

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

КОЛОДІЙ ОЛЕКСАНДР СЕРГІЙОВИЧ

УДК 62-79; 633.854.78

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО – ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПАРАМЕТРІВ ПНЕВМОГРАВІТАЦІЙНОГО СЕПАРАТОРА
НАСІННЯ СОНЯШНИКА

05.05.11 – Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва

Автореферат дисертації
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Мелітополь – 2015

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Таврійському державному агротехнологічному університеті Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник

кандидат технічних наук, доцент
Кюрчев Сергій Володимирович
Таврійський державний агротехнологічний університет, завідувач кафедри технології конструкційних матеріалів

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Завгородній Олексій Іванович,
Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, завідувач кафедри вищої математики

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник **Степаненко Сергій Петрович**
ННЦ «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», старший науковий співробітник відділу «Перспективних технологій та технічних засобів для збирання, обробки та зберігання зернових і олійних культур».

Захист відбудеться «30» жовтня 2015 р. о 13-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 18.819.01 у Таврійському державному агротехнологічному університеті за адресою: 72310, Запорізька область, м. Мелітополь, проспект Б. Хмельницького, 18

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Таврійського державного агротехнологічного університету за адресою: 72310, Запорізька область, м. Мелітополь, проспект Б. Хмельницького, 18

Автореферат розісланий «29» вересня 2015 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

І.П. Назаренко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Інтеграція України до Європейського простору вимагає високоефективного виробництва в агропромисловому секторі. Збільшення врожайності соняшнику, як однієї з основних сільськогосподарських культур, є важливим питанням, що потребує розробки нових та вдосконалення існуючих способів і засобів підготовки насіннєвого матеріалу. Відомо багато різних науково обґрунтованих методів збільшення врожайності соняшнику. Одним із способів є використання для сівби найбільш продуктивного насіння, яке одержується шляхом сепарування та має покращені насіннєві властивості. З літературних джерел відомо, і вченими було доведено, що відбір із загальної маси найбільш продуктивного насіння з найбільшим запасом поживних речовин, тобто, з великою масою 1000 штук насінин (80-100 г), дозволяє одержати збільшення врожайності на 3-5 ц з 1га.

Дані випробувань повітряних каналів серійних машин показують, що очищення та сортування насіння здійснюється в них з недостатньо високою якістю: після сепарації в «цінній» фракції залишається 20-30 % легкого (неповноцінного) насіння, а збільшення маси 1000 штук насінин складає всього 4,4 %. Це вказує на те, що можливості повітряного потоку використовуються далеко не повністю. Таким чином, необхідне створення принципово нових конструкцій повітряних каналів і способів розділення, які дають можливість підвищити якість розділення насіннєвого матеріалу.

У зв'язку з вище викладеним, дослідження, пов'язані з обґрунтуванням параметрів пневмогравітаційного сепаратора для насіння соняшника є своєчасними та актуальними.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Дисертаційна робота виконана у відповідності з «Державною цільовою програмою розвитку українського села на період до 2015 року», затвердженою розпорядженням Кабінету Міністрів України №1158 від 19 вересня 2007 року, та науково-дослідною роботою "Розробка технології та технічних засобів для рослинництва в умовах зрошувального землеробства півдня України» (№ держреєстрації 010700U08955) за тематичним планом НДДКР Таврійського державного агротехнологічного університету на 2011-2015 р. р.

Мета роботи. Підвищення технологічної та енергетичної ефективності процесу розділення насіння соняшника шляхом розробки нової конструкції пневмогравітаційного сепаратора та обґрунтування його конструкційно-технологічних параметрів.

Задачі досліджень. Відповідно до поставленої мети визначено такі задачі дослідження:

– вдосконалити технологічний процес пневмосепарації, який забезпечував би якісне розділення насіння соняшника за аеродинамічними властивостями в базовій частині пневмосепаратора;

- виконати теоретичні дослідження руху насінин, які відрізняються фізичними властивостями у вертикальному каналі пневмосепаратора;
- розробити математичну модель руху насінини в кільцевому каналі для визначення основних параметрів повітряного каналу;
- дослідити рух насіння по опорній поверхні дозуючого розподільючого пристрою та обґрунтувати вибір його форми та параметрів;
- виконати експериментальні дослідження процесів розділення насіння соняшника в вертикальному каналі та визначити вплив конструкційних і режимних параметрів сепаратора на ефективність розділення;
- розробити технологічну схему нового пневмогравітаційного сепаратора та обґрунтувати його конструкційно-технологічні параметри;
- здійснити виробничі випробування розробленого пневмогравітаційного сепаратора та визначити економічну ефективність його використання.

Об'єкт досліджень – процес сепарації насіння соняшника в вертикальному повітряному каналі з нижнім вивантаженням.

Предмет досліджень – закономірності впливу конструкційно-технологічних параметрів пневмогравітаційного сепаратора на ефективність процесу сепарації.

Робоча гіпотеза. Підвищення якості розділення та очищення насіння соняшника за рахунок розробки нової конструкції пневмогравітаційного сепаратора з обґрунтуванням його основних конструкційно-технологічних параметрів.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проводилися з використанням загальних положень теоретичної механіки, аеродинаміки, фізики. При моделюванні технологічного процесу сепарації використовувалися методи диференційного та інтегрального числення. При дослідженні руху насіння методом числового експерименту використовувалися пакети Maple 4, Mathcad, Statistica 10. Експериментальні дослідження виконані й проаналізовані за допомогою методів математичної статистики та планування багатофакторного експерименту.

Наукова новизна одержаних результатів

– *Вперше:* обґрунтовано застосування змінної за висотою швидкості повітряного потоку в аксіальному (кільцевому) каналі і визначено залежність її зміни за висотою;

– для забезпечення ефективності процесу пневмогравітаційної сепарації за допомогою удосконалених математичних моделей руху компонентів насіння соняшника по криволінійним поверхням розподільника-живильника у повітряному потоці, обґрунтовано конструктивні та режимні параметри сепаратора, що покращило якість сепарації насіння.

Отримали подальший розвиток :

- математичне моделювання руху насінин у вертикальному

кільцевому каналі сепаратора, яке відрізняється від існуючих визначенням величини розгалуження траєкторій в залежності від параметрів сепаратора;

– обґрунтування оптимальних конструктивних і режимних параметрів пневмогравітаційного сепаратора, у якому, на відміну від відомих, враховано зміну швидкості повітряного потоку по висоті.

– наукову новизну пневмогравітаційного сепаратора підтверджено патентом України № 86300 від 25.12.2013 р.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено конструкцію пневмогравітаційного сепаратора насіння соняшника за різницею їх аеродинамічних характеристик з нерівномірною за висотою швидкістю повітря. Експериментальний зразок розробленого сепаратора пройшов випробування у виробничих умовах ТОВ «Зоря» Приазовського району Запорізької області. Розроблені методики дозволяють проводити розрахунки та виготовляти промислові зразки пневмогравітаційного сепаратора заданої продуктивності. Методики та конструкторська розробка сепаратора запроваджені в учбовий процес.

