зерна культурної рослини. Це в першу чергу забруднення які потрапили під час жнивування зернозбиральним комбайном. Зерноочисна система зернозбирального комбайна забезпечує тільки часткове первинне очищення зерна від сторонніх домішок, як правило досить крупних включень таких як солома, рештки колосків і т.д. Інші включення можуть бути як зернові (зерно інших культур) або не зернові які поділяються на органічні та мінеральні (насіння бур'янів, пошкоджене зерно, пісок, ґрунт, металеві часточки і т.д.).

Для відокремлення від зернової частини культурної сільськогосподарської рослини сторонніх компонентів промисловість закордонна та вітчизняна пропонує технологічне обладнання. В першу чергу технологічне обладнання спрямоване на очищення зерна від легких та важких домішок, для подальшого його сушіння і зберігання. Таке обладнання використовується на елеваторних господарствах. Як правило це комбіновані машини які поряд із аеродинамічним очищенням здійснюють сепарування за геометричними ознаками з метою відокремлення насіння бур'янів, щуплого зерна та мінеральних домішок. В такому випадку аеродинамічним вважається очищення від пилу та легких домішок.

В кваліфікаційній роботі розглянемо аеродинамічне сепарування за аеродинамічними характеристиками. До таких характеристик належить коефіцієнт аеродинамічного опору та критична швидкість. Такі машини окрім згаданих позицій використовують ще деякі ознаки поділу такі як густина насінини та її розмір, тобто здатність до впливу сил гравітації які є протидією критичній швидкості. Оцінка аеродинамічних сепараторів вказала на наявність

деяких невіршених питань, зокрема розподілу повітряного потоку для врівноваженого процесу калібрування.

Калібрування зерна в аеродинамічних сепараторах є важливим технологічним процесом особливо під час підготовки насінневого матеріалу. Встановлено, що посів зерна яке пройшло калібрування дозволяє підвищити врожайність сільськогосподарських культур, оскільки крупніше і важче зерно має більшу природну здатність до проростання і розвитку. Тому, удосконалення аеродинамічних сепараторів у напрямку підвищення ефективності поділу зерна на фракції з одночасним якісним очищенням від домішок є важливим технологічним завданням.

Мета і завдання кваліфікаційної роботи.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності аеродинамічного сепаратора шляхом покращення режимів роботи повітряного генератора.

У кваліфікаційній роботі необхідно вирішити наступні завдання:

- оцінка структурно-технологічних схем сепараторів аеродинамічних, встановлення позитивних і негативних ознак та напрямів удосконалення;
- обґрунтування шляхів покращення повітряного режиму роботи аеродинамічного сепаратора;
- розроблення конструкції повітряного генератора із системою регулювання подачі повітря у камеру сепарування;
- встановлення геометричних та технологічних параметрів розробленого повітряного генератора потоку;
- визначення переваг удосконаленого аеродинамічного сепаратора у виробничому процесі.

Об'єкт досліджень – повітряний генератор потоку аеродинамічного сепаратора.

Предмет досліджень – конструкційно-геометричні параметри регульованого повітряного генератора.

Методи досліджень.

Для вирішення вказаних поставлених завдань на кваліфікаційну роботу використовували базові методики гідравліки та пневматики, математичні методи формування аналітичних залежностей, відомі методики вирішення інженерних задач із механіки матеріалів, теорії машин і механізмів, деталей машин та теоретичної механіки, розрахунки із багатьма складниками виконувати із використанням прикладних програм у середовищі Microsoft Excel.

Апробація результатів роботи.

Отримані у кваліфікаційній роботі результати проектування доповідали на науково-практичних міжфакультетських конференціях та вийшли друком у наступних працях:

1. Антоненко Є. М. Особливості конструкцій аеродинамічних сепараторів. *Студентські читання–2024* : матеріали науково-практичної конференції. 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. Ч. 2. С. 17–19.

2. Антоненко Є. М. Теоретичні передумови аеродинамічного сепарування. *Наукові читання – 2025* : збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками I-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей. 23 квітня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 14–16.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається із основної частини – вступу, трьох розділів, загальних висновки; списку використаних літературних джерел та додатків, основна частина надрукована державною мовою на 33 сторінках машинопису, вміщує 8 рисунків та 9 таблиць.

РОЗДІЛ 1

СПОСОБИ РЕАЛІЗАЦІЇ АЕРОДИНАМІЧНОГО СЕПАРУВАННЯ

1.1. Структурно-технологічні схеми та вимоги до аеродинамічного сепарування

Аеродинамічне сепарування це процес відокремлення або розділення на складові вихідну зернову сумішку з використання відмінних аеродинамічних властивостей компонентів. Основною характеристикою яка належить до аеродинамічних відноситься коефіцієнт аеродинамічного опору і як наслідок критична швидкість. Критична швидкість це така швидкість повітряного потоку, яка дозволяє частинці знаходитись у стані рівноваги, тобто не переміщатися, визначається за формулою, м/с [1, 2, 3]:

$$v = \sqrt{\frac{m_o \cdot g}{k_o \cdot \rho_a \cdot S_o}}, \quad (1.1)$$

де k_o – коефіцієнт опору аеродинамічного для частинки;

ρ_a – повітря з густиною, кг/м³;

S_o – мідельний переріз зернівки, м²;

m_o – вага частинки, кг.

Для кожної часточки, яка складає вихідну зернову сумішку має своє власне значення коефіцієнта опірності аеродинаміки, тому для кожної складової буде власне значення даного коефіцієнта який має місце у довідникових даних. Так, для однієї інтенсивності потоку повітряного одна частинка із вихідної зернової сумішки буде спрямовуватись за напрямом потоку, а інша падати в повітряний потік. Саме така особливість відмінних властивостей частинок у вихідній зерновій суміші використовується як принцип роботи аеродинамічного сепаратора.

Для здійснення процесу аеродинамічного сепарування використовуються декілька технологічних схем, найпоширеніші серед яких подано на рис. 1.1. [1, 2, 4, 5]