Особистий внесок здобувача. Основні результати за темою дисертації отримані автором самостійно. У наукових працях, виконаних у співавторстві, особистий внесок полягає у наступному: обґрунтовано необхідність покращення насінневого матеріалу шляхом сепарації [1]; проведено аналіз стану питання механізації сепаруючих машин для насіння соняшнику [6]; запропоновано нову конструкційно-технологічну схему пневмогравітаційного сепаратора [7, 8]; створено математичну модель робочого процесу та за допомогою теорії ймовірностей обґрунтовано якість його роботи [5]; складено методику розрахунку основних конструкційно-технологічних параметрів пневмогравітаційного сепаратора [2]; розроблено методику та проведено експериментальні дослідження [3]; обґрунтовано показники економічної ефективності використання запропонованого сепаратора [4].

Апробація результатів досліджень. Основні результати досліджень доповідалися на: щорічних науково-технічних конференціях Таврійського державного агротехнологічного університету (м. Мелітополь, 2013-2015 р.р.), міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми механизации производства и технологии переработки сельскохозяйственной продукции», (м. Сімферополь, 2013 р.), міжнародній науково-практичній конференції «Технічний прогрес в АПК», (Харків, ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2013 р.), ІХ міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки» (м. Кіровоград, 2013 р.).

Публікації. Основні результати досліджень викладені у 6 статтях у наукових фахових виданнях України, 2 з них одноосібні; 2 статтях у закордонних виданнях з напрямку дослідження; отримано 1 патент України на корисну модель.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку літератури з 180 найменувань на 20 сторінках та 2 додатків на 5 сторінках. Основний текст дисертації викладено на 140 сторінках і включає 15 таблиць та 23 рисунки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, викладено зв'язок роботи з науковими програмами, сформульовані мета, задачі, об'єкт, предмет, методи досліджень, подана загальна характеристика дисертаційної роботи та викладені основні положення, які виносяться на захист.

У першому розділі «Аналіз стану підготовки насіння до сівби та розвитку технічних засобів сепарування насіння» проаналізовано фізико-механічні властивості насіння соняшника. Проведено огляд засобів післязбиральної обробки насіння сільськогосподарських культур, а саме повітряно-решітно-трієрних машин та пневмосепараторів.

Розглянуті роботи відомих вчених, таких як: В.П. Гарячкін, В.В. Гортинський, М.Н. Летошнев, А.І. Нелюбов, М.Г. Гладков, М.С. Кулагін, С.А. Алферов, Б.Г. Турбін, А.І. Бурков, П.М. Заїка, О.І. Завгородній, В.В. Котов, Л.М. Тіщенко, В.П. Єрмак, В.В. Адамчук, М.В. Бакум, О.М. Васильківський, С.П. Степаненко, М.М. Абдуєв, А. Б. Чебанов та інші.

Аналіз досліджень показав, що використання нижньої зони вертикального аспіраційного пневмогравітаційного сепаратора, як елемента розділення насіння, потребує додаткових досліджень стосовно предмета можливості якісного очищення та розділення насіння соняшника.

Тому в основу роботи покладені дослідження, спрямовані на підвищення якості розділення та очищення насіння соняшника з нижнім вивантаженням.

У другому розділі «Теоретичні передумови підвищення ефективності розділення насіння в аспіраційному каналі» наведені дослідження математичних моделей руху насіння в робочих елементах пневмогравітаційного сепаратора з кільцевим сепаруючим каналом.

У пневмосепаруючий кільцевий канал (рис.1) насінневий матеріал подається з конусоподібного розподільника під початковим кутом α_0 , зі швидкістю V_0 (рівномірно розподілений за радіусом).

Розподіл насіння в гравітаційному пневмосепаруючому сепараторі заснований на різниці швидкостей витання та здійснюється перетином під певним кутом вертикального повітряного потоку.

На рис. 1 найлегше насіння має вагу меншу, ніж 0,05 г, легке насіння – 0,05-0,07 г, а важке насіння має вагу 0,08 г та більше. Математичний опис руху насіннини у повітряному потоці складемо для поточного моменту часу. Для визначення характеристик руху насіннини з різними аеродинамічними властивостями потрібно мати функціональні залежності зміни координат і швидкості руху у часі.

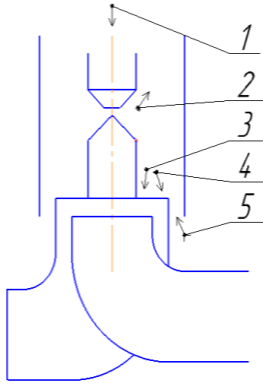


Рис. 1. Схема роботи сепаратору:

- 1 – рух насіння у постачальний патрубок;
- 2 – рух найлегшого насіння;
- 3 – рух легкого насіння;
- 4 – рух важкого насіння;
- 5 – рух повітряного потоку

Рух насінини в каналі з висхідним повітряним потоком показано на рис. 2 (на якому V_0 – початкова швидкість руху насінини м/с; V – швидкість руху насінини, м/с; V_v – швидкість повітряного потоку, м/с; α – поточне значення кута між швидкістю насінини при русі її по траєкторії і горизонтальною віссю, град., відповідно до прийнятої системи координат і діючих на насінину сил: тяжіння $G_T = mg$, опору повітряному

потоку $R = K_c(v - v_v)^2$, де $K_c = C_x S_M \frac{\rho}{2}$

C_x – коефіцієнту опору, що залежить від форми насінини і умов обтікання (ламінарний режим, турбулентний); S_M – міделевий перетин насінини; ρ – щільність повітря) та описується диференціальними рівняннями:

Визначені залежності знаходяться після розв'язання системи рівнянь, отриманої з використанням схеми діючих на насінину сил (рис. 2) при прийнятих спрощуючих припущеннях:

- розглядається рух ізольованих (один від одного) насінин;
- розмір насінини та її вага визначається швидкістю витання;
- швидкість вертикального переміщення повітряного потоку приймається рівномірно розподіленою по перетину пневмоканалу;
- насінини не змінюють своєї орієнтації (за віссю симетрії насінини) по відношенню до напрямку повітряного потоку;
- потік повітря спрямований вертикально вгору.

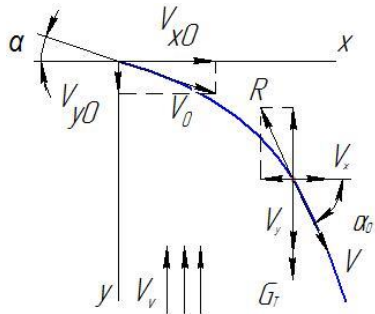


Рис. 2. Схема сил діючих на насінину в потоці повітря

$$\begin{cases} \frac{d^2}{dt^2} x(t) = -k_{II} \frac{d}{dt} x(t) \sqrt{\left(\frac{d}{dt} x(t)\right)^2 + \left(\frac{d}{dt} y(t) + v_v(y)\right)^2} \\ \frac{d^2}{dt^2} y(t) = g - k_{II} \left(\frac{d}{dt} y(t) + v_v(y)\right) \sqrt{\left(\frac{d}{dt} x(t)\right)^2 + \left(\frac{d}{dt} y(t) + v_v(y)\right)^2} \end{cases} \quad (1)$$

При початкових умовах до рівнянь (1):

$$x(0) = 0; y(0) = 0; \dot{x}(0) = v_0 \cos \alpha_0; \dot{y}(0) = v_0 \sin \alpha_0, \quad (2)$$

де α_0 – кут введення насінин у повітряний потік;

v_0 – початкова швидкість насінин,

$v_v(y)$ – функція, що описує зміну швидкості повітря за координатою.