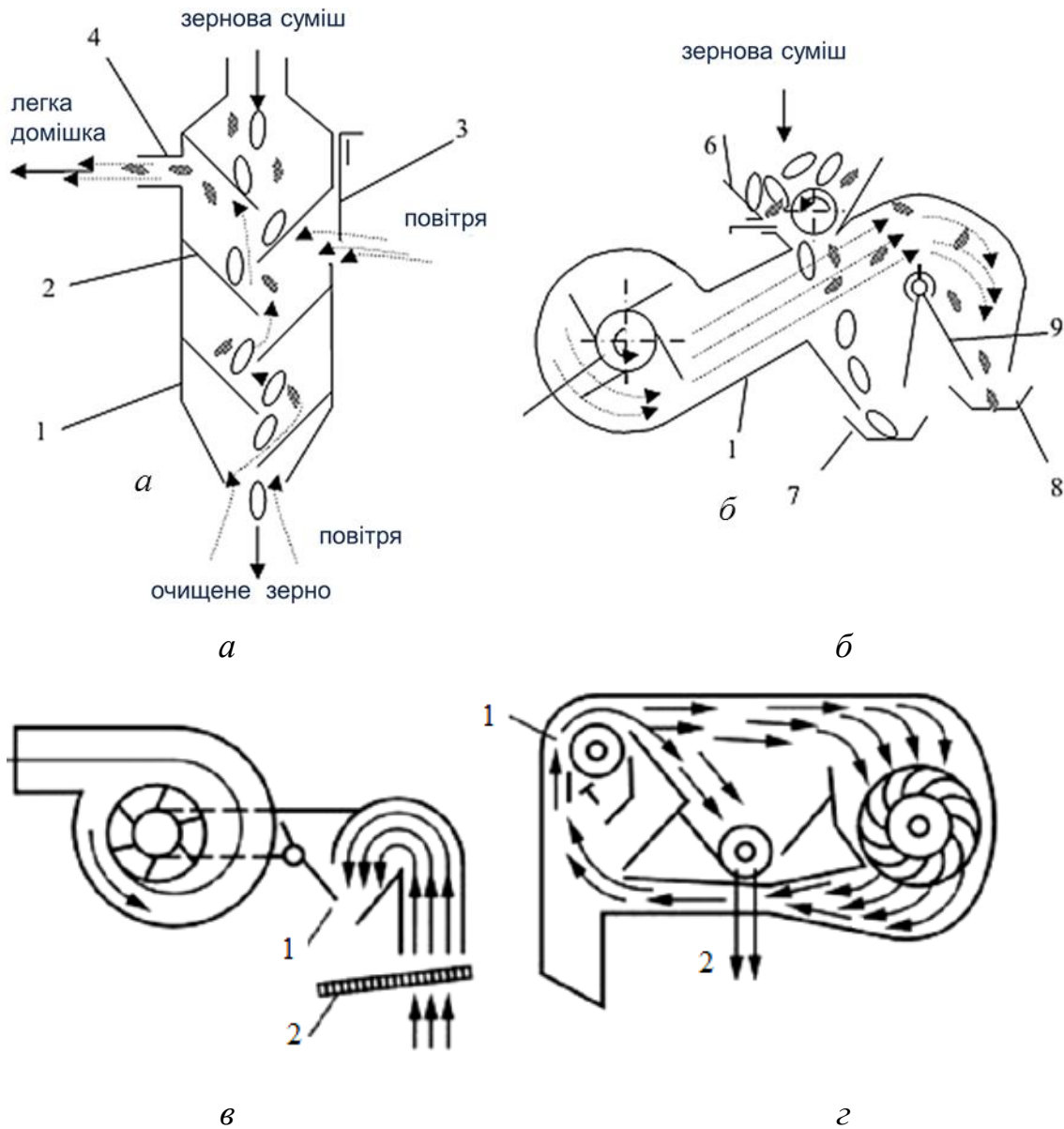


Рис. 1.1. Структурні та функціональні схеми сепараторів аеродинамічних: *а* – з вертикальним каналом; *б* – нахилений канал: 1 – корпус каналу; 2 – напрямна планка; 3 – регулятор потоку; 4 – вихід для домішок; 5 – генератор повітряного потоку; 6 – місткість для вихідної суміші; 7 – лотік чистого зерна; 8 – лотік для домішок; 9 – напрямна потоку; *в* – з відцентровим генератором потоку; *г* – з діагональним генератором потоку: 1 – домішки легші за зерно; 2 – очищене зерно. [4, 5]

Найпростіші та найпоширеніші схеми аеродинамічних систем сепарування подано на рис. 1а та рис. 1б. Більш складні системи у яких передбачено певну організацію руху повітря зображено на рис. 1в та рис. 1г.

У технологічній схемі із каналом вертикальним (рис. 1а) вихідна зернова сумішка подається зверху у потік повітря який рухається знизу та збоку. Під дією потоку повітряного певної швидкості легкі домішки видаляються через канал 4 а зерно культурної рослини опускається донизу і виходить назовні. При цьому такого типу аеродинамічні сепаратори дають змогу відокремити від основного зерна частинки які мають меншу вагу – полова, шупле зерно, різного типу оболонки та пил. Тобто, виконується тільки одна технологічна операція – відокремлення від зерна легших від нього домішок.

Схема аеродинамічного сепаратора на рис. 1б дещо ускладнена. Так, вихідна зернова сумішка подається у повітряний потік який генерується вентиляційним пристроєм у сепараційній камері. Під дією тиску потоку повітряного легкі домішки та шуплі зернини відокремлюються від основного зерна. Таким чином відбувається розділення вихідної сумішки на дві фракції – чисте зерно та домішки. За умови вищої інтенсивності потоку повітряного до відходів може потрапити і непоганої якості зерно яке може бути використане у кормових цілях для тварин. Тому важливо встановити потрідну швидкість повітря та необхідну подача зернового потоку оскільки велика подача погіршує якість відокремлення складників. [4, 5]

Структурна схема аеродинамічного сепаратора на рис. 1в передбачає можливість поділу складових вихідної зернової сумішки на складові з використанням геометричних ознак. Для цього використовується решето. Компоненти які легші за основне зерно піднімаються під дією відсмоктуючого повітряного потоку з решета і спрямовуються назовні. Зерно буде знаходитись у псевдозрідженому стані на решеті, що покращує ефективність його сепарування. Такого типу обладнання використовує комбінований підхід до поділу вихідної зернової сумішки на фракції які можуть бути відмінні як за аеродинамічними характеристиками так і за геометричними розмірами.

На рис. 1.2 подана схема аеродинамічного сепаратора із діагональним типом генератора повітряного потоку. Цей пристрій також працює за принципом відсмоктування легких забруднень від вихідної зернової сумішки. Тому він не може виконувати додаткові функції наприклад калібрування за вагою на декілька фракцій.

1.2. Оцінка конструкцій аеродинамічних сепараторів промислового виробництва

Аеродинамічний сепаратор РЗ-БАБ використовує принцип вертикального повітряного потоку (рис. 1.2).

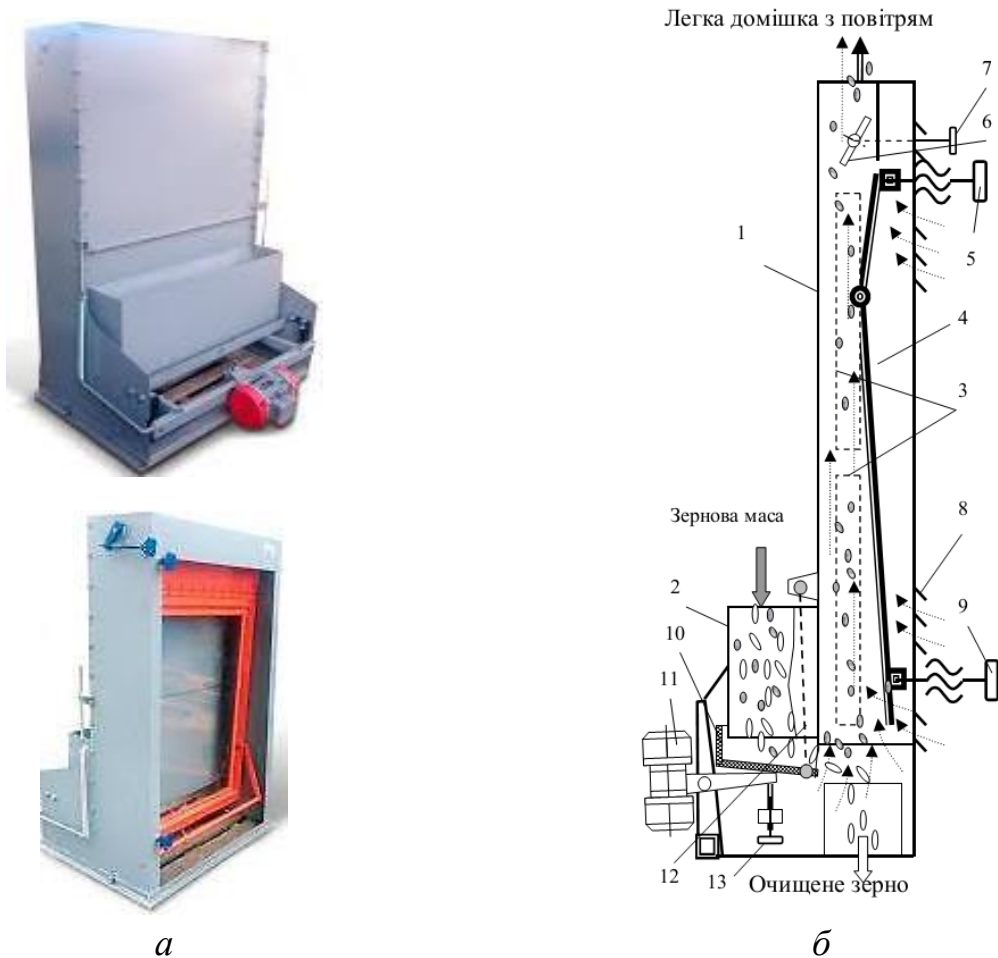


Рис. 1.2. Сепаратор аеродинамічний РЗ-БАБ: *а* – вигляд взагальному; *б* – структурно-функціональна схема роботи; 1 – основа; 2 – завантажувальна камера; 3 – вікно для спостереження; 4 – стійка глуха; 5, 7, 9 – обертове регулювання; 6 – заслінка для повітря; 8 – отвори жалюзійні; 10 – вібропривод

лотіка; 11 – електрозбуджувач вібрацій; 12 – підвішування лотіка; 13 – регулятор-обмежувач [5]