При відомій швидкості витання частинки $v_{вум}$ силу опору можна виразити формулою $R = mg/v_{вум}^2 = mk_{II}$. Величину k_{II} називають коефіцієнтом парусності.

Виходячи з визначених початкових умов, можна зазначити, що для отримання траєкторії руху насінин, тобто залежності $y = f(x)$, необхідно задавати фіксовані значення швидкості та кута входу насінини у повітряний потік. Для визначення впливу початкових умов (v_0, α_0) і швидкості повітря v_v на характер переміщення насінини в повітрі, проведений числовий багатофакторний експеримент на персональному комп'ютері в середовищі MatCad з використанням імітаційної моделі (на основі 1-2).

Отримані результати (оброблені методами регресійного аналізу) представлені у вигляді регресійних залежностей величин максимального відхилення траєкторій $x(v_0, \alpha_0, v_v)$, (3) і величини розходження траєкторій на виході каналу Δx (критерій розділення) від вихідних параметрів v_0, α_0, v_v , (4):

$$\begin{aligned} x(v_0, \alpha_0, v_v) = & -0,104 + 0,5v_0 + 0,016v_v + 0,002\alpha - 0,042v_0^2 + \\ & + 0,014v_0\alpha - 0,000025v_v\alpha - 9,2 \cdot 10^{-6}\alpha^2 \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \Delta x(v_0, \alpha_0, v_v) = & -0,0855 - 0,1v_0 + 0,003\alpha + 0,042v_v v_0 - 0,001v_0\alpha + \\ & + 0,003v_v^2 - 4 \cdot 10^{-4}v_v\alpha - 5,21 \cdot 10^{-6}\alpha^2 \end{aligned} \quad (4)$$

Так як ефективність процесу розділення насіння соняшнику повинна визначатися за величиною відхилення траєкторії насіння, яке виходить, шляхом відділення від загальної маси некондиційних насінин, потрапляння

останніх у посівний матеріал приносить максимальний збиток всієї технології вирощування соняшнику. Відділення «легких» насінин на стадії введення матеріалу в повітряний потік сепаратора є ефективним способом підвищення чіткості розподілу (за вилученням некондиції в основній фракції), так як зменшує інтенсивність солідарного переміщення (тобто, коли важкі насінини підштовхують легкі в процесі їх переміщення). На рис. 3 наведені траєкторії насінин різних фракцій при русі по розподільному конусі.

Таким чином, при використанні для введення матеріалу в повітряний потік розподільного пристрою (конусу), сепаратор реалізує поділ насіння на три фракції.

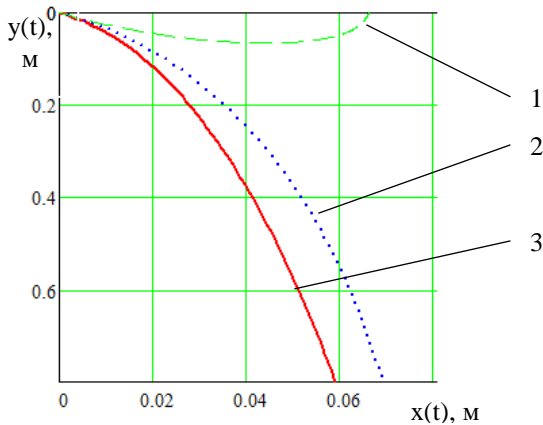


Рис. 3. Траєкторії насінин різних фракцій при русі по розподільному конусі:

- 1 – траєкторія руху найлегшої фракції; 2 – траєкторія руху легкої фракції; 3 – траєкторія руху важкої фракції

Аналіз отриманих залежностей дозволив визначити раціональні параметри процесу подачі насінневої суміші в потік повітря: $v_0 = 0,8$ м/с, $\alpha = 40$ при $v_v = 5$ м/с. Реалізація потрібних (визначених) параметрів можлива за рахунок правильної геометрії розподільного пристрою. Як видно з рис. 3, траєкторія важкої фракції відрізняється від траєкторії руху легкої фракції несуттєво, отже, для покращення сепарації треба використовувати подільник.

Оскільки основною функцією подільника є транспортування насіння від завантажувального бункера і матеріалопроводів до повітряного каналу та введення його в потік повітря під певним кутом із заданою швидкістю, необхідно визначити ці параметри. Приймаючи (в ідеальному вигляді), що насінина рухається по твірній конусу від місця вводу до місця сходу, визначимо залежність швидкості руху від координати й кута нахилу прямої лінії, по якій розганяється насінина. При цьому приймаємо, що насінина

рухається лише по твірній. При прийнятих припущеннях рівняння руху насінини буде мати вид:

$$\frac{dv}{dx} = \frac{b - av(x)}{v(x)} \sin \alpha, \quad (5)$$

де $b = g(\sin \alpha - f \cos \alpha)$, $a = \frac{k}{m}$;

f – коефіцієнт тертя;

Розв'язок (5) при $v(0) = v_0$ має вигляд:

$$x = \cos \alpha \left[\frac{v_0 - v}{a} - \frac{b}{a^2} \ln \frac{b - av_0}{b - av} \right], \quad (6)$$

де v_0 – початкова швидкість.

Визначенню значень швидкостей і траєкторій руху насінин соняшнику у вертикальному пневмоканалі передувало експериментальне визначення швидкостей витання окремих насінин, які підлягають розподілу. При масі 1000 насінин 60 г швидкість відриву і польоту насіння коливалася в межах 4,8-7,2 м/с, а при масі 80 г – 6,2-8,1 м/с. Для середніх значень швидкості витання окремих фракцій коефіцієнти парусності дорівнюють відповідно: $k_1 = 0,2725$; $k_2 = 0,159$.

При наявності розподільчого конуса розбіжності траєкторій при однакових режимах повітряного потоку збільшуються (рис. 4) ($\alpha = 40^\circ$; $v_0 = 0,8$; $v_v = 5$; $v_{вит1} = 7,85$; $v_{вит2} = 6$; $v_{вит3} = 5$).

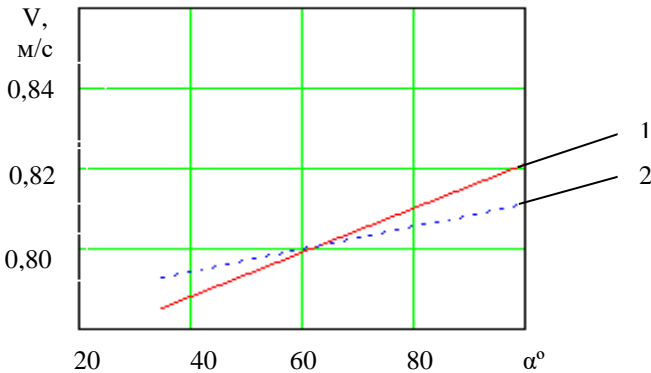


Рис. 4. Залежність швидкості сходу насінин від кута нахилу і довжини твірної конусу:

1 – довжина твірної конусу 0,1 м; 2 – довжина твірної конусу 0,05 м

Основне призначення живильного пристрою кільцевого сортуючого каналу – забезпечення рівномірного розділення насіння по перетину каналу, розділення «струменю» матеріалу з падаючого трубчатого каналу та перетворення його в рівномірну поверхню, бажано в шар розміром в одне насіння. Форма поверхні повинна забезпечити введення матеріалу в потік повітря під таким кутом і з такою швидкістю, яка забезпечує найкращий розподіл насіння в потоці повітря. Крім того, форма поверхні не повинна затримувати матеріал, який подається в сортуючий канал.