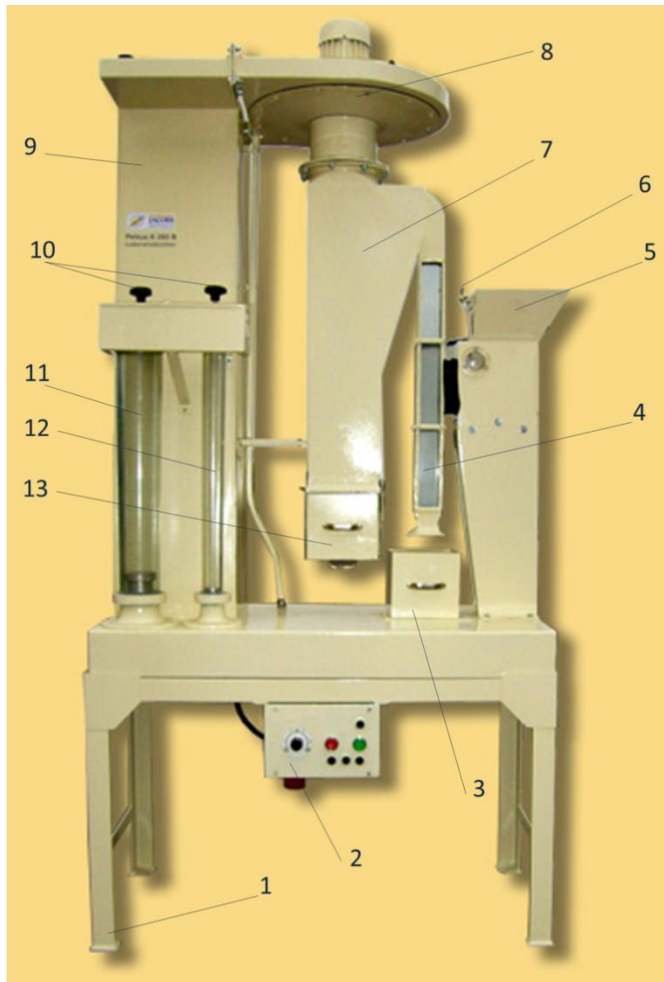
Відокремлення легких домішок від основного зерна здійснюється у вертикальному каналі за рахунок меншої швидкості критичної (рис. 1.2). Зерно у потоці повітря із критичною швидкістю для домішок легких провалюється донизу де збирається та направляється на подальшу переробку. Для рівномірного спрямування вихідної зернової сумішки до робочої зони використовується лотік вібраційний із відповідним електричним коливальним приводом. Межі амплітуди коливальних рухів регулюються за допомогою спеціального регулювального пристрою. принцип регулювання полягає у встановленні необхідної відстані між спеціальними вантажами за допомогою гвинтового механізму. Для передачі коливальних зусиль до подаючого лотіка використовується спеціальна система підвішування а межі коливальних амплітуд мають обмеження. [5, 6]

За рахунок зміни площі каналу при незмінній подачі генератора тиску повітря змінюється швидкість руху повітря яку підлаштовують під критичну швидкість того чи іншого компонент вихідної зернової сумішки. Кількість повітря можна змінювати за допомогою повітряної заслінки 6 для реалізації заданої продуктивності. [5, 7]

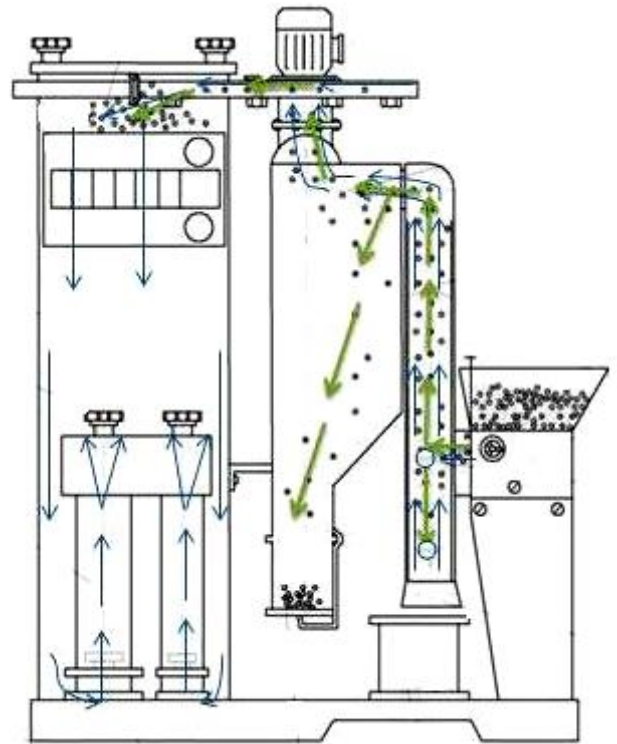
Такого типу обладнання може використовуватись тільки для відділення від вихідної зернової сумішки легких домішок. Інші технологічні операції наприклад поділ на фракції та калібрування недоступними. Тому аеродинамічний сепаратор РЗ-БАБ використовується у лініях очищення від пилу як додаткове технологічне обладнання при сепаруванні, калібрування та інших операціях.

Розділення компонентів вихідної зернової сумішки у вертикальному потоці із утворенням двох окремих фракцій – чисте зерно та домішки використовується обладнання відомої німецької фірми Pektus (рис. 1.3). На відміну від РЗ-БАБ у обладнання фірми Pektus передбачено видалення важких включень, важчих від зерна домішок. Тобто. Фактично спосіб поділу зернової

сумішки майже не відрізняється від попередньої машини, також використовується система відсмоктуючої дії потоку повітряного. Таку систему можна назвати системою аналогічною до дії пилосмока.



а



б

Рис. 1.3. Загальний вигляд повітряного сепаратора фірми Pektus: а – вигляд загальний; б – структурно-технологічна схема роботи: 1 – основа; 2 – кнопкова панель; 3 – місткість для важких включень; 4 – повітряний канал; 5 – приймач; 6 – важіль регулювальний; 7 – повітряна камера; 8 – генератор тиску повітря; 9 – система фільтрації; 10 – система регулювання повітряним потоком; 11 – вимірювальний циліндр великих швидкостей (до 18 м/с); 12 – вимірювальний циліндр низьких швидкостей (до 3 м/с); 13 – чисте зерно. [6]

Аеродинамічний сепаратор фірми Pektus на рис. 1.3 використовують для лабораторних цілей на приймальних пунктах зернопереробних підприємств а також для сортування насіння трав та інших культур.

Недоліком такого обладнання можна вважати відсутність можливості отримання декількох фракцій насіння яке відмінне за своїми ваговими властивостями. Для задоволення потреби саме такого процесу промисловість пропонує аеродинамічні сепаратори типу САД вітчизняного виробника ТОВ «АЕРОМЕХ» (рис. 1.4). [6]