Аналіз результатів розв’язання задачі (1) – (2) дозволив встановити, що найефективніше розділення (95%) насіння соняшника на «легкі» і «важкі» фракції досягається при куті нахилу (введення) подільника $\alpha = 40^\circ - 45^\circ$ і швидкості сходу матеріалу у потік повітря $v_0 = 0,8$ м/с.

Але забезпечити вказані параметри подачі насіння в канал, використовуючи конічний розподільно-живильний пристрій, неможливо. Разом з тим, відомо, що переміщення насіння по криволінійним гравітаційним поверхням обумовлює більш широке розсіювання матеріалу при сході з поверхні, ніж це має місце при сході матеріалу з нахиленої (конічної) поверхні. Тому виникла потреба дослідження руху матеріалу вздовж ввігнутої або випуклої (кульоподібної) поверхні обігнутої навколо своєї осі.

Розглянемо рух насінини вздовж опорної поверхні у виді криволінійного конусу, утвореного обертанням твірної у вигляді дуги кола навколо вертикальної осі.

Нижче наведені схеми силової взаємодії насінини з опорною поверхнею подільника потоку насіння при її русі вздовж утворюючої (твірної) криволінійного конусу (дуга кола), вважаючи, що рух відбувається у площині YOX (рис. 5), та по випуклій поверхні (рис. 6).

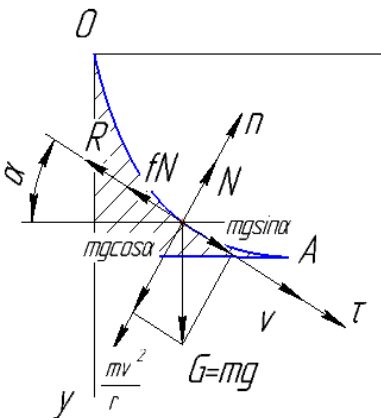


Рис. 5. Графічне зображення силової взаємодії та траєкторії руху насінини по вогнутій поверхні

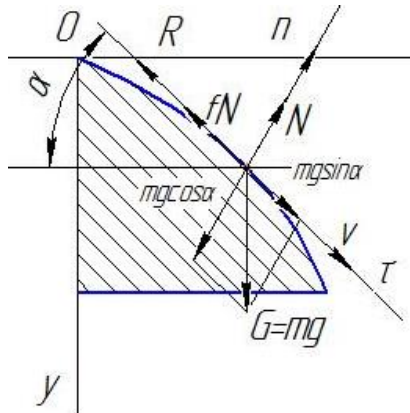


Рис. 6. Графічне зображення силової взаємодії та траєкторії руху насінини по випуклій поверхні

Для аналітичного дослідження руху насінини вздовж поверхні, утвореної обертянням твірної дуги кола навколо вертикальної осі приймаємо, що рух матеріальної насінини масою m відбувається вздовж криволінійної кривої в формі дуги кола радіусом r , яке забезпечує плавне сходження насінини від розподільчого пристрою (розподільчої поверхні) в вертикальний повітряний потік. Оскільки мета дослідження – визначення впливу величин кута сходження і початкової швидкості подачі насінини до потоку повітря, визначення руху частинки саме по кривій лінії є досить виправданим.

Відповідно до схеми силової взаємодії отримано диференціальне рівняння руху насіння по криволінійній поверхні:

$$v dv + k_0 v^2 r \frac{dx}{\sqrt{r^2 - (r-x)^2}} - g \left[\frac{r-x}{\sqrt{r^2 - (r-x)^2}} + f \right] dx = 0, \quad (7)$$

$$\frac{dv}{dy} = \frac{g}{v} - \frac{gf}{v} \cdot \frac{r-y}{\sqrt{r^2 - (r-y)^2}} + k_0 r v \sqrt{\frac{1}{r^2 - (r-y)^2}}. \quad (8)$$

Розв'язання рівнянь (7) і (8) у вигляді залежності швидкості переміщення насінини від координати наведена на рис. 7.

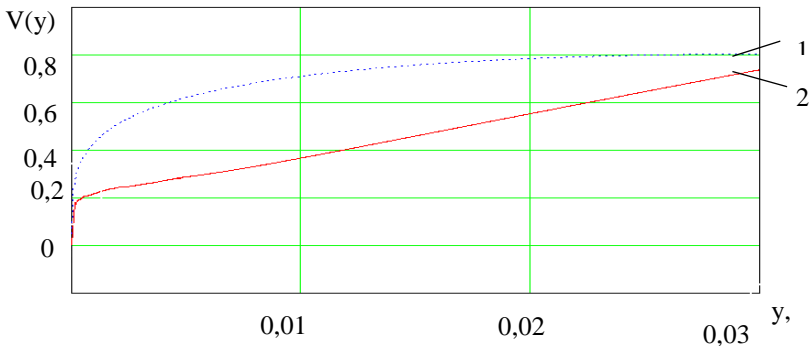


Рис. 7. Траєкторії насінин:

1 – траєкторія руху насінини по вогнутій поверхні, 2 – траєкторія руху насінини по випуклій поверхні

При цьому величина початкового кута визначена із геометричного співвідношення

$$\alpha = \arcsin \frac{r-x}{x}. \quad (9)$$

Встановлено, що найбільш ефективний розподіл насінин проходить при $v = 0,8 \text{ м/с}$.

Знаходимо найбільше значення радіусу твірної розподільника, яке

забезпечить оптимальний режим: $r_0 = 0,050$ м, $x = 0,0215$ м (рис. 8).

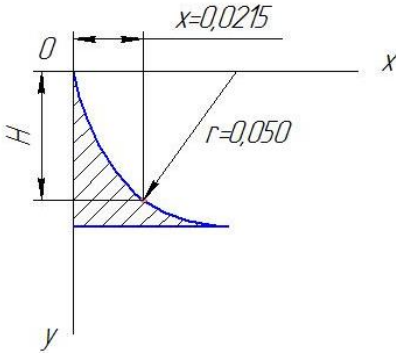


Рис.8. Схема подільника

Як показали дослідження, розділення насіння відбувається в зоні сепарації, яка розташована в місці сходу насінини з поверхні подільника в повітряний потік. При цьому, збільшення швидкості потоку до крайніх значень призводить до виносу насіння з повітрям.

Тому для підвищення ефективності сепарації у вертикальному каналі запропоновано використовувати змінну за висотою швидкість повітря: максимальну з розподільника і мінімальну в зоні розміщення подільників і

виводу розділеного матеріалу. В першому наближенні прийнято лінійний характер зміни швидкості повітря за висотою:

$$v_v = a - by \quad (10)$$

де a , b – сталі коефіцієнти: $a = 12$, $b = 1,8$.