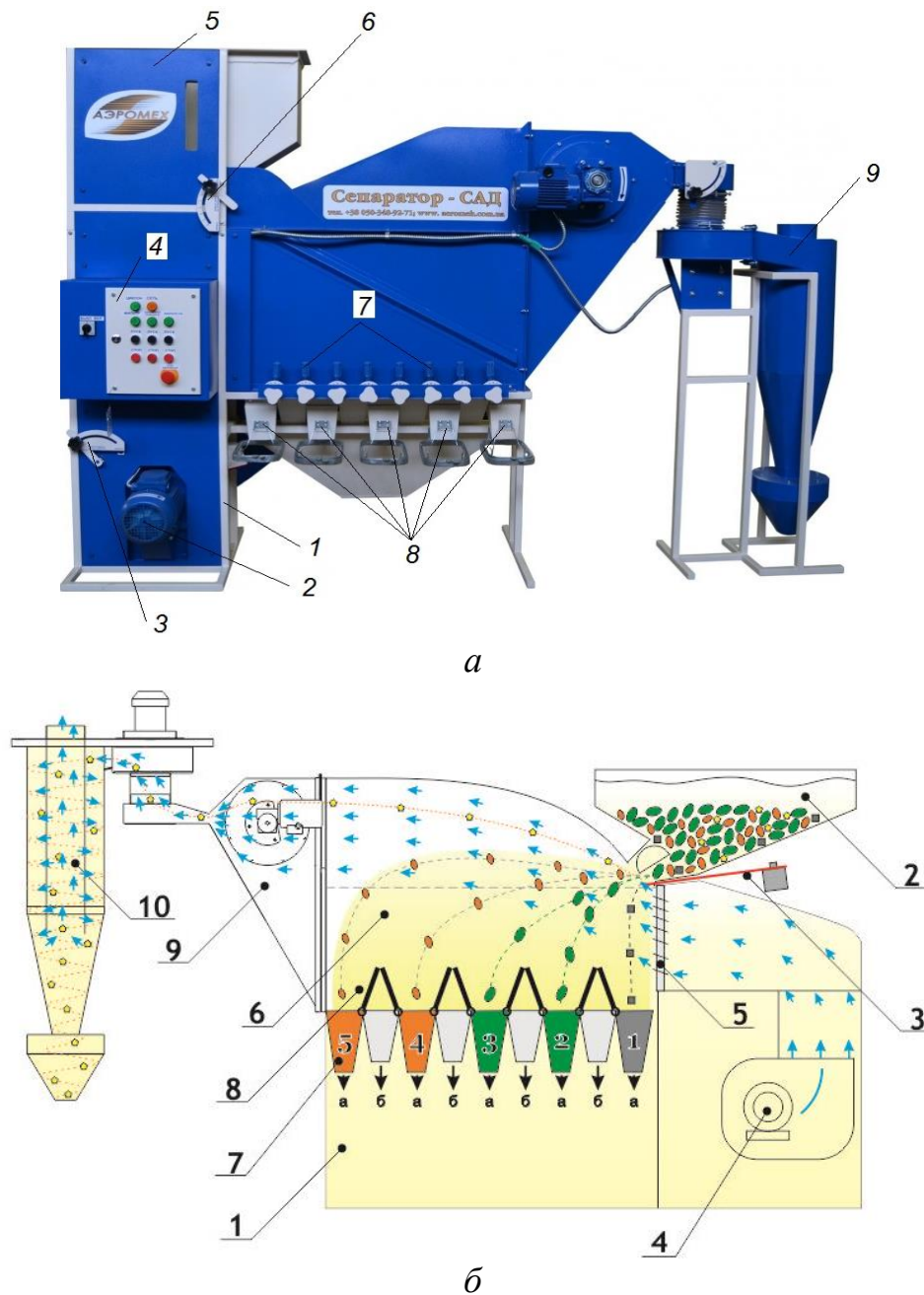


Рис. 1.4. Сепаратор аеродинамічний типу САД: *а* – вигляд загальний: 1 – рама; 2 – привод вентилятора; 3 – керування подачею вентилятора; 4 – пульт

кнопковий; 5 – місткість для вихідної зернової сумішки; 6 – важіль подачі вихідної зернової сумішки; 7 – важелі заслінок відповідних зон фракцій; 8 – вихід відповідних фракцій; 9 – пиловий циклон; б – технологічна схема роботи: 1 – сепаратор; 2 – місткість для вихідної зернової сумішки; 3 – лотік вібрації; 4 – генератор потоку повітря; 5 – повітряний спрямовувач; 6 – внутрішній об'єм сепарування; 7 – вихідні фракції; 8 – регульовані заслінки; 9 – система повітряна; 10 – циклон пиловідокремлювач.

Основною позитивною ознакою аеродинамічних сепараторів є не тільки відокремлення від вихідної зернової сумішки легких домішок, а й поділ очищеного зерна на чотири однорідні за властивостями фракції. Кожна із фракцій має свою категорію питомої ваги зернинки (рис. 1.5), окрім цього відокремлення зараженого зерна буде сприяти тривалому зберіганню та якісним сходдам посівного зерна.

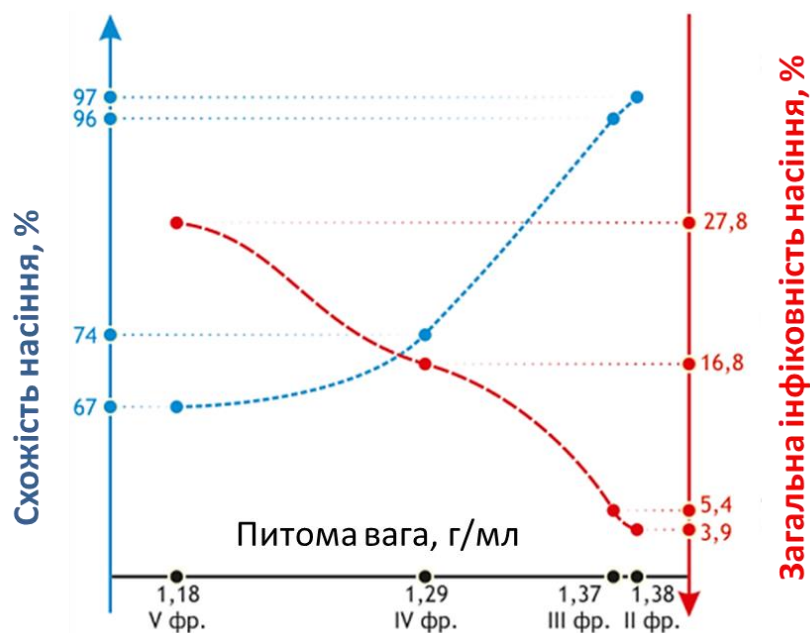


Рис. 1.5. Значення питомої ваги зернин у відповідній фракції та вплив на зараженість та рівень схожості. [6, 8]

При роботі аеродинамічного сепаратора типу САД (рис. 1.4б) у першу фракцію потрапляють важкі домішки (мінеральні та органічні), у другу та третю фракцію надходить найбільш гарне та важке зерно яке можна

використати як посівний матеріал, у четверту та п'яту фракцію надходить зерно яке може бути використане як продовольче або фуражне.

Процес роботи аеродинамічного сепаратора типу САД полягає в тому що вихідна зернова сумішка подається у повітряний потік який створюється вентилятором. Для рівномірної подачі вихідної зернової сумішки у повітряний потік використовується вібраційний лотік, завдяки такому рішенню підвищується ефективність сепаратора. За допомогою повітряного генератора повітряний потік спрямовується у порожнину сепарування під певним кутом, який є фіксованим незалежно від режимів роботи та налаштувань виходу фракцій.

Відповідно до даних виробника продуктивність обладнання суттєво залежить від стану вихідної зернової сумішки – її вологості та засміченості (табл. 1.1. та табл. 1.2). [6, 8]

Таблиця 1.1.

Коефіцієнт перерахунку продуктивності зерноочисної машини залежно від виду культури (ОСТ 10 10.2-2002) [8]

Культура	Об'ємна вага, кг/м ³	Коефіцієнт K_1
Горох	800	1,0
Пшениця	760	1,0
Кукурудза	700	1,0
Жито	700	0,9
Ячмінь	650	0,8
Гречка	650	0,7
Овес	500	0,7
Соя	720	0,7
Рис остистий	700	0,4
Цукровий буряк	300	0,4
Морква	480	0,1

Коефіцієнт перерахунку продуктивності зерноочисної машини залежно від вологості та засміченості зерна (ОСТ 10 10.2-2002) [8]

Вологість, %	Засміченість, %	Коефіцієнт K_2
до 18 включно	5	1,0
	10	0,9
	15	0,8
$\geq 19 \leq 22$	5	0,9
	10	0,8
	15	0,7
$\geq 23 \leq 26$	5	0,8
	10	0,7
	15	0,6
$\geq 27 \leq 30$	5	0,7
	10	0,6
	15	0,5

Як видно із таблиці 1.2. продуктивність аеродинамічного сепаратора знижується порівняно від заданої теоретичної в 4 т/год при збільшенні вологості вихідної зернової сумішки та її засміченості.

Висновки до розділу

1. Аеродинамічні сепаратори набули широкого використання для очищення зерна основної культури від легких домішок. Переважними варто вважати конструкції сепараторів які дозволяють додатково калібрувати очищене зерно на фракції однорідні за питомою вагою. Проте, для встановлення шляхів удосконалення необхідно провести дослідження роботи аеродинамічного сепаратора типу САД на різних режимах роботи.

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНОГО СЕПАРАТОРА

2.1. Встановлення показників та режимів роботи аеродинамічного сепаратора

Встановлення показників роботи аеродинамічного сепаратора відбувалось з використанням обладнання у лабораторії типу САД-4. Першим етапом було встановлення інтенсивності потоку повітря у робочому об'ємі де відбувається процес розділення вихідної зернової сумішки на фракції. Фракції мають бути з однаковими властивостями, наприклад мати максимально наближені значення вали частинок між собою. В нашому випадку це один із показників технологічної властивості компонентів – натура. Натурою називається кількість зернин які знаходяться у одному літрі об'єму.