Використовуючи залежність моделі (1-2), отримали траєкторію руху насінин в каналі змінного перетину.

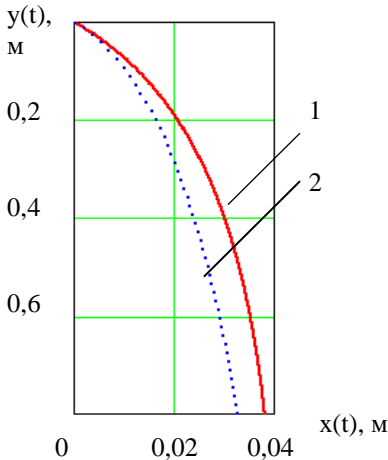


Рис. 9. Траєкторії руху насіння при незмінній швидкості повітря за висотою
1 – траєкторія руху важкої фракції ($m = 0,08$ г); 2 – траєкторія руху легкої фракції ($m = 0,06$ г)

На рис. 9 та 10 наведені графічні зображення траєкторії руху легкої і важкої насінини за умови зміни швидкості повітря за висотою та при незмінній швидкості повітря за висотою відповідно. Як можна бачити з рисунків, зона розділення суттєво змінюється від 0,004 до 0,006 м.

Таким чином, використання каналу змінного поперечного перерізу, а саме, кінцева форма, дозволяє збільшити ефективність розділення насіння соняшника.

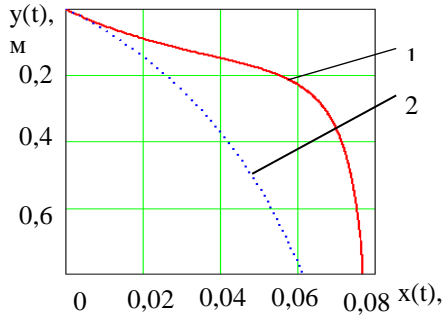


Рис. 10. Траєкторії руху насіння за умов зміни швидкості повітря за висотою:
 1 – траєкторія руху важкої фракції ($m = 0,08$ г);
 2 – траєкторія руху легкої фракції ($m = 0,06$ г)

За результатами числових експериментів з використанням математичної моделі (1), (2) визначимо раціональні параметри каналу.

При висоті каналу 0,8 м, витрати повітря визначаються:

$$L = v_v F_k \cdot \quad (11)$$

Площу поперечного перерізу каналу залежно від висоти визначимо за формулою:

$$F = \frac{L}{1,2 - 1,8H} \cdot \quad (12)$$

В третьому розділі «Програма і методика експериментальних досліджень» програмою експериментальних досліджень передбачалося визначення експериментальним шляхом:

1. Раціональних конструктивно-технологічних параметрів запропонованого пневмогравітаційного сепаратора насіння, а саме:

- а) раціональної величини швидкості повітряного потоку у аспіраційному каналі сепаратору;
- б) раціональної довжини аспіраційного каналу сепаратору;
- в) раціонального діаметра аспіраційного каналу сепаратору;
- г) раціонального діаметра патрубку введення насіння з бункера в канал вертикальної аспірації сепаратору;
- д) продуктивності сепаратора.

2. Порівняння розрахункових величин конструктивно-технологічних параметрів запропонованого пневмогравітаційного сепаратора із експериментальними даними.

Для проведення досліджень була розроблена експериментальна установка запропонованого пневмогравітаційного сепаратора насіння (рис. 11, 12).

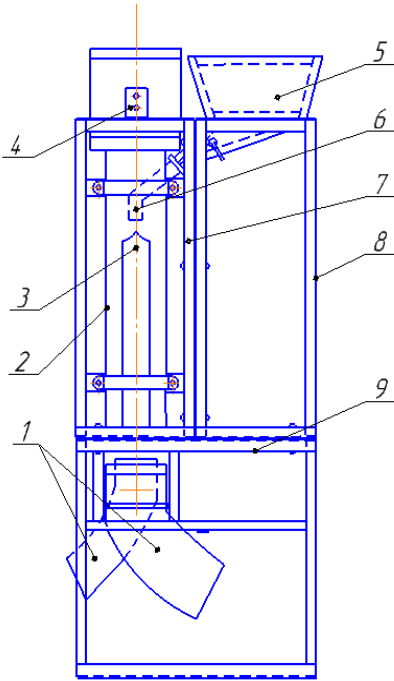


Рис.11. Схема експериментального пневмогравітаційного сепаратора насіння:

- 1 – два розподільника; 2 – аспіраційний канал; 3 – подільник; 4 – вентилятор;
 5 – бункер; 6 – патрубок постачання;
 7 – ліва частина рами; 8 – верхня частина рами; 9 – нижня частина рами



Рис. 12. Загальний вид експериментального пневмогравітаційного сепаратора

Працює пневмогравітаційний сепаратор наступним чином: насіння з бункера 5 через живильник із регулювальною засувкою подається через патрубок 6 до подільника 3, що розташований по центру перерізу верхньої частини вертикального аспіраційного каналу 2. При роботі вентилятора 4 потік повітря просмоктується у напрямку знизу нагору, з нижнього кінця

вертикального аспіраційного каналу 2 – нагору до лопатей осьового вентилятора 4, які викидають повітря нагору.

Таким чином, всередині аспіраційного каналу 2 утворюється вертикальний повітряний потік, направлений назустріч руху сепарованим частинкам, що викидаються посередині перерізу верхньої частини каналу 2.

Насіння має неідеальну форму, в результаті чого при падінні у вертикальний потік порушується вертикальна траєкторія падаючих насінин і вони розсипаються в залежності від питомої ваги. Легке насіння практично не змінює своєї траєкторії руху, тому падає у вертикальному напрямку практично в місці подачі, в результаті чого воно потрапляє в бункер фракції I. Важке насіння змінює траєкторію значно більше, в результаті чого воно потрапляє в збірники фракції II.

У четвертому розділі «Результати експериментальних досліджень» наведені отримані результати після проведення експериментів.

За результатами досліджень було отримано залежність відстані розщеплення вертикальної траєкторії насіння соняшнику від його маси при різних швидкості повітряного потоку (рис. 13).

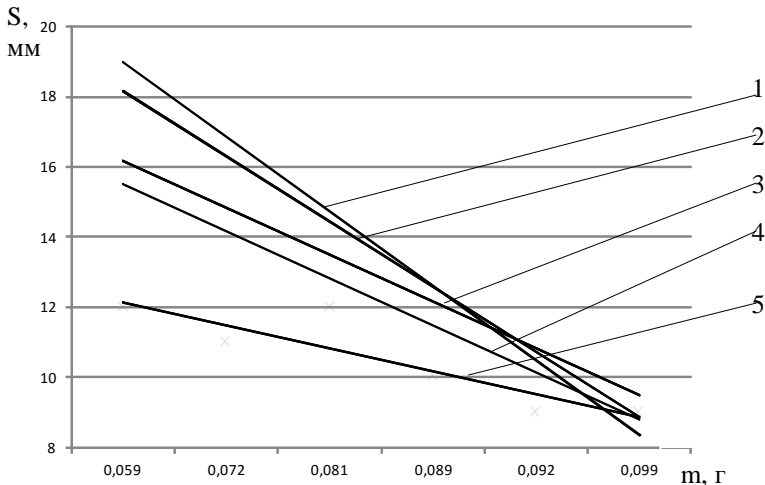


Рис. 14. Залежність відстані розщеплення вертикальної траєкторії насіння соняшнику від його маси при різних швидкості:

1 – $0,9V_{кр}$; 2 – $0,75V_{кр}$; 3 – $0,5V_{кр}$; 4 – $0,25V_{кр}$; 5 – $V_{кр}$

Як бачимо з графіку на рис. 13, зі збільшенням швидкості повітряного потоку насіння відлітає ближче до стінок аспіраційного каналу. Легке насіння, починаючи з 1,25 від критичної швидкості повітряного потоку, виноситися вгору та виходить через вентилятор. При швидкості 0,7-0,9 м/с

від критичної швидкості повітряного потоку всередині вертикального аспіраційного каналу сепаратора легке насіння залишається в сепараторі та потрапляє до бункера фракції I, а важкі насінини потрапляють до бункера фракції II, так як вони не перетинають діаметр бункера фракції II. Отже, раціональна швидкість повітряного потоку, при якій буде проходити найкращий розподіл насіння соняшника складає 75-90 % від критичної швидкості легких насінин, що становить 4,5-5,5 м/с.

Для узагальнення результатів збудовано загальний графік, який показує залежності у різниці відстані розщеплення вертикальної траєкторії між легкою та важкою фракціями (із десяти піддослідних насінин соняшника сорту популяції, що представляють всю сепаруєму фракцію насіння (рис. 14).

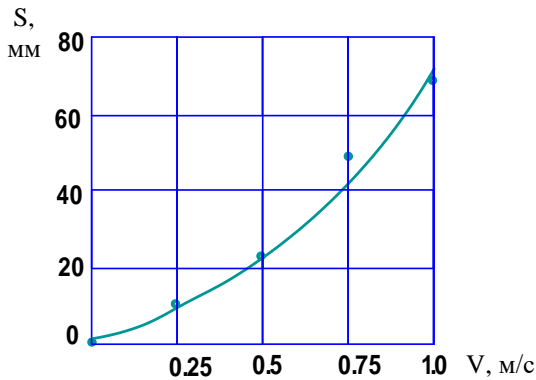


Рис. 14. Залежність різниці у відстані розщеплення вертикальної траєкторії насіння соняшнику від швидкості повітряного потоку між важкими та легкими насіннями

Як видно з графіку на рис. 14, чим більше швидкість повітряного потоку, тим краще проходить розподіл насіння; так як важке насіння краще змінює свою траєкторію, то воно з меншою ймовірністю потрапить до бункера цінної фракції. Але при критичній швидкості насіння буде ударятись об стінки аспіраційного каналу та змінювати свою траєкторію, що погіршує відбір та очищення. Тому за раціональну швидкість приймаємо 0,75 від критичної швидкості (м/с), що забезпечить якісний розподіл насіння.

Після дослідження раціональної довжини аспіраційного каналу отримано графік, наведений на рис. 15, з якого можна зробити висновок, що зі збільшенням довжини вертикального аспіраційного каналу відстань приземлення піддослідних насінин збільшується. Це відбувається тому, що при взаємодії насінини із зустрічним повітряним потоком, воно змінює свою траєкторію, і чим довше воно взаємодіє з повітрям, тим краще проходить поділ насінин. Але занадто довгий аспіраційний канал призведе до збільшення енергетичних витрат, тому довжина аспіраційного каналу

приймається в межах 0,7-0,8 м.

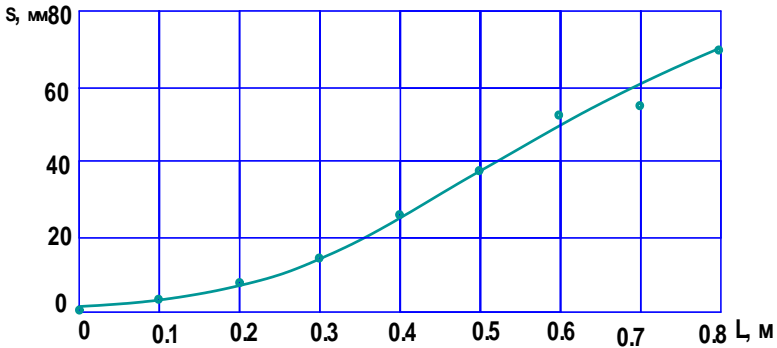


Рис. 15. Залежність різниці у відстані порушення вертикальної траєкторії насіння соняшника між легкими та важкими насінинами в залежності за висотою вертикального аспіраційного каналу сепаратора

За результатами досліджень побудовано графік (рис. 16), який дозволяє визначити залежність відстані від місця приземлення піддослідних насінин до найближчої бічної стінки вертикального аспіраційного каналу сепаратора при раціональній швидкості повітряного потоку 4,5-5,5 м/с та раціональній корисній довжині цього каналу 0,8 м.

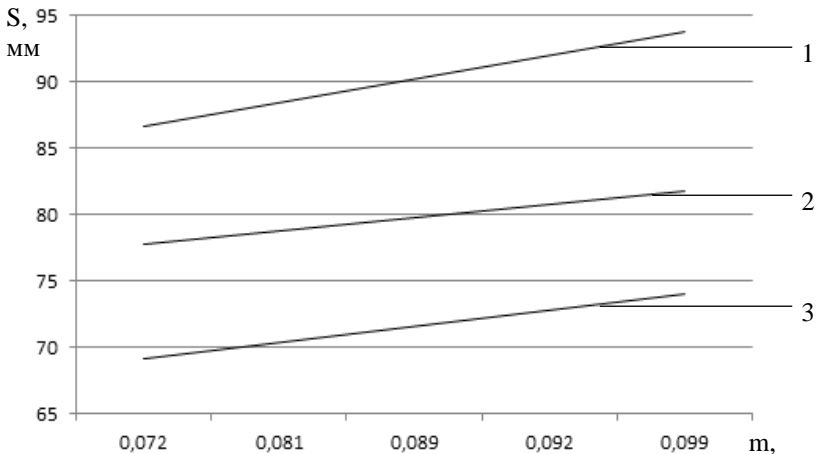


Рис. 16. Залежність відстані приземлення піддослідних насінин різної маси до найближчої бічної стінки вертикального аспіраційного каналу сепаратора, при зміщенні відстані кидання насіння від центру каналу: 1 – 0 мм, 2 - 10 мм, 3 – 20мм.

Після проведення аналізу графіка на рис. 16 було зроблено висновок, що найбільш раціональним є діаметр вертикального аспіраційного каналу запропонованого сепаратора 0,2 м, так як маємо краще розщеплення траєкторії насіння при проходженні зустрічного повітряного потоку.