Методика проведення досліджень полягала в наступному. Для початку заповнювали приймальну місткість вихідною зерновою сумішкою у кількості яка відповідала 10 літрам. При цьому визначали натуру кожного літра при відборі від загального накопичувача і встановлювали середнє значення натуре вихідної зернової сумішки ρ_e за формулою, кг/л: [9, 10, 11, 12, 13]

$$\rho_e = \frac{\sum \rho_{ei}}{n_{ei}}, \quad (2.1)$$

де ρ_{ei} – натура кожного конкретного виміру, кг/л;

n_{ei} – кількість вимірів, шт.

Під час проведення досліджень проводили певні налаштування. Так встановлювали необхідне положення важелів які відповідають за зміну подачі вихідної зернової сумішки у робочу камеру сепарування та змінювали положення важеля який відповідає за інтенсивність генерування повітряного потоку. Проведення досліджень вказали на відмінні результати для ідентичної вихідної зернової сумішки. При цьому положення важелів які керували спрямовувачами для кожної фракції залишали незмінними. Це означало що

машина налаштована на один і режим – режим попереднього очищення. такий режим передбачає потрапляння складових вихідної зернової сумішки тільки під дією потоку повітря, що сприяло вищій достовірності отриманих результатів. Для кращого розуміння досліду, результати одного із досліджень подамо у вигляді таблиці 1.1, а середнє значення натури для кожної фракції встановимо за формулою (2.1).

Таблиця 2.1

Встановлення параметрів вихідної зернової сумішки

	Значення натури за виміром, г/л									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ρ_{ei}	747	749	764	742	745	739	748	744	737	748
ρ_e	746,5									

Середнє значення показника натури для десяти вимірів становить 746,5 г/л, хоча максимальне значення спостерігалось у третьому вимірі – 764 г/л. Це вказує на присутність у вихідній зерновій сумішці різних компонентів, котрі відрізняються за технологічними властивостями.

Загальні результати трьох досліджень для різних значень положень важелів для зміни інтенсивності потоку та подачі вихідної зернової сумішки подали у вигляді таблиці 2.2 та таблиці 2.3.

За результатами отриманих даних у таблицях 2.2 та 2.3, можна сказати про присутність в одній фракції частинок які достатньо відрізняються за питомою вагою. Так у другій фракції (табл. 2.2) присутнє зерно із натурою 725 г/л та 733 г/л (перший та третій виміри) при максимальному значенні натури 776 г/л (четвертий вимір). При цьому, у третій фракції є виміри які переважають значення для другої фракції, зокрема 731 г/л, що більше 725 г/л і максимально близьке до 733 г/л. За результатами досліджень викладених у таблиці 2.3 також спостерігається деяка відмінність у натурі за фракціями. Так, у четвертій фракції є вимір із значенням 761 г/л, що більше 759 г/л у другій фракції.

Результати лабораторних досліджень встановлення виходу кожної фракції при подачі зерна «1» і повітряного потоку «3»

Кількість вимірів	Значення натури (ρ_{ei}) у фракції, г/л				
	1	2	3	4	5
1	778	725	710	702	685
2		746	723		
3		733	731		
4		776			
5		758			
6		775			
7		756			
ρ_e	778	752,7	721,3	702	685

Таблиця 2.3

Результати лабораторних досліджень встановлення виходу кожної фракції при подачі зерна «2» і повітряного потоку «4»

Кількість вимірів	Значення натури (ρ_{ei}) у фракції, г/л				
	1	2	3	4	5
1		792	778	746	714
2			759	761	694
3			763	725	672
4				722	
5				737	
ρ_e	-	792	766,7	738,2	693,3

Відмінні значення які отримали в розрізі кожного досліді вказують на недосконалу систему розподілу повітряного потоку наявним повітряним генератором потоку. На це вказує присутність зернин із сусідніх фракцій у вибраній фракції. Так зернина яка має бути у третій фракції потрапляє до другої

і інколи до четвертої. Такий стан речей не є критичним. Більше занепокоєння викликає присутність якісних зернин із другої фракції у третій і навіть у четвертій. Це спричинить нераціональне використання наприклад посівного матеріалу із другої фракції.

Причиною можливого потрапляння зернин не у свої фракції може бути нерівномірність повітряного потоку. З цією метою виконаємо дослідження повітряного тиску спричиненого потоком повітря у робочому перерізі об'єму для проведення сепарування. Для цього будемо використовувати анемометр, оскільки швидкості повітряного потоку мають перевищувати 1 м/с, що є мінімальною величиною для даного типу приладів.

Методика досліджень наступна. Для початку вихідний переріз потоку повітря розділяємо на зони (рис. 2.1).

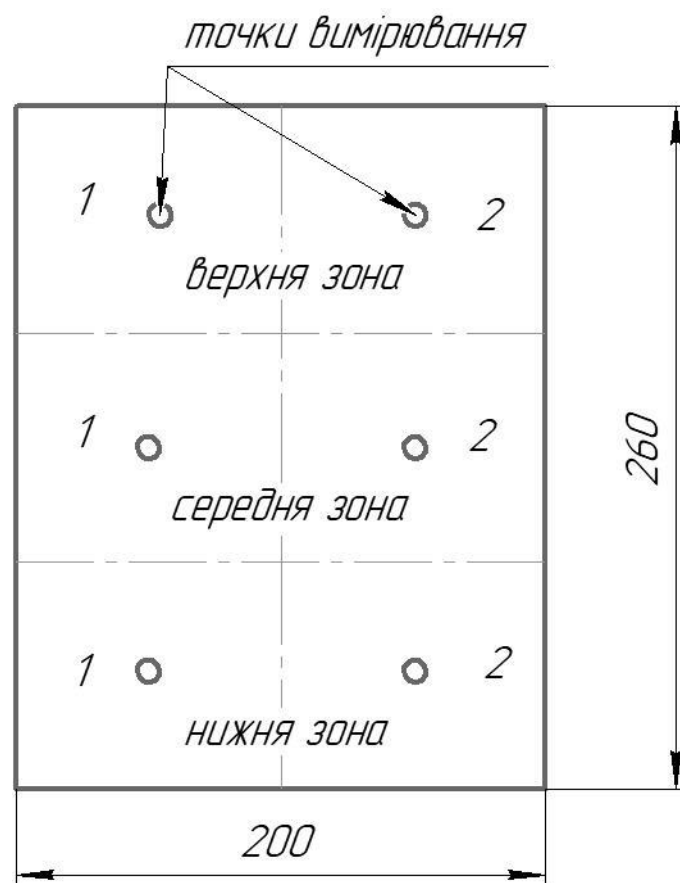


Рис. 2.1. Зони вимірювання швидкостей повітря у каналі сепарування.

Методика встановлення фактичної швидкості повітряного потоку у робочій зоні сепарування наступна. У кожній сформованій зоні (рис. 2.1)

вимірюється значення швидкості переміщення повітряного потоку у двох точках. Отримані результати заносимо у таблицю 2.4.

Таблиця 2.4

Результати виміру швидкості потоку повітряного

Зона виміру	Точка виміру	Швидкість потоку (м/с) за положення важеля подачі повітря													
		1		2		3		4		5		6		7	
		вимір	середня	вимір	середня	вимір	середня	вимір	середня	вимір	середня	вимір	середня	вимір	середня
Верхня	1	2,6	2,5	4,2	4,2	6,1	6,2	8,8	8,7	10,7	10,9	12,2	12,1	13,6	13,5
	2	2,4		4,2		6,3		8,6		11,1		12,0		13,4	
Середня	1	2,1	2,2	3,6	3,9	5,4	5,6	3,9	8	9,9	10	10,7	11,8	13,4	13,2
	2	2,3		3,2		5,8		4,1		10,1		11,9		13,0	
Нижня	1	1,1	1,2	1,9	1,8	2,8	2,7	3,7	3,8	4,6	4,4	5,4	5,5	6,5	6,4
	2	1,3		1,7		2,6		3,9		4,2		5,6		6,3	

Результати вимірів поданих у таблиці 2.4 підтвердили висловлену раніше думку що причиною потрапляння зернин у не свою фракцію викликано нерівномірним повітряним потоком у камері розділення. Це можна пояснити тим, що зерно з різною масою має різне початкове прискорення тому може зайняти в початковий момент різне положення у потоці зернової сумішки у робочому каналі. Так, швидкість потоку повітряного у нижній зонах точок виміру (табл. 2.4) суттєво відрізняється від швидкісних значення у верхній та середній зонах. Причому значення вимірів швидкостей потоку повітряного у верхній та середній зонах мають незначні відмінності, якщо оцінювати по середньому значенню показника, а на позначках полдоження важеля регулювання подачі «6» та «7» виміряні значення майже однакові і відрізняються лише на 0,3 м/с. Що стосується нижньої зони вимірів, то відхилення від показів вимірів верхньої зони становить від 1,3 до 7,1 м/с при

зміні положення важеля керування потоком повітряним від «1» до «7», а порівняно із середньою зоною ці відхилення становлять від 1,0 до 6,8 м/с при зміні положення важеля керування потоком повітряним від «1» до «7».