У п'ятому розділі «Техніко-економічні показники використання запропонованого сепаратора насіння соняшника з вертикальним аспіраційним каналом» розроблено інженерну методику розрахунку конструктивно-режимних параметрів сепаратора та здійснена оцінка енергетичної ефективності. Аналітичні залежності для розрахунку основних параметрів сепаратора:

– траєкторія руху насінини с коефіцієнтом k_{III} визначається з формули:

$$y(x) = \frac{a}{A^2} \ln \frac{v_{x0}}{v_{x0} - Ax} - \frac{1}{A} \left(\frac{a}{A} - v_{y0} \right) \left[1 - \exp \left(- \ln \frac{v_{0x}}{v_{x0} - Ax} \right) \right]; \quad (13)$$

– проєкції початкової швидкості подачі матеріалу в потік повітря та її проєкції визначаються за формулами:

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2g \left(\sqrt{r^2 - (x-r)^2} - fx \right)}; \quad (14)$$

$$v_{0x} = v_1 \cos \alpha_0, v_{0y} = v_1 \sin \alpha_0, \alpha_0 = \arcsin \frac{r-x}{r}. \quad (15)$$

– початкова швидкість подачі матеріалу на розподільник приймається рівною швидкості витікання матеріалу з живильника і визначається за формулою Р. Зенкова:

$$v_0 = (2,546 - 0,16d_s) \left(1 - 66 \left(\frac{d_s}{D} \right)^3 \right) \sqrt[4]{F}, \quad (16)$$

де d_s – еквівалентний діаметр насіння, м;

D – діаметр перетину вивантажного отвору, м;

F – площа перерізу вивантажного отвору, м².

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення та нове вирішення наукового завдання, наведеного у розроблених наукових положеннях сепарації насіння соняшника у вертикальному кільцевому каналі з нерівномірним повітряним потоком по висоті та нижньої зоною розділення й вивантаження. Це дозволило знизити енергоємність і підвищити якість процесу виділення повноцінних насінин.

1. Аналіз результатів досліджень сепарації насіння за різницею аеродинамічних характеристик їх компонентів показав, що найбільш перспективним для підвищення інтенсифікації та якості є процес розділення у нижній зоні вертикального каналу з нижнім вивантаженням виділених фракцій.

2. Для визначення поділяючої здатності та розрахунків параметрів пневмогравітаційного сепаратора розроблена комплексна математична модель руху насінини з урахуванням коефіцієнта парусності кожної фракції (компонентів) та обмежень конструктивних параметрів сепаратора, яка включає математичний опис процесів подачі матеріалу на подільник, руху насінини вздовж поверхні подільника і руху в повітряному потоці з урахуванням їх аеродинамічних властивостей.

3. Експериментальними дослідженнями аеродинамічних властивостей встановлено середньозважені швидкості витання компонентів насіння: легких – 5,5-6,5 м/с, важких – 7-7,85 м/с, а також коефіцієнти парусності: 0,33-0,23 і 0,20-0,16 відповідно.

4. За допомогою розробленої математичної моделі руху «легкої» і «важкої» фракцій у вертикальному повітряному каналі встановлено, що зміна швидкості від кута подачі насіння в повітряний потік суттєво впливає на величину відхилення та розщеплення траєкторій руху двох фракцій, яка і визначає ефективність розділення фракцій. Числовим трифакторним експериментом визначені раціональні параметри: швидкість вводу насіння в потік повітря – 0,7-0,8 м/с при куті вводу 40 - 45°, які забезпечують максимальне змінення траєкторії при $\Delta x = 0,018$ м.

5. В результаті аналізу процесу переміщення насінин вздовж поверхні розподільчого (прямолинійного) конуса встановлено, що при існуючій швидкості подачі насіння на подільник останній не може реалізувати раціональні параметри вводу насіння в потік повітря, швидкість якого не перевищує 5,5 м/с. Обґрунтовано форму подільника у вигляді поверхні обертання, утвореної шляхом обертання вогнутої дуги кола навколо вертикальної осі. Визначено геометричні параметри подільника: радіус твірної дуги – 0,05 м, діаметр основи подільника – 0,04 м.

6. Подальше підвищення ефективності розділення насіння можна досягти збільшенням швидкості повітря в напрямку його руху, що

реалізується застосуванням конічного каналу з кутом розкриття 1,5 - 2°, при цьому величина зміни траєкторій при висоті 0,7 м збільшується на 20-25 %.

7. Реалізація нової конструкції пневмогравітаційного сепаратора з науково обґрунтованими конструктивно-режимними параметрами дозволили підвищити вихід повноцінного насіння (вагою 1000 шт. насінин 80-100 г) на 25-28 % при зменшенні його засміченості на 30 %. За даними результатів проведених досліджень встановлено, що відносна кількість некондиційного насіння в основній фракції зменшилось на 10 г порівняно з традиційним способом розділення.

8. Виробничі випробування підтвердили економічну ефективність використання розробленого пневмогравітаційного сепаратора. Завдяки його впровадженню врожайність збільшується на 3-5 ц/га.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях

1. Кюрчев С.В. Аналіз методів збільшення врожайності сільськогосподарських культур та вимоги до сепаруємого матеріалу / С.В. Кюрчев, О.С. Колодій // Праці ВНАУ: зб. наук. пр. – Вінниця, 2012. – Вип. 11(66). – С. 311-322.

2. Колодій О.С. Методика дослідження впливу геометричного положення насіння в просторі, при потраплянні у вертикальний аспіраційний канал сепаратору / О.С. Колодій // Праці ТДАТУ: зб. наук. пр. – Мелітополь, 2013. – Вип. 13: т. 3. – С. 124-129.

3. Кюрчев С.В. Результати дослідження раціональної швидкості повітряного потоку у аспіраційному каналі / С.В.Кюрчев, О.С. Колодій // Праці ТДАТУ: зб. наук. пр. – Мелітополь, 2013. – Вип. 13: т. 6. – С. 204-212.

4. Колодій О.С. Економічний розрахунок ефективності використання аеродинамічного сепаратора з вертикальним аспіраційним каналом / О.С. Колодій // Праці ТДАТУ: зб. наук. пр. – Мелітополь, 2014. – Вип. 14: т. 3 – С. 363-369.

5. Кюрчев С.В. Результати дослідження раціональних розмірів вертикального аспіраційного каналу сепаратора насіння сільськогосподарських культур / С.В.Кюрчев, О.С. Колодій // Механізація сільськогосподарського виробництва. – Харків: ХНТУСГ, 2014. – Вип. 148: т. 1. – С. 56 – 63.

6. Кюрчев С.В. Багатокритеріальний аналіз існуючих сепараторів насіння із різним робочим агентом / С.В.Кюрчев, О.С. Колодій // "Механізація сільськогосподарського виробництва". – Харків: ХНТУСГ, 2015 – Вип.156: т. 1. – С. 86-92.

**Статті у закордонних виданнях та в виданнях України,
зарєєстрованих в міжнародних наукометричних базах**

7. Кюрчев С.В. Результаты исследования рациональных размеров вертикального аспирационного канала сепаратора семян сельскохозяйственных культур / С.В.Кюрчев, А.С.Колодий // Motrol "Motorization and energetics in agriculture", Lublin-Rzeszow, 2013. - Vol.15. No2. - 169-175.

8. Кюрчев С.В. Результаты исследования разработанного сепаратора семян с вертикальным аспирационным каналом / С.В.Кюрчев, А.С. Колодий // Motrol "Motorization and energetics in agriculture", Lublin-Rzeszow, 2014 Vol.16, No2. p. 169-177.

Матеріали і тези конференцій

9. Колодій О.С. Ефективність використання запропонованого аеродинамічного сепаратора насіння з вертикальним аспіраційним каналом / О.С. Колодій // Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки: ІХ міжнародна науково-практична конференція, 7-8 листопада 2013 р.: тези доп. – Кіровоград, 2013. – С. 102–103.

10. Кюрчев С.В. Методика исследования рациональной величины скорости воздушного потока в аспирационном канале / С.В. Кюрчев, А.С. Колодий // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: VIII международная научно-практическая конференция в рамках XX международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал – 2013», 20–22 марта 2013 г.: тезисы докл. – Ставрополь: АГРУС, 2013. – С. 36–38.

Патенти

11. Пат. 86300 Україна, МПК В07В 1-28 Аеродинамічний сепаратор для насіння / С.В. Кюрчев, О.С. Колодій. – u201307937; заявл. 21.06.2013; опубл. 25.12.2013, Бюл. №24.

АНОТАЦІЯ

Колодій О.С. Обґрунтування конструктивно - технологічних параметрів пневмогравітаційного сепаратора насіння соняшника. – Рукопис

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.11 – машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва. – Таврійський державний агротехнологічний університет. – Мелітополь, 2015.

У дисертації вирішено наукове завдання підвищення технологічної (продуктивність, якість розділення) та енергетичної (питомої витрати енергії) ефективностей процесу розділення насіння соняшника шляхом розробки

нової конструкції пневмогравітаційного сепаратора і обґрунтування його конструктивно-технологічних параметрів.

У роботі визначені основні параметри живильного пристрою пневмогравітаційного сепаратору. Доведена можливість підвищення якості сепарації шляхом використання нижньої зони розподілу пневмогравітаційного сепаратору. Вивчено вплив основних конструкційних параметрів пневмогравітаційного сепаратора на ефективність сепарації та питомі енерговитрати.

Ключові слова: сепарація, пневмогравітаційний сепаратор, кільцевий аспіраційний канал, насіння соняшника.

АННОТАЦІЯ

Колодий А.С. Обоснование конструктивно - технологических параметров пневмогравитационного сепаратора семян подсолнечника. - Рукопись.

Диссертация на соискание научного степени кандидата технических наук по специальности 05.05.11 – машины и средства механизации сельскохозяйственного производства. – Таврический государственный агротехнологический университет. – Мелитополь, 2015.

В диссертации решены научные задачи повышения технологической и энергетической эффективности разделения семян подсолнечника путем разработки новой конструкции пневмогравитационного сепаратора и обоснования его конструктивно-технологических параметров. Определены основные параметры питательного устройства пневмогравитационного сепаратора и доказана возможность повышения качества сепарации путем использования его нижней зоны распределения.

Изучено влияние основных конструктивных параметров пневмогравитационного сепаратора на эффективность сепарации и удельные энергетические затраты. Проведены исследования сепарации семян по разнице аэродинамических характеристик их компонентов. Установлено, что наиболее перспективным для повышения качества является процесс разделения в нижней зоне вертикального канала с нижней выгрузкой выделенных фракций.

Разработана комплексная математическая модель движения семян, учитывающая коэффициент парусности каждой фракции и ограничения конструктивных параметров сепаратора для определения разделяющей способности и последующих расчетов пневмогравитационного сепаратора. Данная модель включает математическое описание процессов подачи материала на распределитель, движения семян вдоль поверхности распределителя, движения семян в воздушном потоке с учетом их аэродинамических свойств.

Разработаны математические модели процессов движения семян с последующим разделением траекторий, которые связывают основные

конструктивно-технологические параметры, аэродинамические свойства семян и условия подачи его в кольцевой воздушный канал. Данные математические модели позволили установить следующие рациональные параметры разделения семян в канале: скорость частицы – 0,4-0,6 м/с, угол наклона вектора начальной скорости – 40-45° при скорости воздушного потока 4,5-5,5 м/с. Указанные параметры обеспечиваются распределителем, выполненным в виде части внутренней поверхности тора с радиусом образующей круга, равным 0,05 м, диаметром основания 0,04 м.

Для определения разделяющей способности и расчетов конструктивно-технологических параметров пневмогравитационного сепаратора разработана комплексная математическая модель движения семян с учетом коэффициента парусности каждой фракции (компонентов) и ограничений конструктивных параметров сепаратора. Экспериментальными исследованиями аэродинамических свойств установлены средние скорости витания компонентов семян: легких – 5,5-6,5 м/с и тяжелых – 7-7,85 м/с и коэффициенты парусности: 0,33-0,23 и 0,20-0,16 соответственно.

Анализ процесса перемещения семян вдоль поверхности распределительного (прямолинейного) конуса позволил установить, что при существующей скорости подачи семян на распределитель последний не может реализовать рациональные параметры ввода семян в поток воздуха, скорость которого не превышает 5,5 м/с. Поэтому был решен вопрос об обосновании формы распределителя в виде поверхности вращения, которая образована путем вращения вогнутой дуги окружности вокруг вертикальной оси. Также определены геометрические параметры распределителя: радиус образующей дуги – 0,05 м, диаметр основания распределителя – 0,04 м.

Доказано, что дальнейшее повышение эффективности разделения семян можно достичь увеличением скорости воздуха в направлении его движения, что реализовано за счет применения конического канала с углом раскрытия 1,5-2°, при этом величина разделения траекторий при высоте 0,7 м увеличивается на 20-25%.

Применение предлагаемой конструкции пневмогравитационного сепаратора с научно обоснованными конструктивно-режимными параметрами позволило повысить выход полноценных (весом 1000 шт. – 80-100 г) семян на 25-28 % при уменьшении его засоренности на 30 %. По данным результатов проведенных исследований установлено, что относительное количество некондиционных семян в основной фракции уменьшилось на 10 г по сравнению с традиционным способом разделения.

Ключевые слова: сепарация, пневмогравитационный сепаратор, кольцевой аспирационный канал, семена подсолнечника.

Annotation

Kolodiy O. Justification constructive - technological parameters pnevmogravitatsiynoho separator sunflower seeds. - Manuscript

Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of technical sciencesur in specialty 05.05.11 – machines and mechanization of agricultural production. – Tavria State Agrotechnological University. – Melitopol, 2015.

The dissertation decided scientific problem increasing technological (productivity, quality division) and energy (specific energy consumption) efficiency of processes separation oilseeds by developing new design of airgravitated separator and discourse structural and technological parameters. There are main parameters of the feeding device airgravitated separator.

The possibility of increasing quality of separation by using the low zone of distribution of airgravitated separator are improved in dissertation. The influence of the main structural parameters airgravitated separator on efficiency of separation and specific energy consumption are investigated.

Keywords: separation, airgravitated separator, aspiration annular channel, sunflower seeds.

Підписано до друку «28» вересня 2015 р. Зам. № 227
Формат паперу 60×84×1/16. Умовн. друк. арк. 0,9. Наклад 100 прим.
Віддруковано у Таврійському державному
агротехнологічному університеті
Адреса: 72310, Запорізька область, м. Мелітополь,
пр-т Б. Хмельницького, 18