Таким чином, для вирішення проблеми розподілу потоку повітряного та його рівномірності необхідно удосконалити повітряний спрямовувач.

2.2. Обґрунтування напрямку удосконалення системи розподілу повітряного потоку

Повітряний спрямовувач серійного обладнання не забезпечує рівномірного розподілу потоку повітряного тому удосконалення будемо проводити в напрямку пошуку конструкційного рішення вказаної проблеми. Дослідження викладені у таблиці 2.4 вказують на суттєву нерівномірність потоку повітряного саме у нижній зоні повітряного каналу для сепарування. Зрозуміло, що потоку повітря, навіть за максимального значення 6,5 м/с при положення «7» недостатньо для калібровки зерна пшениці, для якої критична швидкість може перевищувати 8 м/с [6, 7, 14]. За таких умов важча зернинка потрапить у першу фракцію яка вважається фракцією для важких відходів і буде утилізована, що неприйнятно, оскільки це є втрати.

За умови потрапляння у нижні шари потоку продукту легших зернин незначна сила потоку повітряного буде не змозі перемістити таку зернину у свою фракцію. В такому випадку зернина легша потрапить до фракції із більшим середнім значенням вимірів натури. Саме це спостерігається відповідно до даних таблиць 2.2. та 2.3, а дані подані у таблиці 2.4 підтверджують описану вище проблему.

Для усунення вказаних конструкційних прорахунків у серійному обладнанні у кваліфікаційній роботі пропонується власна розробка повітряного спрямовувача, схема якого подана на рис. 2.2. Метою розробки є вирівнювання інтенсивного повітряного потоку у всіх трьох зонах вихідного перерізу камери сепарування.

Конструкційно, розроблений повітряний спрямовувач виконаний у вигляді окремого вузла який має встановлюватись на місце серійної конструкції. Для спрямування потоку повітряного використовуються рухомі пластинки, кут положення яких (α) можна за потреби змінювати за допомогою регулювального пристрою.

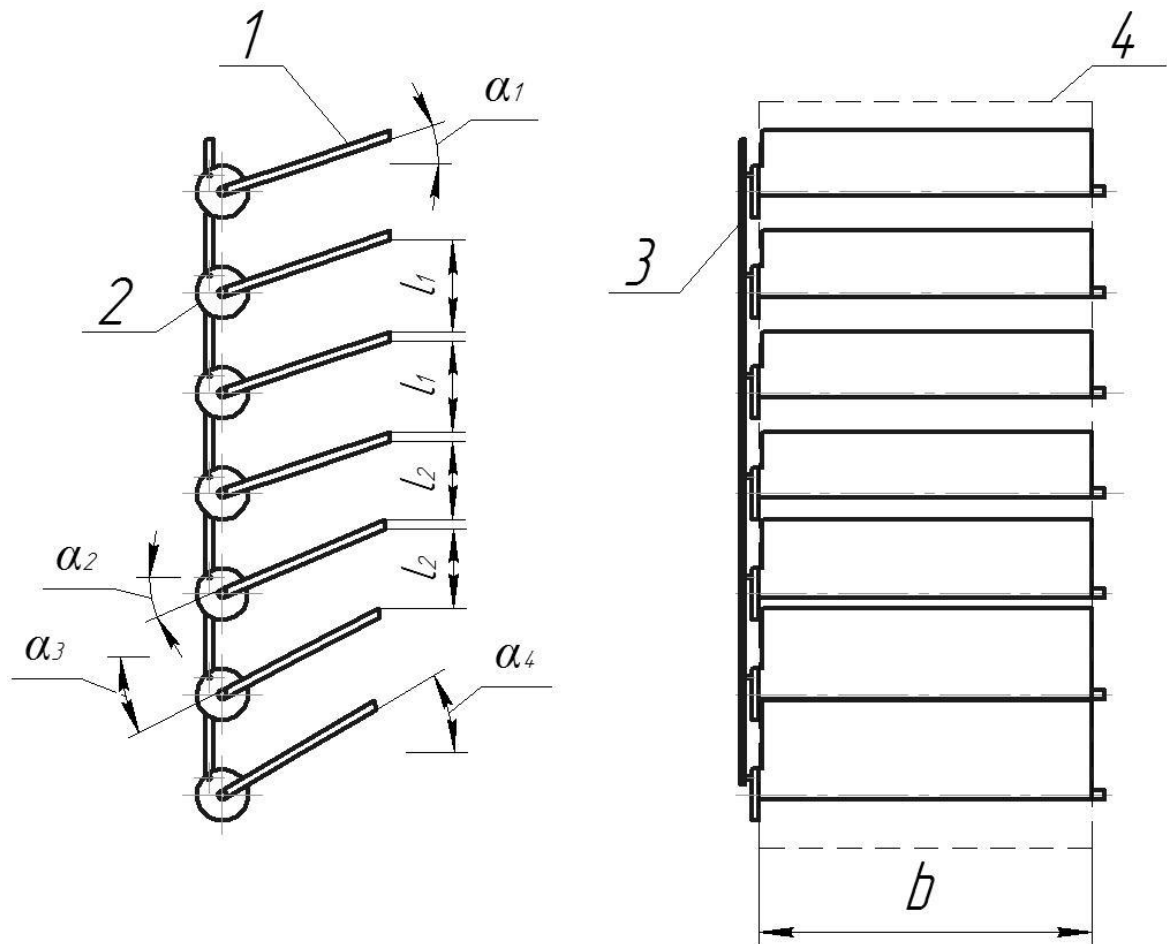


Рис. 2.2. Схема конструкції розробленого повітряного спрямовувача: 1 – рухома пластинка; 2 – диск пластинки; 3 – з’єднувальна планка; 4 – контури каналу сепарації.

Початкове положення пластин визначається їх кутом установки таким чином щоб забезпечити однакову інтенсивність потоку повітряного по всій висоті повітряного спрямовувача. Для цього відстані між краями пластинок у верхній і середній зонах (l_1) більші ніж у нижній зоні (l_2). Кути установки пластинок у корпусі пристрою обрані таким чином, щоб виконувалась умова кутів установки $\alpha_2 > \alpha_1$. Чим на більшу позначку встановлюється важіль подачі потоку повітряного тим більша різниця між показами швидкості потоку між

нижньою зоною і двома іншими зонами (див. табл. 2.4). В такому випадку передбачене регулювання яке передбачає встановлення кутів таким чином щоб виконувалось наступне кутове співвідношення $\alpha_4 > \alpha_3 > \alpha_2$ (рис. 2.2). Під час налаштування аеродинамічного сепаратора із розробленим повітряним спрямовувачем необхідно відповідно до важеля подачі повітря встановити положення пластинок через регулювальний пристрій.

Висновки до розділу

1. Встановлено, що після процесу калібрування у другій фракції виявили зерно натура якого значно менша ніж в середньому по фракції, а у третій фракції є виміри натури які переважають значення для другої фракції. Відмінні значення які отримали в розрізі кожного досліду вказують на можливу недосконалість системи розподілу повітряного потоку наявним повітряним генератором потоку. Це може спричинити до нераціонального використання посівного матеріалу.

2. За результатами проведених вимірювань встановлено що швидкість потоку повітряного у нижній зонах точок виміру суттєво відрізняється від швидкісних значення у верхній та середній зонах. Так, виміри у нижній зоні вказали на зниження інтенсивності потоку повітряного від 1,3 до 7,1 м/с порівняно із вимірами верхньої зони та від 1,0 до 6,8 м/с порівняно із середньою зоною при зміні положення важеля керування потоком повітряним від «1» до «7». Це вказує на необхідність удосконалення системи розподілу потоку повітряного.

3. Для усунення конструкційних прорахунків серійного обладнання у кваліфікаційній роботі розроблено повітряний спрямовувач. Потік повітря змінює свою інтенсивність за рахунок зміни вихідної площі між рухомими пластинками шляхом зміни їх кутів установки. Кут установки пластинок нижньої зони встановлено більшим ніж верхньої і середньої зон.

РОЗДІЛ 3

ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО АЕРОДИНАМІЧНОГО СЕПАРАТОРА

3.1. Встановлення конструкційних та геометричних параметрів повітряного генератора

На будь-яку зернинку у похилому повітряному потоці будуть діяти сили які прагнуть пересунути її як в напрямку потоку так і в протилежний бік, як зображено на рис. 3.1. [12, 13, 15]

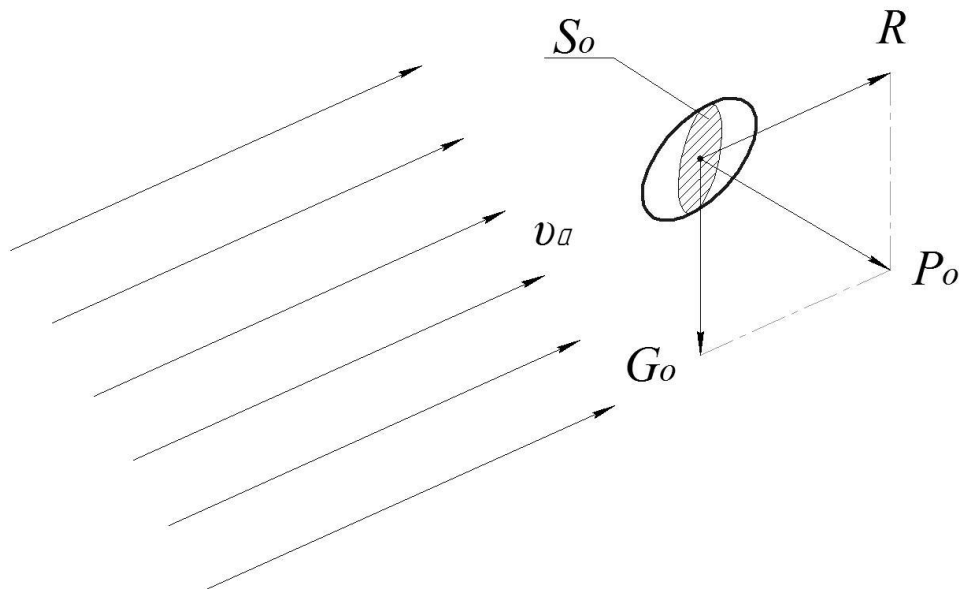


Рис. 3.1. Сили та напрямки їх дії у потоці повітряному із інтенсивністю v_a : S_o – мідельний переріз зернини; G_o – сила ваги; R – аеродинамічна сила опору; P_o – сила рівнодіюча для зернинки.

Векторно переміщення зернинки в потоці повітряному буде спрямована вздовж сили яка є рівнодіючою (P_o). Сила опору аеродинаміки при переміщенні зернинки з врахуванням залежності (2.1) для похилого потоку повітряного визначається за формулою: [12, 13, 15]

$$R = \frac{1}{2} k_o \cdot \rho_a \cdot S_o \cdot (v_a - u_o)^2, \quad (3.1)$$

де R – аеродинамічного сила опору, Н;

u_o – швидкість переміщення зернини, м/с;

v_a – швидкість переміщення потоку повітряного, м/с.

Критична швидкість (v_k) настає коли врівноважується сила ваги (G_o) та сила аеродинамічного опору (R). Оскільки $G_o = m_o \cdot g$, то можемо записати:

$$v_k = \sqrt{\frac{2 \cdot m_o \cdot g}{k_o \cdot \rho_a \cdot S_o}}. \quad (3.2)$$

Швидкість повітря рівноважна при збільшенні перерізу мідельного буде зменшуватись за умови незмінної ваги зернівки. Результати обрахунку за формулою (3.2) подано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Залежність швидкості потоку критичної від площі мідельного перерізу зернини пшениці

$S_o, \text{мм}^2$	Швидкість потоку критична v_k при початковій швидкості потоку повітря v_a , м/с		
	6	8	12
5,98	5,77	7,94	11,44
7,29	4,58	6,33	11,07
8,06	4,07	5,62	10,04
8,58	3,75	5,20	9,42
9,16	3,44	4,78	8,79

На критичну швидкість може впливати не тільки площа перерізу мідельна зернини а і її густина, тобто маса конкретної частинки при однаковій площі мідельній. В такому випадку траєкторія переміщення зернинки має бути більш крутішою за умови однакової інтенсивності потоку повітряного. Проте у важкої зернинки зміщений центр ваги у бік зародка, тому в загальному випадку площа перерізу мідельного буде майже незмінною.

Величину відкривання рухомих пластин у нижній зоні можна визначити з врахуванням потоку повітря у верхній зоні використовуючи відомі залежності, а саме умову нерозривності потоку. [14, 16, 17]

За стандартної величини перерізу подача потоку повітря, відповідно до умови нерозривності потоку, буде становити, м³/с:

$$Q_a = v_a \cdot S_{bl}, \quad (3.3)$$

де S_{bl} – площа перерізу простору між сусідніми пластинками довжиною b та зазором між ними l , м² (див. рис. 2.2).

Виконаємо обрахунки для положення «4» важеля подачі потоку повітря, на основі даних таблиці 2.4:

- для верхньої зони, м³/с:

$$Q_{a1} = 8,7 \cdot 0,004 = 0,0348;$$

- для нижньої зони, м³/с:

$$Q_{a2} = 3,8 \cdot 0,004 = 0,0152.$$

Щоб вирівняти швидкість потоку до 8,7 м/с в нижній зоні площа перерізу простору між сусідніми пластинами визначається як, м²:

$$S_{bl_2} = \frac{Q_{a2}}{Q_{a1}} \cdot S_{bl_1}, \quad (3.4)$$

$$S_{bl_2} = \frac{0,0152}{0,0348} \cdot 0,004 = 0,001747.$$

З врахуванням однакової довжини пластинок ($b=0,2$ м) зазор між ними у нижній зоні (l_2) має становити, м:

$$l_2 = \frac{S_{bl_2}}{b}, \quad (3.5)$$

$$l_2 = \frac{0,001747}{0,2} = 0,00874.$$

Застосувавши геометричне моделювання розрахуємо необхідні значення відстані між пластинками розробленої схеми спрямовувача для кожного положення важеля подачі потоку повітряного. Результати обрахунку подамо у таблиці 3.2 з врахуванням заданої різниці між швидкостями потоку повітряного верхньої та середньої зон для підтримання траєкторії частинки.

Таблиця 3.2

Результати розрахунку відстані між пластинками нижньої зони
розробленої схеми спрямовувача

Нижня зона	Відстань між пластинками (мм) за положення важеля подачі повітря						
	1	2	3	4	5	6	7
Розрахункова l_2	9,8	10,0	10,85	10,36	9,78	9,65	9,17
Конструкційна l_2	10	10	11	10	10	10	9

Відповідно до таблиці 3.2 значення зазору між пластинками збільшується від положення «1» до положення «3» та зменшується від положення «4» до положення «7» що вказує на нерівномірність потоків серійною вентиляційною системою, яку залишаємо без змін. Для перевірки результатів необхідно виконати лабораторні дослідження.

3.2. Порівняльна оцінка ефективності удосконаленого сепаратора із прототипом

Виконані конструкційні розрахунки дозволять спроектувати запропоновану конструкцію повітряного спрямовувача. Після виготовлення розробленого спрямовувача повітря його встановити до серійного обладнання та провели лабораторні випробовування. Результати лабораторних випробовування розробленої конструкції спрямовувача повітря подані у вигляді таблиці 3.3, для кращого розуміння отриманої інформації.

Результати дослідження розробленого спрямовувача

Зона виміру	Швидкість потоку (м/с) за положення важеля подачі повітря						
	1	2	3	4	5	6	7
Верхня	2,5	4,2	6,2	8,7	10,9	12,1	13,5
Середня	2,2	3,9	5,6	8,1	10	11,8	13,1
Нижня	1,9	3,5	5,1	7,6	9,5	11,4	12,6

Доцільність використання розробки полягає у підвищенні ефективності калібрування зернин що дозволить зменшити ступінь потрапляння зернин у «не свої» фракції. В наслідок цього підвищиться кількість і якість насінневого зерна, що у підсумку сприятиме підвищенню врожайності сільськогосподарських культур на 3-5%.

При середній врожайності зернових на рівні 50 ц/га приріст у 3-5% дозволить отримати 51,5-52,5 ц/га, а для площі у 200 га додатково продукції отримаємо від 30000 до 50000 кг зернових. В такому випадку, додаткові грошові надходження у рік становитимуть, грн:

$$B = C_z \cdot G_z, \quad (3.6)$$

де C_z – ціна зерна на ринку, грн/т; [18]

G_z – збільшення обсягу зібраного врожаю, т.

$$B = 10500 \cdot (30...50) = 315000...525000.$$

Додаткові витрати мають враховувати вартість проектування та виготовлення розробленого спрямовувача повітря. витрати на електроенергію та оплату праці обслуговуючого персоналу залишаються незмінними, тобто аналогічними щодо використання прототипу.

Відповідно, додаткові витрати стосуватимуться відрахувань на поновлення техніки із-за збільшення вартості при балансі, яка визначається за

відомою методикою [19] поданою в додатках. Таким чином різниця у витратах, з врахуванням ринкової вартості обладнання [20], становитиме, грн:

$$\begin{aligned} \Pi &= \frac{C_n \cdot \alpha}{100} - \frac{C_p \cdot \alpha}{100}, \\ \Pi &= \frac{135000 \cdot 15}{100} - \frac{125000 \cdot 15}{100} = 48750. \end{aligned} \quad (3.7)$$

Отже, запропонована розробка дозволяє господарству із 200 га посіву при збільшенні врожайності на 3% зернових отримати додатковий прибуток у кількості, грн.

$$H = 315000 - 48750 = 266250.$$

Додаткові витрати будуть повернуті протягом, років:

$$D = \frac{135000 - 125000}{266250} = 0,05.$$

Таким чином додаткові вкладення будуть повернуті через 0,8 місяців.

Висновки до розділу

1. За результатами проведених розрахунків встановлено конструкційні параметри розробленого спрямовувача повітря. Так, в нижній зоні відстань між пластинками для положення важеля зміни подачі потоку повітряного «1» та «2» відстань між пластинками має бути 10 мм, для положення «3» збільшитись до 11 мм, для положення «4», «5» та «6» – 10 мм, для останнього «7» положення – 9 мм. При цьому відмінність між повітряною швидкістю нижньої і середньої зон відповідатиме різниці швидкостей між верхньою і середньою зонами.

2. Додаткові витрати на розробку спрямовувача повітря окупляться протягом 0,8 місяців.

ВИСНОВКИ

1. Аеродинамічні сепаратори набули широкого використання для відокремлення від вихідної зернової сумішки легких включень з отриманням фракції очищеного зерна та фракції домішок. Сепаратор які дозволяють додатково калібрувати очищене зерно на фракції однорідні за питомою вагою значно функціональніші, тому їх використання є переважним. Проте ефективність таких сепараторів не перевищує 60 %.

2. Встановлено, по завершенні процесу калібрування у другій фракції виявили зерно натура якого значно менша ніж в середньому по фракції, а у третій фракції є виміри натури які переважають значення для другої фракції. Відмінні значення які отримали в розрізі кожного дослідів вказують на можливу недосконалість системи розподілу повітряного потоку наявним повітряним генератором потоку. За результатами проведених вимірювань встановлено що швидкість потоку повітряного для каналу сепарування у нижній зонах точок виміру суттєво відрізняється від швидкісних значення у верхній та середній зонах. Це вказує на необхідність удосконалення системи розподілу потоку повітряного.

3. У кваліфікаційній роботі розроблено повітряний спрямовувач із рухомими пластинками нижньої зони каналу сепарування. Потік повітря змінює свою інтенсивність за рахунок зміни вихідної площі між рухомими пластинками шляхом зміни їх кутів установки залежно від положення важеля подачі потоку повітряного. Для положення важеля зміни подачі потоку повітряного «1», «2», «4», «5» та «6» відстань між пластинками становить 10 мм, для положення «3» – 11 мм, для положення «7» – 9 мм. При цьому відмінність між повітряною швидкістю нижньої і середньої зон відповідатиме різниці швидкостей між верхньою і середньою зонами.

4. Додаткові витрати на розробку спрямовувача повітря окупляться протягом 0,8 місяців за рахунок приросту врожайності на 3-5% для господарства з площею посіву 200 га пшениці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв: навч. посібник / О. В. Дацишин, А. І. Ткачук, О. В., Гвоздев та ін. Вінниця: Нова книга, 2012. 488 с.
2. Богомолова О. В. Технологія переробки продукції рослинництва / за ред. О. В. Богомолова. Харків, 2015. 324с.
3. Михайлов Є. В., Білокопитов О. О. Методика визначення критичної швидкості складових зернового вороху. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2008. 2(3). С. 50–56.
4. Хомик Н. І., Олексюк В. П., Цьонь О. П. Механізація переробки та зберігання сільськогосподарської продукції : курс лекцій. Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2016. 288 с.
5. Антоненко Є. М. Особливості конструкцій аеродинамічних сепараторів. *Студентські читання–2024* : матеріали науково-практичної конференції. 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. Ч. 2. С. 17–19.
6. Сукманюк О. М., Медведський О. В. Технологічне обладнання післязбиральної обробки зернової маси : практичний посібник. Поліський національний університет, 2023. 124 с.
7. Механічні процеси і обладнання переробного та харчового виробництва. / П. С. Бернік, З. А. Стоцько, І. П. Паламарчук та ін. Львів : Львівська політехніка, 2014. 336 с.
8. Посібник з експлуатації. Аеродинамічний сепаратор. Кремінна: ТОВ «НВП Аеромех», 2016. 56 с.
9. Котов Б. І., Панцир Ю. І., Герасимчук І. Д., Грищенко В. О., Степаненко С. П. Моделювання процесу фракціонування зерна в пневматичних каналах при накладеному електричному полі. *Промислова гідравліка і пневматика*. 2018. 2(60). С. 65–73.
10. Бакум М. В., Крекот М. М., Абдуєв М. М., Сіняєва О. В. Результати досліджень впливу регулювальних параметрів на ефективність розділення

- насіннєвої суміші редиски пневматичним сепаратором з нахиленим каналом. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2016. 10/2. С. 67–71.
11. Харченко С. О., Бакум М. В., Абдуєв М. М., Крекот М. М., Сіняєва О. В. Виробничі випробування пневматичного сепаратора з нахиленим повітряним каналом. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка*. 2015. 22(8). С. 122–127.
12. Котов Б. І., Степаненко С. П. Закономірності руху частинок в пневмогравітаційному сепараторі при змінній швидкості горизонтального повітряного потоку. *Сільськогосподарські машини*. 2011. 35(7). С. 40–45.
13. Бакум М. В., Ольшанський В. П., Крекот М. М., Винокуров М. О. Дослідження параметрів руху часток в плоскому нахиленому каналі пневматичного сепаратора. *Науковий вісник ТДТАУ*. 2015. 5(2). С. 141–149.
14. Мерко І. Т., Моргун В. О. Наукові основи і технологія переробки зерна. Одеса : Друк, 2001. 348 с.
15. Антоненко Є. М. Теоретичні передумови аеродинамічного сепарування. *Наукові читання – 2025 : збірник тез доповідей науково-практичної конференції за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей*. 23 квітня 2025 р. Житомир: Поліський національний університет, 2025. С. 14–16.
16. Гусак О. Г., Шарапов С. О., Ратушний О. В. Гідрогазодинаміка : навчальний посібник. Суми : Сумський державний університет, 2022. 296 с.
17. Гайдамака А. В. Деталі машин. Основи теорії та розрахунків : навчальний посібник. Харків : НТУ ХПІ, 2020. 275 с.
18. Ціна на пшеницю в Житомирській області : веб-сайт. URL : <https://tripoli.land/ua/pshenitsa-furazh/zhitomir>.
19. Данильченко Л. М., Васильків В. В., Ткаченко І. Г. Ефективність інженерних рішень : навч. посібн. Тернопіль : ТНТУ, 2024. 248 с.
20. Сепаратор зерна САД-4 : веб-сайт. URL : <https://aeromehcad.com.ua/goods/separator-zerna-sad-4/zerna-sad-4/>.